

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة
Année 2009

Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Hydrogéologie environnemental et modélisation

THEME

**Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la
région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité.**

Présenté par : BELKSIER MOHAMED SALAH

Directeur du mémoire : Mr Chaab Salah M.C. Univ.Badji Mokhtar-Annaba-

DEVANT LE JURY :

Président : Mme. Diaf-Arafa Menana. M. C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba
Examineurs : Mr. Beloulou Laroussi. M. C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba
Mr. Saaidia Bachir. M. C. Univ. Badji Mokhtar-Annaba

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à dieu tout puissant qui ma aidé et donné le courage pour mener a bien ce modeste travail.

Ma gratitude et mes vifs remerciements vont directement à mon directeur du mémoire Mr Chaab.S d'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique exceptionnelle, ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie tout particulièrement messieurs les membres de Jury :

- Mme Arafa. M, M.C. de l'université de Annaba qui a acceptée de présider le jury.
- Mr Beloulou. L, M.C. de l'université de Annaba.
- Mr Saidia. B, M.C. de l'université de Annaba. D'avoir bien voulu assister au jury et critiquer ce mémoire.

Mes remerciements vont à tous les enseignants du département de géologie de l'université de Annaba.

Toute ma gratitude va à Mr Sayah Lembarek Youcef ingénieur d'état et chef service du la direction de l'ANRH « Touggourt ».

Je tiens a remercie le personnel de l'ANRH de Touggourt, notamment Mr.ELALMI Foudil pour sa meilleure aide, Ben Guega Salah et Senousi Salim.

Mes remerciements vont aussi à tous les techniciens de la direction de l'ANRH (Touggourt).

Mes remerciements vont les responsables de la direction de l'ADE de Touggourt.

Enfin, je tiens à remercier tous les amis et les collègues qui m'on aidés et encouragés pour réaliser ce mémoire, je cite spécialement Imad et Fatih.

DÉDICACE

A :

- Mon père et ma mère

- Mes frères et ma soeur

- Tous les gens que j'aime et qui m'aiment

Je dédie ce travail

ABSTRACT

The study is oriented to the syntheses of the collected data and to the definition of hydrogeological, hydrodynamical, and hydrochemical aspects of the unconfined aquifer and the deeper aquifers of the complex terminal and the continental intercalaire.

The description of the hydrogeological situation is carried out the hydrochemical relation between the chotts, the channel, and the upper aquifer is high lighted by a high mineralization of the ground water.

The analysis of the map of the vulnerability using GOD method she as that the aquifer of wadi Righ is classified in the high and moderated vulnerability. The never the urban, the chotts and the zones, irrigated by the ground water extracted from the deeper aquifer are considered as a zones of a high vulnerability.

Key-words: wadi Righ, unconfined aquifer, vulnerability.

Résumé

Notre étude, s'oriente sur l'objectif de faire la synthèse des données recueillies sur la région et de définir les aspects hydrogéologique, hydrodynamiques et hydrochimiques de la nappe libre et les autres nappes (CT et CI).

Les études des eaux de la nappe phréatique de l'oued Righ, permettent de dire que l'origine des éléments chimiques présents dans l'eau est : les évaporites, et les échanges de base.

Les mesures de conductivité et de résidu sec ont mis en évidence des conductivités et des concentrations du résidu sec élevées par l'évaporation des eaux et concentration des sels qu'elle contenait.

L'examen de la carte de vulnérabilité par la méthode de GOD montre que la nappe phréatique d'oued Righ à une vulnérabilité forte à modéré. Ce sont les zones urbaines, les zones des chotts, et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes qui présentant une vulnérabilité forte.

Mots clés : Oued Righ, nappe phréatique, vulnérabilité.

ملخص :

- الدراسة موجهة من أجل معالجة البيانات و المعطيات التي تم جمعها على منطقة واد ريغ و تحديد الجوانب الهيدروجيولوجية و الهيدروديناميكية و الهيدروكيميائية للمياه في الجيوب المائية الحرة و العميقة.
 - الوصف الهيدروجيولوجي المرتبط مع العلاقة الهيدروديناميكية بين القناة و الشط و الجيب المائي الحر (السطحي) يبين كثافة الأملاح المعدنية الموجودة في المياه الجيب المائي.
 - استعراض خريطة قابلية الجيب المائي الحر للتلوث وضحت لنا قابلية كبيرة للتلوث في المناطق الحضرية و الشطوط الجافة و المناطق الزراعية المروية من الجيوب المائية العميقة الموجودة في المنطقة.
- الكلمات المفتاحية : واد ريغ، الجيب المائي الحر (السطحي) و القابلية للتلوث.

Sommaire

✚ Introduction Générale.....	1
✚ Problématique.....	3

✚ 1^{ère} partie :

Chapitre I : Situation géographique.

1. La situation géographique.....	5
2. Géomorphologie et Topographie.	6
3. Climat et Végétation	6
4. Activités économiques	7

Chapitre II : Etude géologique.

1.Introduction.....	8
2. Géologie régionale	8
2.1. Les bassins sédimentaires de l'Algérie	8
A. Algérie alpine	8
B. Plateforme saharienne	9
B.1. Bassin Tindouf et Reggane :	9
B.2. Bassin de Bechar	9
B.3. Bassin de l'Ahnet-Timimoun	9
B.4.Bassin de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya	9
B.5. La synéclyse d'Illizi-Ghadames	9
3. Géologie locale	10
4. Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude	12
4.1. Mésozoïque.....	13
4.2. Cénozoïque.....	15
4.3. Le Quaternaire.....	17
5. Tectoniques.....	18
5.1. Tectonique générale.....	18
6. Paléogéographie.....	19

7. Conclusion.....	20
--------------------	----

Chapitre III : Aperçu pedologique.

1. Caractérisation générale des sols.....	21
1.1. Première classification.....	21
1.1. 1. Description morphologique.....	21
1.2. Deuxième classification.....	22
1.2.1. Description morphologique.....	22
2. Texture et structure des sols.....	23
3. Profondeur d'enracinement des plantes.....	23
4. Description pedologique des zones à étudier.....	24
4.1. Généralités.....	24
4.2. Région de Touggourt.....	24
4.3. Région de Djamaa.....	24
4.4. Région d'El Meghaier.....	25

2^{ème} partie :

Chapitre I : Etude hydro climatologique.

1.Introduction	28
2. Caractéristiques climatiques	28
2.1. Les précipitations.....	28
2.1.1. Précipitations moyennes interannuelles des pluies.....	28
2.1.2. Variations interannuelles des Précipitations.....	30
2.1.3. Précipitations saisonnières moyenne.....	32
2.1.4. Précipitations moyennes mensuelles.....	33
2.2. Paramètres météorologiques déterminants.....	34
2.2.1. L'évaporation.....	34
2.2.2. L'humidité relative de l'air.....	35
2.2.3. Le vent.....	36
2.2.4. Les durées d'insolation.....	37
2.3. La température.....	38

2.3.1. Les températures moyennes mensuelles.....	38
2.3.2. Les températures moyennes annuelles.....	39
3. Diagramme pluviométrique.....	41
4. Déterminations de l'étage bioclimatique.....	42
5. Indice d'aridité.....	43
6. Méthode d'Euverte.....	44
7. Estimation de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle).....	44
7.1. D'après la formule de C.W Thornthwaite.....	44
8. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU).....	46
9. Estimation de l'ETR (l'évapotranspiration réelle).....	47
9.1. ETR selon la formule de Turc.....	47
9.2. L'ETR selon C.W Thornthwaite.....	47
10. Ruissellement.....	48
10.1. La définition du ruissellement.....	48
10.2. Calcul du ruissellement.....	48
11. conclusion.....	49

Chapitre II : Etude Hydrologique.

1. Calcul des paramètres hydrauliques du canal par la méthode de jaugeage.....	50
1.1. Principe de mesure (mesure du débit).....	50
1.2. Jaugeage au moulinet.....	50
1.2.1. Principe de la méthode.....	51
1.3. Description du canal.....	51
1.4. Caractéristiques des Stations.....	51
1.5. Paramètres hydrauliques.....	52
1.6. Calcul des apports additionnels.....	55
1.7. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques.....	55
1.8. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques à deux années.....	58

Chapitre III : Etude Hydrogéologique.

1. Introduction.....	60
2. Hydrogéologie régionale.....	60

2.1. Le Continentale Intercalaire.....	61
2.1.1. Limites et morphologie du continental intercalaire.....	61
2.2. Le Complexe Terminal.....	64
2.3. La nappe phréatique.....	65
2.4. Les différentes nappes dans la région de Oued Righ.	66
2.4.1. Nappe phréatique	66
2.4.2. Les nappes du complexe terminal.....	67
2.4.3. Nappe du Continental Intercalaire.....	68
3. Caractéristiques essentielles des nappes.....	69
4. Piézométrie.....	70
4.1. Carte piézométrique de la nappe libre.....	70
4.2. Cartes piézométrique des nappes de CT.....	71
5. Détermination des paramètres hydrodynamiques.....	72
5.1. Introduction.....	72
5.2. Méthode d'interprétation	72
5.2.1. Essaie du Meghaier.....	72
5.2.2. Touggourt : Essai de Nezla.....	75
6. Conclusion.....	77

3^{ème} partie :

Chapitre I : Etude Hydro chimique.

1. But de l'étude hydro chimique.....	78
2. Analyses physico-chimiques	78
2.1. Nappe libre	78
2.1.1. Paramètres physiques.....	78
2.1.1.1. La Température.....	78
2.1.1.2. Le pH.....	78
2.1.1.3. Le potentiel d'oxydo réduction (Eh)	79
2.1.1.4. Conductivité électrique.....	79
2.1.1.5. Dureté totale	80
2.1.2. Interprétations des analyses chimiques.....	81

2.1.2.1. Détermination des faciès chimiques	81
2.1.2.2. Rapport caractéristique.....	81
2.1.2.2.1. Indice d'échange de base (i e b).....	81
2.1.2.3. Cartographie hydro chimique.....	82
2.1.2.3.1. Le calcium (Ca ⁺⁺).....	82
2.1.2.3.2. Le Magnésium (Mg ⁺⁺).....	83
2.1.2.3.3. Le sodium et le potassium (Na ⁺ , K ⁺).....	84
2.1.2.3.4. Les chlorures Cl ⁻	85
2.1.2.3.5. Les sulfates (SO ₄ ⁻)	86
2.1.2.3.6. Les bicarbonates HCO ₃ ⁻	87
2.1.3. Qualités des eaux d'irrigation.....	89
2.1.3.1. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	89
2.1.3.1.1. Diagramme de Riverside.....	89
2.1.3.1.2. Diagramme de Wilcox.....	91
2.1.4. Problème de la salinité de la nappe libre.....	92
2.1.5. Salinisation des sols.....	93
2.1.6. Relation eau et sol.....	94
2.1.7. Relation - salinité des nappes et des sols.....	94
2.1.8. Impact de l'utilisation de l'eau sur l'environnement.....	95
2.2 Nappe complexe Terminal (CT)	96
2.2.1. Paramètres physiques.....	96
2.2.1.1. La Température.....	96
2.2.1.2. pH.....	96
2.2.1.3. Le potentiel d'oxydo réduction (Eh).....	96
2.2.1.4. Conductivité électrique.....	96
2.2.1.5. Dureté totale.....	97
2.2. Interprétations des analyses chimiques.....	98
2.2.1 Détermination des faciès chimiques.....	98
2.2.2. Cartographie hydro chimique.....	98
2.2.2.1. Carte de calcium Ca ²⁺	98

2.2.2.2. Magnésium (Mg^{2+}).....	99
2.2.2.3. Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+).....	99
2.2.2.4. Chlorures (Cl^-)	99
2.2.2.5. Sulfates (SO_4^{2-})	99
2.2.2.6. Les bicarbonates HCO_3^-	99
2.2.2.7. La conductivité électrique (CE).....	99
2.2.2.8. Le résidu sec.....	99
2.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation	104
2.2.4. Les paramètres de pollution.....	105
2.2.4.1. Les nitrates NO_3^-	105
2.2.4.2. Les nitrites NO_2^-	106
2.2.4.3. Cycle de l'azote.....	107
2.2.4.4. L'ammonium NH_4^+	107
2.2.4.5. Les phosphates (PO_4^{3-}).....	108
2.2.5. Eléments métalliques en traces.....	109
2.2.5.1. Fer total (Fe).....	109
2.2.5.2. Le Fluore (F).....	109
2.3. Nappe Continental Intercalaire (CI).....	111
2.3.1. Paramètres physiques.....	111
2.3.1.1. La Température.....	111
2.3.1.2. pH.....	111
2.3.1.3. Le potentiel d'oxydo réduction (Eh)	111
2.3.1.4. Conductivité électrique.....	111
2.3.1.5. Dureté totale.....	112
2.3.2. Interprétations des analyses chimiques.....	113
2.3.2.1. Détermination des faciès chimiques.....	113
2.3.2.2. Cartographie hydro chimique.....	113
2.3.2.2.1. Carte de calcium Ca^{2+}	113
2.3.2.2.2. Magnésium (Mg^{2+}).....	113
2.3.2.2.3. Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+).....	113

2.3.2.2.4. Chlorures (Cl ⁻).....	113
2.3.2.2.6. Les bicarbonates HCO ₃ ⁻	114
2.3.2.2.7. La conductivité électrique (CE).....	114
2.3.2.2.8. Le résidu sec.....	114
2.3.3. Aptitude des eaux à l'irrigation	119
2.3.4. Les paramètres de pollution.....	120
2.3.4.1. Les nitrates NO ₃ ⁻	120
2.3.4.2. les nitrites NO ₂ ⁻	121
2.3.4.3. L'ammonium NH ₄ ⁺	122
2.3.4.4. Les phosphates (PO ₄ ³⁻).....	122
2.3.5. Eléments métalliques en traces	123
2.3.5.1. Fer total (Fe)	123
2.2.5.2. Le Fluore (F ⁻).....	123
3 Transfert des nappes profondes.....	124
4 Conclusion.....	124

Chapitre II : Relation entre chotts-canal-nappe libre.

1. Les chotts.....	126
1.1. Description du chott.....	126
1.1.1. Caractéristiques topographiques.....	126
1.1.2. Origine du chott	126
1.1.3. Situation écologique.....	126
1.1.4. Situation socio-économique.....	126
1.2. L'impact des chotts sur l'environnement.....	127
1.2.1. Origine du chott	127
1.2.2. Impactes des chotts sur l'environnement	128
1.2.2.1. Le rejet des eaux usées, drainage et les problèmes d'environnement	128
2. le canal.....	129
2.1. Etude historique du canal d'Oued Righ.....	129
2.2. Réalisation du canal pendant la colonisation.....	129
2.3. Réalisation du canal après l'indépendance	130

2.4. Caractéristiques du canal	130
2.5. Les problèmes qui affectent le canal.....	131
3. Bilan hydrique et bilan du sel.....	133
4. Pollution éventuelle du CT par les chotts.....	134
5. Conclusion.....	134

Chapitre III : Vulnérabilité de la nappe libre à la pollution.

1. Introduction.....	135
2. Méthodes des systèmes paramétriques.....	135
2.1. Le système matriciel.....	135
2.2. Le système de classe.....	135
2.3. Le système de classes pondérées.....	135
2.4. Méthodes de comparaison.....	135
2.5. Méthodes des relations analogiques et modèles numériques.....	135
3. Application de la méthode GOD (Foster 1987).....	136
3.1. Présentation de la méthode.....	136
3.2. Préparation des données.....	136
3.3. Digitalisation.....	136
3.4. Description des paramètres GOD.....	138
3.4.1. Profondeur de la nappe (D).....	138
3.4.2. Type de nappe.....	138
3.4.3. Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques.....	139
4. Interprétation de la carte de vulnérabilité de la nappe libre d'Oued Righ.....	140
5. Conclusion.....	142
 Conclusion Générale.....	143
 Recommandation	145

Liste des abréviations

ABHS : Agence de Bassin Hydrographique du sahara.

ADE : Algérienne des Eaux.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

CI : continental intercalaire.

CT : complexe terminal.

Listes Des Tableaux

N° de tableau	Listes Des Tableaux Titre de tableau	Page
Tableau n° 01 :	Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karloff, 1952)	18
Tableau n° 02 :	Résultats analytiques de première classification	22
Tableau n° 03 :	Résultats analytiques de deuxième classification	23
Tableau n° 04 :	les coordonnées géographiques des deux stations (Touggourt et Guemar).	28
Tableau n° 05 :	Variation des précipitations annuelles en (mm) aux deux stations (1975-2007).	29
Tableau n° 06 :	Les caractéristiques pluviométriques observées aux deux stations (1975-2007).	30
Tableau n° 07 :	Variabilité pluviométrique aux deux stations (1975-2007).	31
Tableau n° 08 :	Répartition saisonnière des précipitations (mm) à la station de Guemar (1975-2007).	32
Tableau n° 09 :	Répartition saisonnière des précipitations (mm) à la station de Touggourt (1975-2007).	32
Tableau n° 10 :	Les précipitations moyennes mensuelles aux deux stations (1975/2007).	33
Tableau n° 11 :	L'évaporation moyenne mensuelle aux deux station (1975/2007).	34
Tableau n° 12 :	L'humidité moyenne en (%) aux deux stations (1975/2007).	35
Tableau n° 13 :	Les vitesses de vent moyennes en m/s aux deux stations (1975/2007).	36
Tableau n° 14 :	Les durées d'insolation en heures aux deux stations (1975/2007).	38
Tableau n° 15 :	Températures moyennes mensuelles en (c°) aux deux stations (1975-2007).	38
Tableau n° 16 :	Variation des températures annuelles en (C°) aux deux stations (1975-2007).	39
Tableau n° 17 :	Résultats du quotient pluviométrique d'Emberger aux deux stations.	42
Tableau n° 18 :	Résultats d'indice d'aridité aux deux stations.	44
Tableau n° 19 :	Les valeurs de P/T déterminées par la méthode d'Euverte pour les deux stations.	44
Tableau n° 20 :	bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Guemar (1975/2007).	45
Tableau n° 21 :	bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Touggourt (1975/2007).	46
Tableau n° 22 :	Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations	50
Tableau n° 23 :	Résultats des paramètres hydrauliques aux stations de jaugeage	51
Tableau n° 24 :	Résultats des débits de chaque station (au moulinet)	52
Tableau n° 25 :	Débits additionnels	53

Tableau n° 26 :	Répartition du débit du canal à Station Ranou	53
Tableau n° 27 :	Répartition du débit du canal à Station Sidi Slimane	54
Tableau n° 28 :	Répartition du débit du canal à Station Tinedla Amont	55
Tableau n° 29 :	Répartition du débit du canal à Station Boufeggoussa	55
Tableau n° 30 :	Données générales sur la nappe du continentale intercalaire	61
Tableau n° 31 :	Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)	63
Tableau n° 32 :	Les paramètres hydrodynamiques de la zone d'étude	75
Tableau n° 33 :	Les valeurs des pH dans la nappe libre	76
Tableau n° 34 :	Les valeurs des conductivités électriques dans la nappe libre	78
Tableau n° 35 :	Classification des eaux souterraines selon la dureté totale	79
Tableau n° 36 :	Les valeurs des pH dans la nappe CT	94
Tableau n° 37 :	Les valeurs des conductivités électriques dans la nappe CT	95
Tableau n° 38 :	Les valeurs des pH dans la nappe CI	109
Tableau n° 39 :	Les valeurs des conductivités électriques dans la nappe CI	110
Tableau n° 40 :	Débit des eaux usées rejetées dans le canal dans des différentes localités (d'après ANRH, Touggourt, 2006)	130
Tableau n° 41 :	Bilan hydrique et salin du chott Merouane	131
Tableau n° 42 :	Résultats des analyses hydro chimiques du Chotts et du Canal (még/l)	131

Listes des figures

Listes des figures

N° de figure	Titre de figure	Page
Figure n° 01 :	La remontée des eaux de la nappe phréatique (Merjaja)	3
Figure n° 02 :	La remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine)	4
Figure n° 03 :	Situation géographique de la région de l'Oued Righ [Google Earth., 2007	5
Figure n° 04 :	Répartition communale d'Oued Righ	6
Figure n° 05 :	Coupe géologique du Sahara Septentrionale d'après UNESCO	10
Figure n° 06 :	Carte géologique du Sahara orientale 1/1000 000 Extrait de la carte géologique Nord Ouest de l'Afrique (1976).	11
Figure n° 07 :	Coupe géologique N-S passant par la cuvette Secondaire Saharienne et par le bassin de l'Oued Righ (A.Cornet, 1962).	12
Figure n° 08 :	Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt, (sans échelle)	16
Figure n° 09 :	Répartition des palmeraies dans la vallée de l'Oued Righ par région	26
Figure n° 10 :	Répartition des palmeraies dans la vallée de l'Oued Righ par commune	27
Figure n° 11 :	Histogramme des précipitations annuelles aux deux stations (1975-2007)	29
Figure n° 12 :	Variations des précipitations saisonnières à la station de Guemar (1975-2007)	32
Figure n° 13 :	Variations des précipitations saisonnières à la station de Touggourt (1975-2007)	33
Figure n° 14 :	Histogramme Les précipitations moyennes mensuelles aux deux stations (1975/2007)	34
Figure n° 15 :	Histogramme d'évaporations moyennes en mm aux deux stations (1975/2007)	35
Figure n° 16 :	Histogramme de l'humidité moyenne en % aux deux stations (1975/2007)	36
Figure n° 17 :	Histogramme Les vitesses de vent moyennes en m/s aux deux stations (1975/2007)	37
Figure n° 18 :	Histogramme Les durées d'insolations moyennes en heures aux deux stations (1975/2007)	38
Figure n° 19 :	Températures moyennes mensuelles en (c°) (1975-2007)	39
Figure n° 20 :	Histogramme des Températures annuelles aux deux stations (1975-2007)	40
Figure n° 21 :	Diagramme pluviométrique à la station de Guemar (1975-2007)	41
Figure n° 22 :	Diagramme pluviométrique à la station de Touggourt (1975-2007)	42
Figure n° 23 :	Climagramme d'EMBERGER	43
Figure n° 24 :	Variation du débit en fonction de la longueur du canal	54
Figure n° 25 :	la variation du débit en fonction de la longueur du tronçon	55
Figure n° 26 :	Présentation du débit du canal à station Ranou	56

Figure n° 27 :	Présentation du débit du canal à station Sidi Slimane	56
Figure n° 28 :	Présentation du débit du canal à station Tinedla Amont	57
Figure n° 29 :	Présentation du débit du canal à station Boufeggoussa	57
Figure n° 30 :	Variation du débit à travers les stations de jaugeage	58
Figure n° 31 :	Histogramme des variations du débit à travers les stations de jaugeage	58
Figure n° 32 :	Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002	60
Figure n° 33 :	Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI	61
Figure n° 34 :	Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972)	66
Figure n° 35 :	Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ	68
Figure n° 36 :	carte piézométrique de la nappe libre (juin 2006)	70
Figure n° 37 :	carte piézométrique des nappes CT (janvier 2003)	71
Figure n° 38 :	carte piézométrique des nappes CT (janvier 2003)	71
Figure n° 39 :	Essai de pompage longue durée à El Meghaier par la méthode de Cooper-Jacob de la remontée	73
Figure n° 40 :	Essai de pompage longue durée à El Meghaier par la méthode de Cooper-Jacob de la descende	74
Figure n° 41 :	Essai de pompage longue durée à Nezla par la méthode de Cooper-Jacob de la descende	75
Figure n° 42 :	Essai de pompage longue durée à Nezla par la méthode de Cooper-Jacob de la remontée	76
Figure n° 43 :	Histogramme des pH de la nappe phréatique	79
Figure n° 44 :	Histogrammes des conductivités de la nappe phréatique	80
Figure n° 45 :	le diagramme de Piper (la nappe libre Août 2006)	81
Figure n° 46 :	Carte des teneurs en Ca ⁺ en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	83
Figure n° 47 :	Carte des teneurs en Mg ⁺ en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	84

Figure n° 48 :	Carte des teneurs (Na^+ , K^+) en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	85
Figure n° 49 :	Carte des teneurs en Cl^+ en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	86
Figure n° 50 :	Carte des teneurs en So_4^{-2} (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	87
Figure n° 51 :	Carte des teneurs en Hco_3^- (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	88
Figure n° 52:	Diagramme de Riverside (Août 2006)	90
Figure n° 53 :	Diagramme de Wilcox (Août 2006)	91
Figure n° 54 :	Carte des teneurs en conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) de la nappe phréatique (Oued Righ)	92
Figure n° 55 :	Carte des teneurs en résidu sec (g/l) de la nappe phréatique (Oued Righ)	92
Figure n° 56 :	Relation résidu sec –conductivité de la nappe phréatique	93
Figure n° 57 :	L'impact de la remontée des sels sur les palmeries	94
Figure n° 58 :	Histogramme des pH de la nappe CT	96
Figure n° 59 :	Histogrammes des conductivités de la nappe CT	97
Figure n° 60 :	Diagramme de Piper pour les eaux de nappe CT	98
Figure n° 61 :	Carte des valeurs de Ca (Février 2008)	100
Figure n° 62 :	Carte des valeurs de (Na+K) (Février 2008)	100
Figure n° 63 :	Carte des valeurs de Mg (Février 2008)	100
Figure n° 64 :	Carte des valeurs de Cl (Février 2008)	100
Figure n° 65 :	Carte des valeurs de So_4 (Février 2008)	101
Figure n° 66 :	Carte des valeurs de Hco_3 (Février 2008)	101
Figure n° 67 :	Carte des valeurs de CE (Février 2008)	101

Figure n° 68 :	Carte des valeurs RS (Février 2008)	101
Figure n° 69 :	Carte des valeurs de Ca (Juin 2008)	102
Figure n° 70 :	Carte des valeurs de (Na+K) (Juin 2008)	102
Figure n° 71 :	Carte des valeurs de Mg (Juin 2008)	102
Figure n° 72 :	Carte des valeurs de Cl (Juin 2008)	102
Figure n° 73 :	Carte des valeurs de So_4 (Juin)	103
Figure n° 74 :	Carte des valeurs de Hco_3 (Juin 2008)	103
Figure n° 75 :	Carte des valeurs de CE (Juin 2008)	103
Figure n° 76 :	Carte des valeurs de RS (Juin 2008)	103
Figure n° 77 :	Diagramme de Richard et Wilcox pour la nappe CT (Février 2008)	104
Figure n° 78 :	Diagramme de Richard et Wilcox pour la nappe CT (Juin 2008)	105
Figure n° 79 :	les concentrations des nitrates dans les eaux de la nappe CT (Fév et Jui 2008)	106
Figure n° 80 :	les concentrations des nitrites dans les eaux de la nappe CT (Fév et Jui 2008)	106
Figure n° 81 :	Cycle de l'azote	107
Figure n° 82 :	les concentrations d'ammonium dans les eaux de la nappe CT (Fév et Jui 2008)	108
Figure n° 83 :	les concentrations des phosphates dans les eaux de la nappe CT (Fév et Jui 2008).	108
Figure n° 84 :	les concentrations des Fer total dans les eaux de la nappe CT (Fév et Jui 2008)	109
Figure n° 85 :	les concentrations des Fluore dans les eaux de la nappe CT (Fév et Jui 2008)	110
Figure n° 86 :	Histogrammes des valeurs pH de la nappe CI	111
Figure n° 87 :	Histogrammes des conductivités de la nappe CI	112

Figure n° 88 :	Diagramme de Piper pour les eaux de nappe CI	113
Figure n° 89 :	Carte des valeurs de Ca (Février 2008)	115
Figure n° 90 :	Carte des valeurs de (Na+K) (Février 2008)	115
Figure n° 91 :	Carte des valeurs de Mg (Février 2008)	115
Figure n° 92 :	Carte des valeurs de Cl (Février 2008)	115
Figure n° 93 :	Carte des valeurs de SO_4 (Février 2008)	116
Figure n° 94 :	Carte des valeurs de HCO_3 (Février 2008)	116
Figure n° 95 :	Carte des valeurs de CE (Février 2008)	116
Figure n° 96 :	Carte des valeurs de RS (Février 2008)	116
Figure n°97 :	Carte des valeurs de Ca (Juin 2008)	117
Figure n° 98 :	Carte des valeurs de (Na+K) (Juin 2008)	117
Figure n° 99 :	Carte des valeurs de Mg (Juin 2008)	117
Figure n° 100 :	Carte des valeurs de Cl (Juin 2008)	117
Figure n° 101 :	Carte des valeurs de SO_4 (Juin 2008)	118
Figure n° 102 :	Carte des valeurs de HCO_3 (Juin 2008)	118
Figure n° 103 :	Carte des valeurs de CE (Juin 2008)	118
Figure n° 104:	Carte des valeurs de RS (Juin 2008)	118
Figure n° 105 :	Diagramme de Richard et Wilcox pour la nappe CI (Février 2008)	119
Figure n° 106 :	Diagramme de Richard et Wilcox pour la nappe CI (Juin 2008)	120
Figure n°107:	les concentrations des nitrates dans les eaux de la nappe CI (Fév et Juin 2008)	121

Figure n° 108:	les concentrations des nitrites dans les eaux de la nappe CI (Fév et Jui 2008)	121
Figure n° 109:	les concentrations d'ammonium dans les eaux de la nappe CI (Fév et Jui 2008)	122
Figure n°110:	les concentrations des phosphates dans les eaux de la nappe CI (Fév et Jui 2008)	122
Figure n°111 :	les concentrations des Fer total dans les eaux de la nappe CI (Fév et Jui 2008)	123
Figure n° 112 :	les concentrations des Fluore dans les eaux de la nappe CI (Fév et Jui 2008)	123
Figure n° 113 :	Schéma représentant la communication entre les différentes nappes (ANRH) (modifie 2009)	124
Figure n° 114 :	Vue par satellite de chott Merouane (exutoire naturel) ANRH Ouargla	127
Figure n° 115 :	Photo Chott Sidi Slimane à Touggourt (Février 2008)	128
Figure n° 116 :	Canal de Oued Righ dans la région de Touggourt (2009)	131
Figure n° 117 :	Les rejets des eaux usées dans le canal de l'Oued Righ (2009)	132
Figure n° 118 :	Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster, 1987)	137
Figure n° 119 :	La méthode utilisée pour la réalisation de la carte de vulnérabilité	138
Figure n° 120 :	Carte de profondeur de la nappe	139
Figure n° 121 :	Carte de la lithologie	139
Figure n° 122 :	carte représente le type de la nappe	140
Figure n° 123:	cartes de la vulnérabilité de la nappe libre de Oued Righ selon la méthode GOD	141
Figure n° 124:	carte de la vulnérabilité de la nappe libre de Oued Righ selon la méthode GOD (3D)	142

Introduction Générale :

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces derniers ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Force est donc de recourir, tant pour l'eau potable que pour l'eau industrielle, aux eaux de surface, eaux de rivière et des lacs. Ces dernières, encore relativement propres a un temps pas très loin, sont malheureusement exposées de plus en plus à la pollution, sous la forme de rejets d'effluents industriels ou domestiques, et deviennent progressivement impropres à tout usages, sans un traitement préalable pouvant être compliqué et souvent onéreux.

La région de l'Oued Righ est l'une des régions les plus anciennement cultivées et l'une des mieux connues du Sahara septentrional. Elle s'étend sur une longueur de 150 km Sud – Nord et une largeur allant de 20 à 30 km. Est- Ouest. Elle est constituée d'une cinquantaine d'oasis qui compte totalement environ 16000 ha cultivés et plus d'un million et demi de palmiers dattiers.

Cette région dite "Oued Righ" dans le Sahara Algérien est connue par son développement considérable des Oasis qui produisent des dattes d'excellente qualité.

La vallée de l'oued Righ est une large fosse de direction Nord- sud prenant son origine au sud (la palmeraie d'El-Goug) et débouchant sur le chott Mérouane.

L'extension des palmeraies, ces dernières années ont contribué à la multiplication du nombre de forages aussi que ceux du continental intercalaire, ceci a provoqué des problèmes liés à la remontée et à la salinité des eaux.

Ce présent travail a pour objectif de faire la synthèse des données recueillies sur la région et de définir les aspects hydrogéologique, hydrodynamiques et hydrochimiques qui sont en mettant l'accent sur la vulnérabilité de la région aux influences anthropiques.

Le présent mémoire est structuré en

- La première partie est consacrée à l'identification naturelle de la zone d'étude, en définissant la région, et en présentant les caractéristiques géologiques et pédologiques.
- La deuxième partie traite de hydroclimatologie et l'hydrologie, et l'hydrogéologie des nappes de l'oued Righ, en définissant ses caractéristiques hydrogéologiques et ses paramètres hydrodynamiques par l'interprétation des essais de pompages.
- La troisième partie concerne les études hydrochimiques des eaux des trois nappes de l'oued Righ, et en fin établir une carte de vulnérabilité de la nappe libre à la pollution.

Problématique :

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

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

En outre la mauvaise exploitation des palmeraies (travaux culturaux, entretien, mode d'irrigation)

Ces contraintes conjuguées à une utilisation abusive des eaux profondes pour l'irrigation se traduisent par la remontée de la nappe phréatique.



Fig.N°1: La remontée des eaux de la nappe phréatique (Merjaja)



Fig.N°2 : La remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine).

Les débits extraits par des forages destinées à l'irrigation dans les différentes nappes sont mal gérés, l'irrigation se fait presque dans toutes les palmeraies par les méthodes traditionnelles (submersion dans les seghias). Les fellahs ne respectent pas convenablement les systèmes de rotation et les fuites des réseaux d'alimentation en eau potable.

Ceci a accéléré la genèse de nouveaux chotts à Sidi Slimane.

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

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

1. La situation géographique :

La région de l'Oued Righ se situe au Sud-est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental et la bordure Sud du massif des Aurès, la vallée de l'Oued Righ commence au Sud au voisinage du le village d'El Gouge (Touggourt) et se prolonge sur une distance de 150km plus au Nord vers le village d'Oum-Thiour [100 km de la wilaya de Biskra]. Elle est située entre les altitudes Nord 32°54'et 34°9' et longitudes Est 5°30' et 6°20'. Sur le plan administratif, la vallée de l'oued Righ est limitée :

- Au Nord par la willaya de Biskra et la commune de Tolga.
- Au Sud-Ouest par les oasis de Ouargla.
- A l'Est par la vallée de l'Oued Souf.

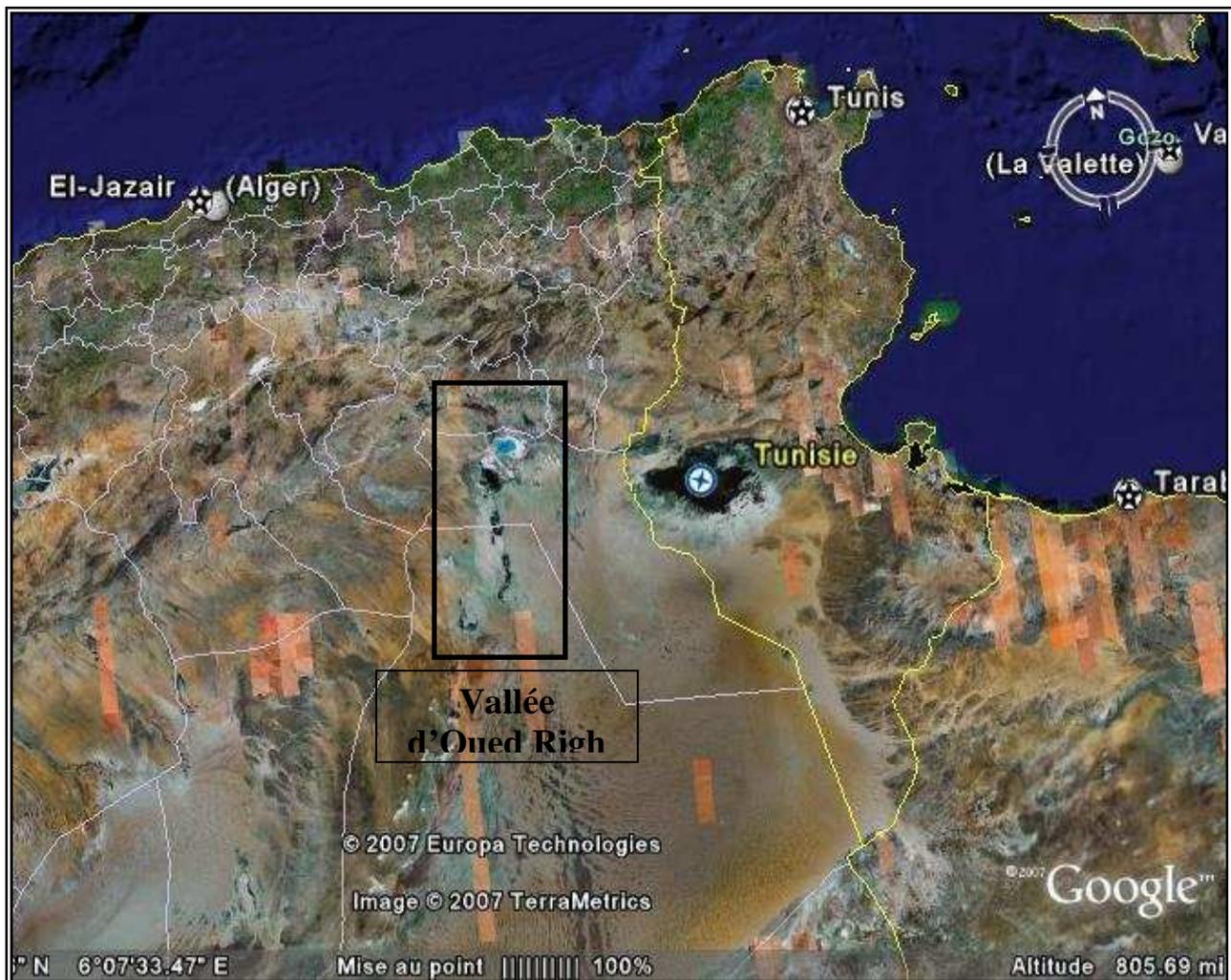


Fig. N°3 : Situation géographique de la région de l'Oued Righ [Google Earth., 2007]

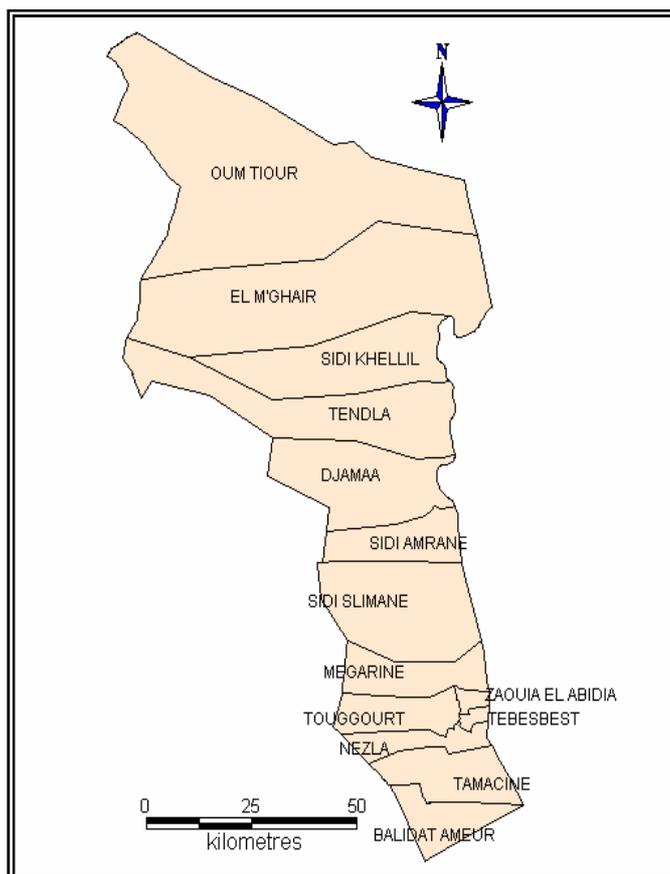


Fig. N°4 : Répartition communal d'Oued Righ.

2. Géomorphologie et Topographie :

La région a une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui s'étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions.

La variation des côtes de la surface topographique se fait d'une façon régulière et passe de 90m à Goug ,45m à Djamaa, 0m à El Meghaier et -20m Ourir .

Cette région est connue sous le nom du 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.

La région de l'Oued Righ est topographiquement plus ou moins aplatie (plaine). Le point le plus élevé 105m est situé à Touggourt et -20m à Ourir pour le point le plus bas, l'altitude moyenne est de 46m, et la pente est 1‰.

3. Climat et Végétation :

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité où la pluviométrie est aléatoire de l'ordre de 60 mm, ce qui ne favorise pas le développement de la végétation .La température est très élevé en été avec une humidité faible.

La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région de l'Oued Righ, elle est développée et occupe entre 10% et 15 % de la superficie de la région.

4. Activités économiques :

La vallée regroupait 50 oasis couvrant 15000 hectares en 1988 (I.N.R.AA) Institut National des Recherches Agricoles Algérien.

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, du phénomène de : la remontée de la nappe phréatique, le vieillissement des palmiers »...etc. la main d'œuvre se tourne vers les sociétés pétrolières, offrent des emplois plus rémunérés.

Les dernières statistiques (1988) montrent que l'agriculture n'occupe dans notre région d'étude qu'une faible main d'œuvre, soit 38%, au vu du climat hyperaride, l'agriculture est très consommatrice d'eau.

Parmi les variétés cultivées; Deglat Nour prédomine, suivie par « Ghars », et « Degla Bayda ».

L'élevage concerne les Ovins et les Caprins.

Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs petites usines surtout des briqueteries implantées à proximité de la source de matière première, ainsi que des complexes de transformations d'hydrocarbures, [DTP], transformation des plastiques (département de transport et production) ; fabrique d'aluminium, ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Le tourisme est caractérisé par la visite des oasis, du lac de Temacine, les anciennes Medinas, les tombeaux des rois...etc. Et surtout la Zaouia Tidjania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année

1. Introduction :

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet la détermination des horizons susceptibles d'être aquifères.

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

2. Géologie régionale :

La région d'étude fait partie du Bas Sahara qui est limité :

- Au Nord : par l'accident Sud Atlasique, et les premiers contreforts des monts des Aurès.
- Au Sud : par la falaise méridionale de Tihert.
- A l'Est : par les affleurements Crétacé de Dahar Tunisie
- A l'Ouest : par la dorsale de M'zab.

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, avec plus de 600 km de diamètre, il couvre 72000 km² de superficie, il 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, soit 125000 km². Notre région fait partie de cet ensemble.

Le Bas Sahara se présente comme un vaste synclinal. Mis à part le côté Nord, les autres bordures sont de hauteur modeste et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSW-NNE et parcourue par des oueds Mya et Righ, vers le Nord au contraire se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Nail des Aurès et des Nemamcha qui bordent une dépression longitudinale, occupée par des chotts et dont le fond à une cote inférieure au niveau de la mer.

Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grand partie par le Grand Erg Oriental. Cependant, quelques affleurements sont observés sur les bordures.

2.1. Les bassins sédimentaires de l'Algérie :

A. Algérie alpine :

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

L'Atlas Tellien est le domaine des nappes de charriages avec des bassins de type intra-montagneux.

Le Hodna est un bassin d'avant fossé dont la séquence de remplissage débute par des dépôts continentaux.

B. Plateforme saharienne :

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

De l'Ouest à l'Est on distingue :

B.1. Bassin Tindouf et Reggane :

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

B.2. Bassin de Bechar :

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

B.3. Bassin de l'Ahnet-Timimoun :

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

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

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

B.5. La synéclise d'Illizi-Ghadames :

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

Ainsi, l'épaisseur des formations varie entre 1000 et 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 plate forme saharienne en un certain nombre de bassins repartis en province occidentale, orientale et Triasique.

C'est la province Triasique qui englobe le Bas Sahara. Elle est située dans la partie septentrionale de la plate forme Saharienne et forme 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 discordance sur le Paléozoïque.

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

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

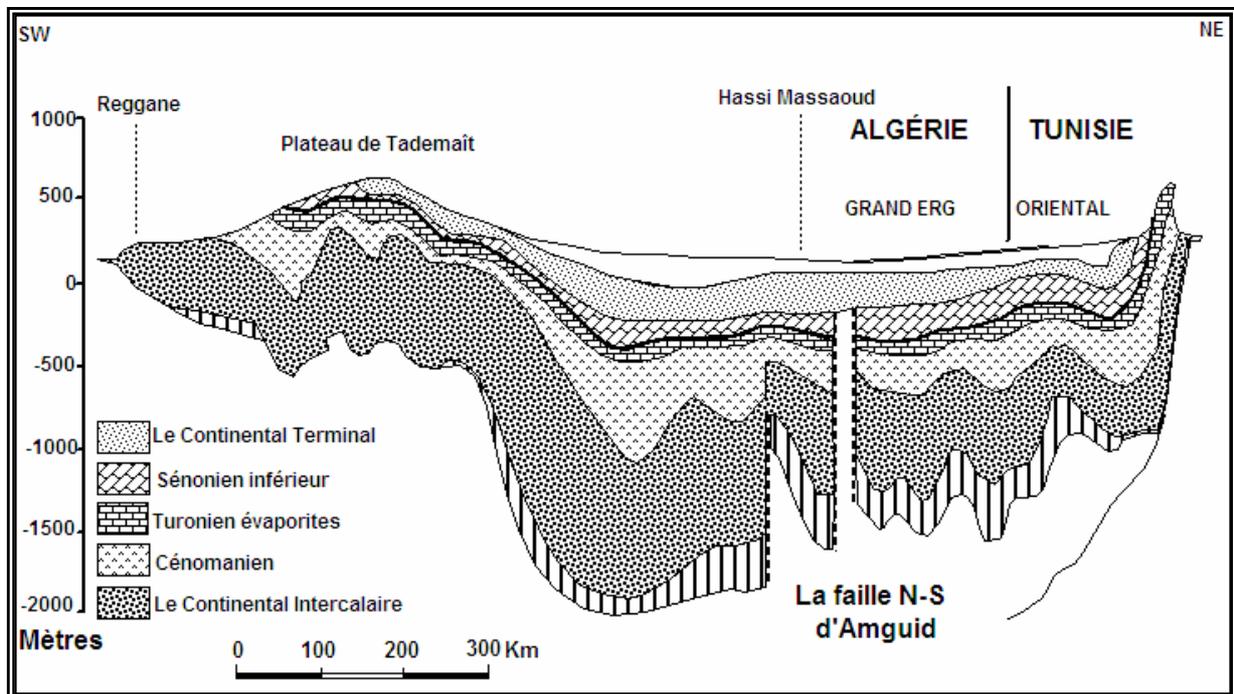


Fig. N°5 : Coupe géologique du Sahara Septentrionale d'après UNESCO

3. Géologie locale :

Pour étudier la géologie de la zone d'études, 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 (03) ensembles :

- Les terrains paléozoïques affleurent au Sud entre les plateaux de Tadmaït et Tinghert et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïque et du 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.

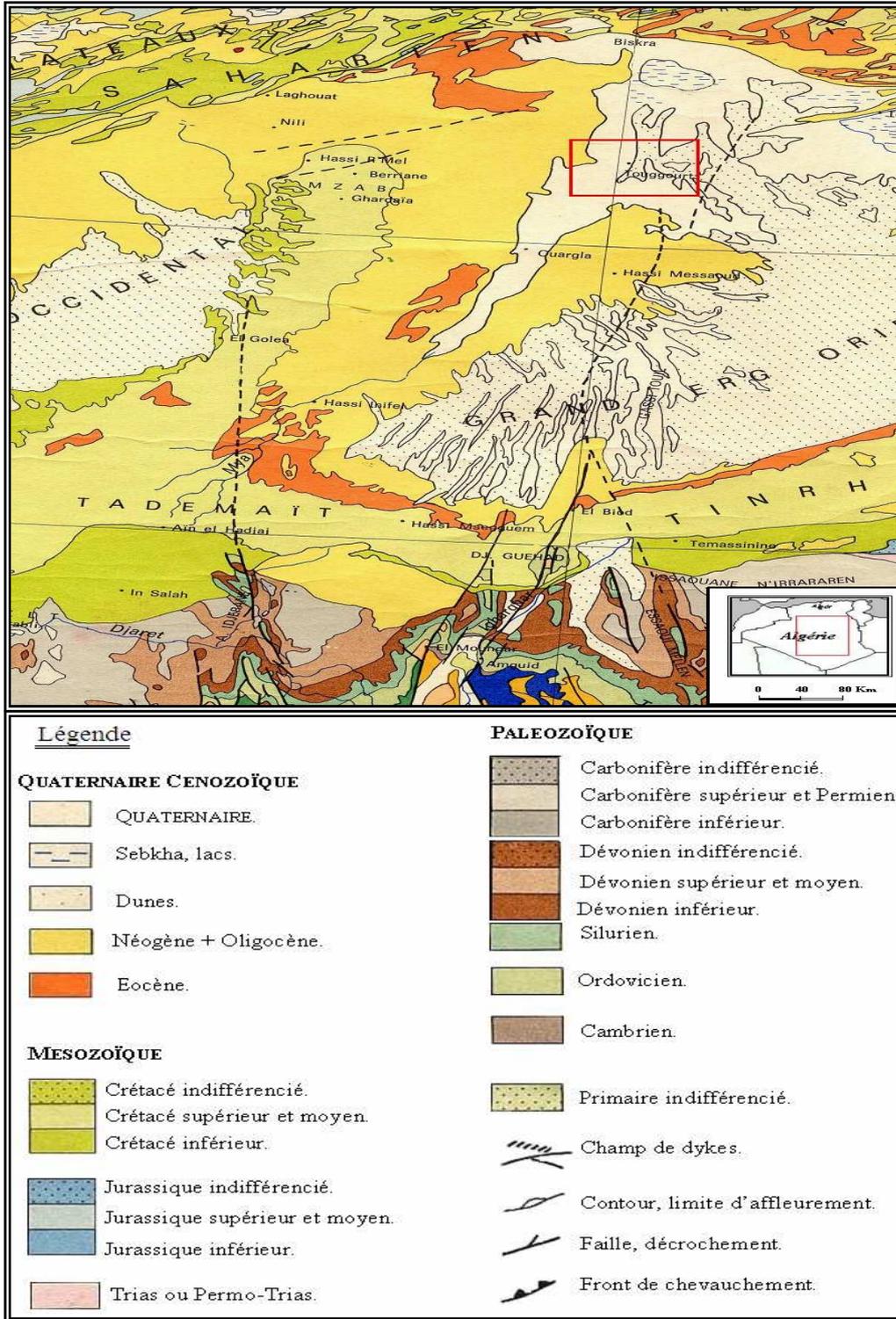


Fig. N°6: Carte géologique du Sahara orientale 1/1000 000.

Extrait de la carte géologique Nord Ouest de l'Afrique (1976).

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 font environ 4500 m d'épaisseur.

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

4. Cadres stratigraphique et paléontologique de la région:

Les formations géologiques sont décrites du plus ancien au plus récent :

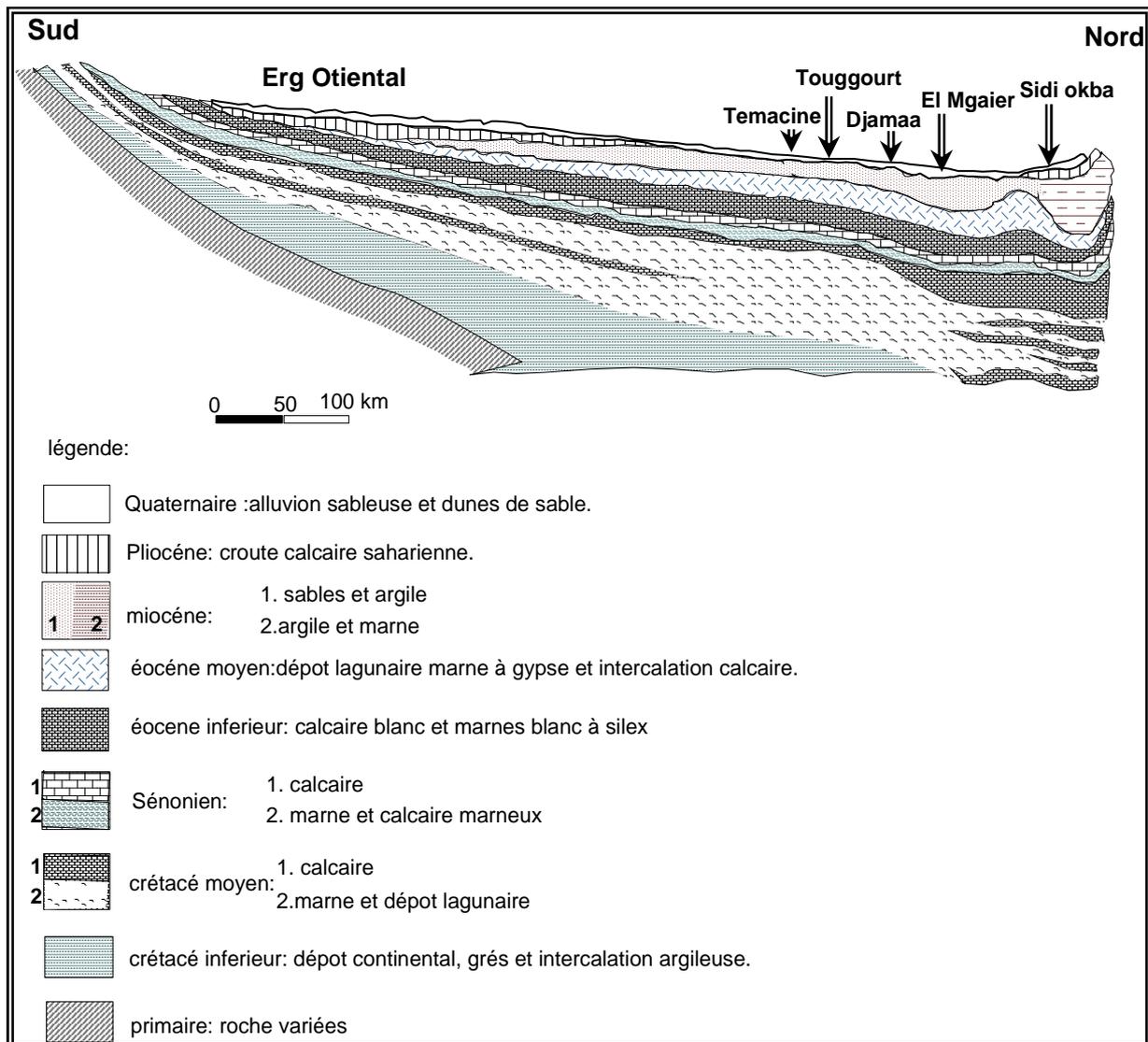


Fig. N°7 : Coupe géologique N-S passant par la cuvette Secondaire Saharienne et par le bassin de l'Oued Righ (A.Cornet, 1962) modifie 2009.

4.1. Mésozoïque :

4.1.1. Le Crétacé :

Cette époque géologique est intéressante pour deux raisons :

La première, le Crétacé affleure sur les bords du Bas Sahara (Karpoff, 1952) et repose sur le socle primaire composé des roches variées : schistes, grès et calcaire. La deuxième, l'étendue des affleurements crétacés est très importante en Algérie Orientale.

Ce Crétacé correspond à une série en grande partie continentale formée d'une alternance de couches gréseuses et argileuses.

4.1.2. Néocomien :

Cet étage se subdivise en deux séries :

-La série inférieure : à prédominance argileuse, est représentée par des argiles grises et vertes, plus au moins pélitique. Dans ces argiles, sont intercalées des dolomies microcristallines et cristallines.

-La série supérieure : comprend deux ensembles :

-L'ensemble supérieur, constitue des dolomies et des 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 anhydritique, grises, vertes et rouges. Ces argiles passent à des marnes avec lits dolomitiques.

L'épaisseur du Néocomien est de 350 m.

4.1.2. Le Barrémien :

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

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

4.1.3. L'Aptien :

L'Aptien est constitué de dolomies microcristallines à cristallines, parfois blanches, crayeuses et tendres, contenant des débris de mollusque et entrecoupé de marnes grises dolomitiques.

L'Aptien présente les caractéristiques d'un terrain semi-perméable, son épaisseur varie de 28 à 31 m.

4.1.4. 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,
- ♦ l'Albien se présente comme une série très épaisse (200-300 m).

4.1.5. Le Vraconien :

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

4.1.6. Le Cénomaniens :

Le Cénomaniens est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites et même de sel son épaisseur est de l'ordre de 200-250 m (formations imperméables).

4.1.7. 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 de l'ordre de 90-100 m.

4.1.8. 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.
- ♦ Le Sénonien carbonaté, au sommet.

-Le Sénonien lagunaire : La limite inférieure, du Sénonien lagunaire est généralement nette. En effet les évaporites et argiles sénoniennes sont aisément différenciables des calcaires et dolomies de 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.

-Le Sénonien carbonaté : Le Sénonien supérieur est carbonaté. Il est essentiellement constitué de dolomies et de calcaires micro-fissurés avec des intercalations de marnes, d'argiles et plus rarement d'anhydrites.

La limite supérieure de ce niveau est moins nette, 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. Le système carbonaté est essentiellement formé de dolomies et de calcaires dolomitiques, avec des intercalations de marnes et d'argiles, plus rarement d'anhydrites

L'ensemble ayant une puissance de 800-900m

4.2. Cénozoïque :

4.2.1. 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 l'Oued Righ, il a 100 m d'épaisseur à Sidi Slimane.

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 éocène 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 l'Oued Righ, son épaisseur est de l'ordre de 100 m.

Les bancs carbonatés sont suffisamment importants pour constituer des niveaux aquifères

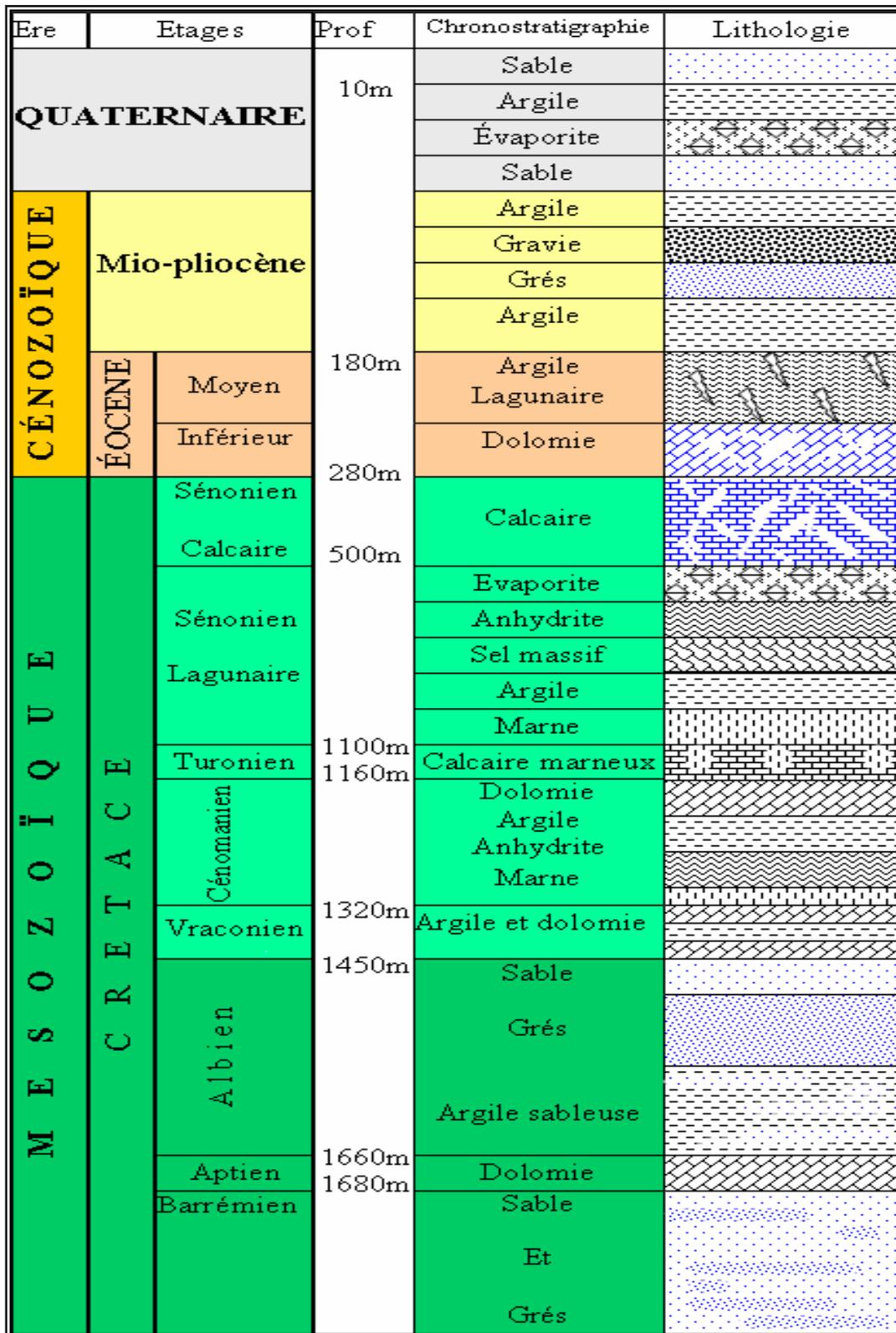


Fig. N°8 : Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt, (sans échelle).

4.2.2. L'Oligocène :

Cet étage n'est pas connu dans la zone saharienne, à l'Oligocène, le Sahara était un plateau qui émerge, sur lequel s'effectuait une sédimentation continentale, ce qui rend impossible toute discrimination d'étage.

4.2.3. Le Mio Pliocène :

Il correspond au Complexe Terminal. C'est un puissant ensemble de sable et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance, indifféremment sur le Primaire, le Crétacé même le tertiaire : 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 :

Niveau 01 : argileux, 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 du niveau 02.

Niveau 02 : grés-sableux, 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 inférieure 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 affleure sur de grandes surfaces et est souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.

4.3. Le Quaternaire :

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

5. Tectoniques :

5.1. Tectonique générale :

La géométrie actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence des 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, la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès.

Enfin, la phase plio-quadernaire qui s'insère avec les précédentes dans la phase alpine, d'où l'apparition des fractures de direction Est-Ouest qui forment la surrection du massif des Aurès et l'affaissement de la partie Sud « Sillon Sud Aurésien », ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tels que Merouane et Melguir. 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 les points les plus affaissés.

Nous présentons un tableau récapitulatif des étapes probables des tectoniques dans le Sahara algérien (d'après R.Karpoff 1952).

Tableau N°1: Les étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karloff, 1952)

Age	Style
1-Antécambrien.	Plis très aigus, failles.
2-Paléozoïque.	Mouvements amples d'axe Est-ouest. Formations de chaînes orientées N-S, NNE-SSW ou NW-SE sur des axes antécambriens.
3-Poste Eocène et antémoicène.	Rejou des structures hercyniennes avec leur orientation ancienne.
4-Post Miocène.	Premiers plis d'axe NW-SE.
5-Post Pliocène.	Mouvements peuvent être dans la région Nord. Seul plis en genoux de l' Aurès d'axe E-W.
6-Fini Quaternaire ancien.	Plis affectant le Moi-Pliocène seul ou accompagné du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux dont l'axe NW-SE est le principal.
7-Neolithique.	Mouvements de grande amplitude à plis faible et localisés.

6. Paléogéographie :

Le Cénomaniens est caractérisé par l'influence marine importante traduit par un milieu marin, 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 par un dépôt lagunaire, suivi d'une période d'arrêt au cours du Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur.

Une réapparition d'un dépôt lagunaire qui comble définitivement la dépression de la cuvette saharienne.

Une élévation de l'ensemble, suivit d'un nouveau mouvement de descente selon l'axe de l'Oued Righ, cet exhaussement permet d'expliquer l'absence de l'Oligocène dans le Sahara.

Cet affaissement brusque du centre de la cuvette (région actuelle des chotts). Les cours d'eau venant de l'Ouest et du Sud entaillant de larges et profondes vallées dans la couverture Mio-Pliocène.

L'Oued Righ est Oued Igharghar formaient probablement alors un seul grand Oued avec Oued Mya comme affluent.

Un comblement partiel de la région effondre et des vallées qui l'entaillent et l'exhaussement local permet à l'Oued Righ de se séparer de l'Oued Igharghar.

Un affaissement lent de la région des grands chotts et le comblement de la vallée de l'Oued Righ à la suite d'importants apports pluviaux et éoliens. Qui finiront par envoyer l'Oued.

Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara Oriental, du Mésozoïque au Quaternaire 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 Cénomaniens.

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.

7. Conclusion :

La région de l'Oued Righ se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara qui fait partie d'une large fosse de direction N-S.

Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grande partie sous le Grand Erg Oriental. Seuls quelques affleurements sont observés sur les bordures.

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont défini la profondeur du socle précambrien, situé entre 3000 et 5000 m. Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 m d'épaisseur.

Les terrains paléozoïques affleurent au Sud, entre les plateaux de Tadmait et Tinhert et le massif du Hoggar.

Les terrains des Mésozoïques et du début du Cénozoïque constituent l'essentiel des affleurements des bordures.

Les dépôts continentaux Tertiaires et Quaternaires occupent le centre de la cuvette.

La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, Post Paléozoïques importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

1. Caractérisation générale des sols :

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

1.1. Premier classification :

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

1.1. 1. Description morphologique :

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

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

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

Tableau N°2 : Résultats analytiques de première classification :

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

1.2. Deuxième classification :

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

1.2.1. Description morphologique :

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

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

Tableau N°3 : Résultats analytiques de deuxième classification :

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

2. Texture et structure des sols :

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

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

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

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

3. Profondeur d'enracinement des plantes :

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

Généralement la profondeur de 1,20 m est bonne pour les cultures arboricoles et le palmier dattier ; Pour les cultures céréalières, fourragères et maraîchères elle doit être supérieure à 0,60 mètres. La profondeur des sols de la région prospectée est limitée le plus souvent par une nappe phréatique, dont le niveau hydro statique varie d'une zone à une autre.

4. Description pédologique des zones à étudier :

4.1. Généralités :

Afin d'avoir une idée plus précise sur les sols, il a été jugé nécessaire de présenter les descriptions pédologiques de certaines zones représentatives de la vallée et ce dans les trois principales régions à savoir : Touggourt - Djamaa - El Meghaier.

4.2. Région de Touggourt :

Blidet Amor :

La palmeraie de Blidet Amor se subdivise en deux parties : Est et Ouest.

La partie Est présente une forte densité de palmiers et nécessite un réaménagement. Du point de vue pédologique, cette palmeraie se caractérise par des sols de la classe des hydromorphes à accumulation de gypse avec un niveau encroûté entre 30 et 120 cm. La salinité varie entre 2000 et 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et dans certains sites, elle peut dépasser les 6000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La texture est grossière et la structure est le plus souvent fondue à particulaire. Quant à la partie Ouest, elle présente une faible densité de palmiers vigoureux avec une petite superficie de palmiers en voie de dégradation. Les sols de cette palmeraie sont de la même classe pédologique que la zone Est mais moins encroûtée.

Temacine :

La palmeraie de Temacine se subdivise en deux zones : Est et ouest. Les sols des deux zones se regroupent dans la classe pédologique des hydromorphes à action de nappe et à accumulation de gypse (encroûtement) entre 30 et 120 cm. La texture est grossière et la structure est fondue à particulaire.

La salinité des sols est comprise entre 2000 et 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et elle peut dépasser les 6000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans certains endroits.

La palmeraie Est est moins dense, régulière et vigoureuse que la palmeraie Ouest.

4.3. Région de Djamaa :

Palmeraie de Sidi Amrane :

Cette zone présente également deux classes pédologiques ; celle des sols peu évolués relativement sains et occupant une superficie restreinte et la classe des sols hydromorphes qui

occupe la grande majorité des sols. L'apport de matériau est éolien. La salinité des sols oscille généralement entre 2000 et 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et peut dépasser dans certaines endroits les 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

La texture des sols est grossière et la structure est le plus souvent fondue à particulaire.

Dans cette zone, la palmeraie est moins dense, régulière et vigoureuse. A la périphérie de la zone, il existe une forte densité de palmiers qui nécessitent un réaménagement.

Zaouiet Riab :

Cette palmeraie se caractérise par deux principales classes pédologiques à savoir : la classe des sols peu évolués et celle des sols hydromorphes salin à action de nappe.

Les sols de la région présentent tous des problèmes de salinité, (entre 2000 et 5000 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et des problèmes d'hydromorphie.

L'apport du matériau est éolien. La grande majorité des sols de cette zone se regroupent dans la classe des sols hydromorphes avec des horizons gypseux de nappes. Cette zone, présente une palmeraie dense, en voie de dégradation avancée.

4.4. Région d'El Meghaier :

El Meghaier et Dendouga :

Cette grande zone se caractérise par une densité de palmiers très variable d'une palmeraie à une autre.

La salinité des sols dépasse très rarement les 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Ces sols se regroupent dans les classes pédologiques des sols peu évolués, halomorphes et hydromorphes à action de nappes avec un encroûtement gypseux en profondeur. La texture des sols est généralement grossière et la structure est fondue à particulaire.

Les travaux d'aménagement à préconiser sont surtout le drainage, le dessalage et l'amendement organique.

Berd et Tindla :

La palmeraie d'El Berd et de Tindla est scindée en deux parties: l'une est caractérisée par une forte densité de palmiers, dont plusieurs sont en voie de dégradation, l'autre partie présente en revanche une palmeraie moins dense et vigoureuse.

La majorité des sols se regroupent dans la classe des sols peu évolués et une petite partie se localise dans la classe des sols hydromorphes à action de nappe, le plus souvent avec un encroûtement gypseux.

Cette zone se distingue par une faible salinité, qui oscille entre 2000 et 4000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La texture de ces sols est grossière à structure fondue à particulaire. Les travaux d'aménagement concernent principalement le drainage, le dessalage et l'amendement organique.

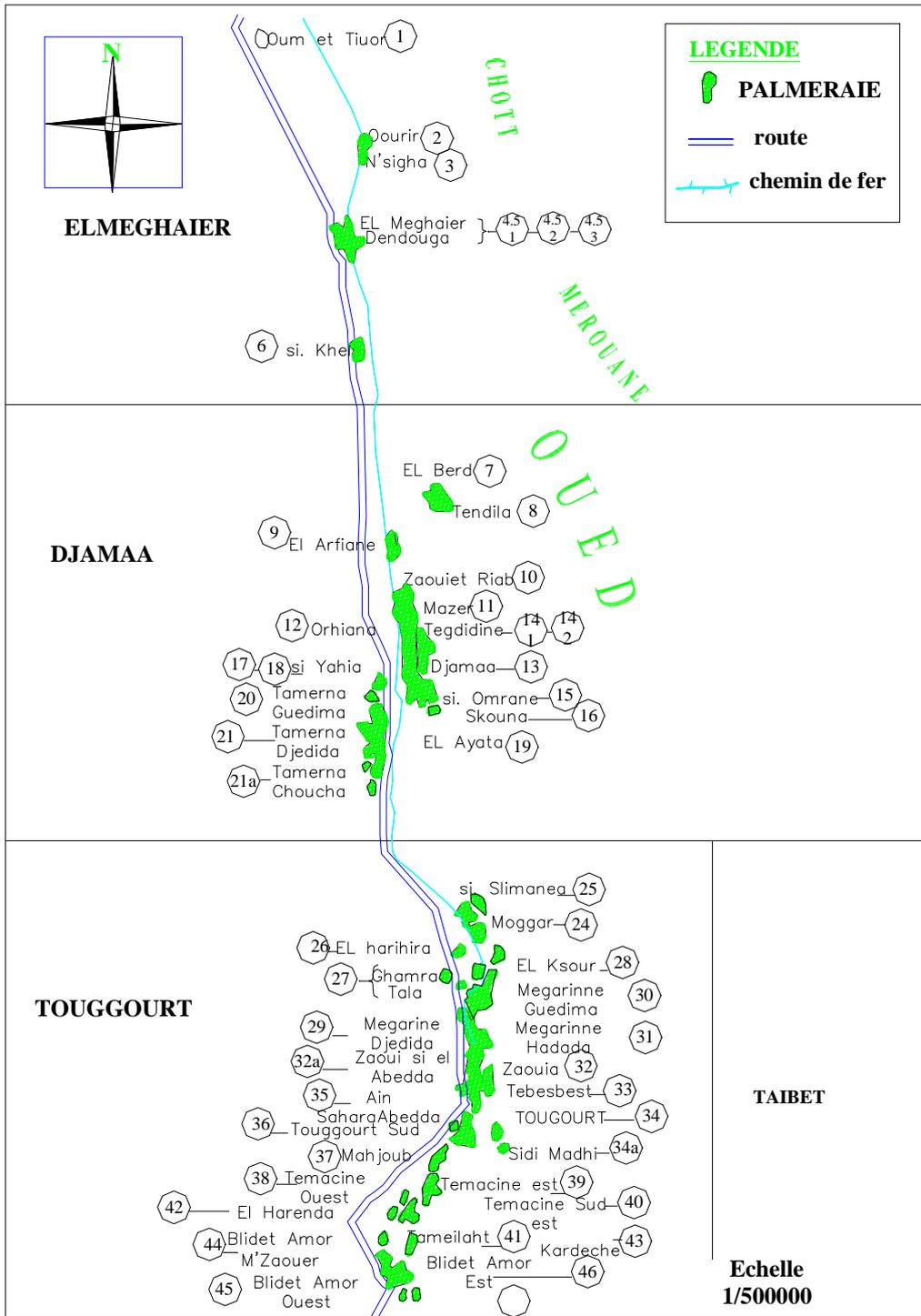


Fig. N° 9: Répartition des palmeraies dans la vallée de l'Oued

Righ par région.

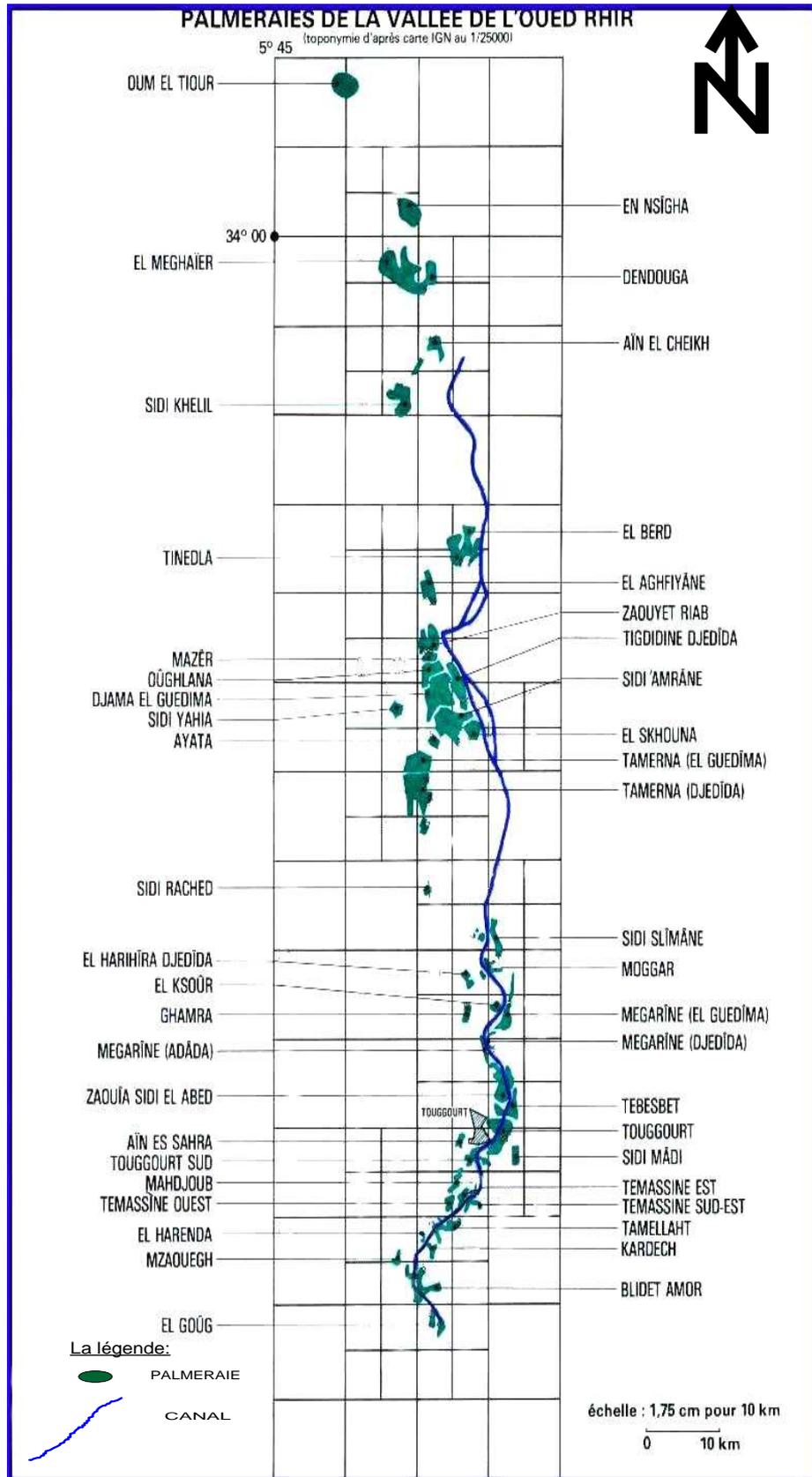


Fig. N° 10 : Répartition des palmeraies dans la vallée de l'Oued Righ par commune.

1. Introduction :

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

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

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

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

2. Caractéristiques climatiques :

La connaissance des facteurs climatiques (précipitations, températures,..) est indispensable pour quantifier les ressources en eaux, de surface et de déterminer la part de l'eau qui s'infiltré dans les nappes, constituant ainsi les eaux nécessaires utilisables.

La présente étude est basée sur les données disponibles des deux stations (Touggourt et Guemar) à cause de leurs caractères géographiques ressemblent à celles de la vallée de l'oued Righ, dont les coordonnées sont représentées dans le tableau N° 1.

Tableau N° 4 : les coordonnées géographiques des stations de Touggourt et Guemar.

station	Altitude	Latitude	Longitude
Guemar	64m	33°30'	06°47'
Touggourt	85m	33°04'N	06°05'E

2.1. Les précipitations :

Généralement, nous englobons sous le terme de « précipitations », toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide ou solide (pluies, neige, grêle ...).

Les précipitations sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques puisqu'elles constituent la matière première des débits.

2.1.1. Précipitations moyennes interannuelles des pluies :

Précipitations moyennes interannuelles d'une durée d'observation de 33 ans (1975-2007) pour la station de Touggourt représentées dans le tableau suivant :

Tableau N°5 : Variation des précipitations annuelles en (mm) aux deux stations (1975-2007).

Année	Touggourt	Guemar	Année	Touggourt	Guemar	Année	Touggourt	Guemar
1975	118.1	95.6	1986	79.4	41.44	1997	64.2	150.74
1976	107	74.96	1987	41.7	59.5	1998	46.2	77.65
1977	44.7	91.23	1988	54..5	177.9	1999	118.1	28.31
1978	44..9	87.5	1989	11..5	73	2000	58.6	50.5
1979	51..9	57.35	1990	148.4	67	2001	141.2	59.5
1980	153	60.4	1991	42.8	35.5	2002	329.1	113.12
1981	43.4	32.43	1992	132.2	64.88	2003	69.2	91.87
1982	72.4	32.45	1993	55.2	24.35	2004	161.6	112.63
1983	31.6	54.7	1994	48.7	159.25	2005	25.7	55.56
1984	30.9	59.4	1995	61.4	33.2	2006	44.7	42.75
1985	33.7	70.45	1996	88..5	74.85	2007	77.1	81.96

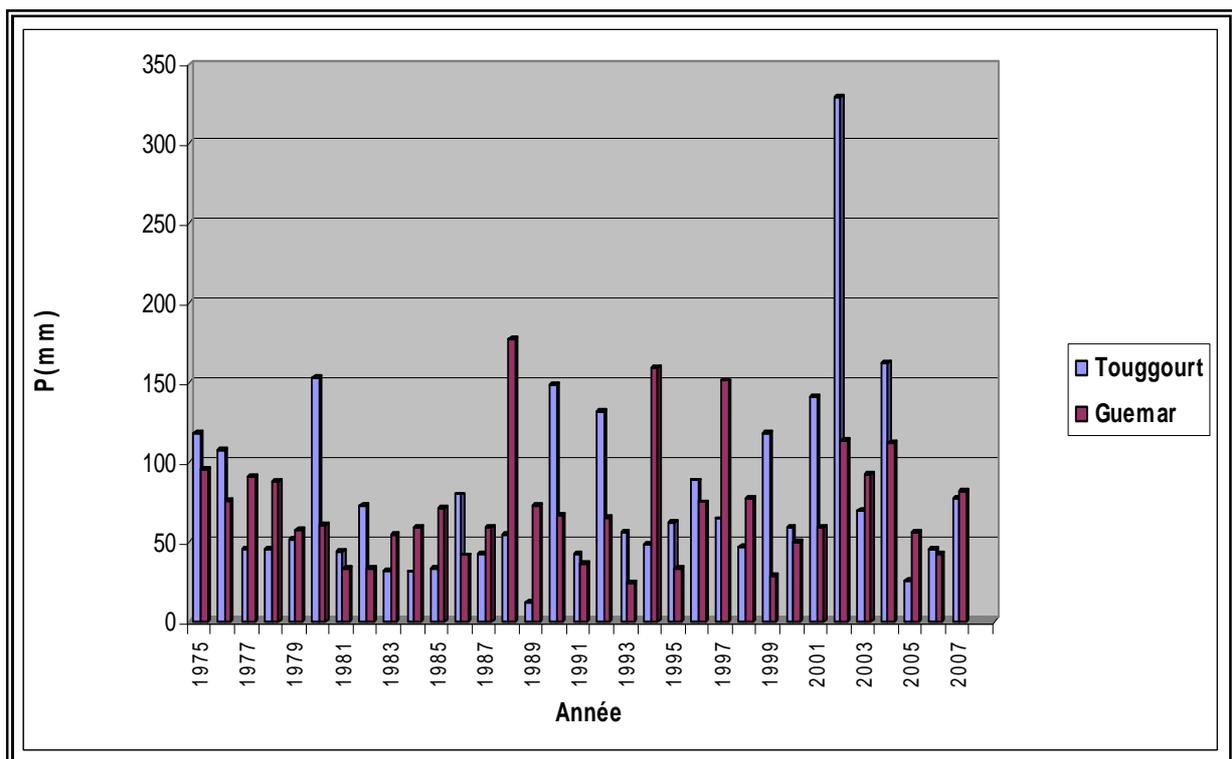


Fig. N°11 : Histogramme des précipitations annuelles aux deux stations (1975-2007)

D'après le tableau N°5 et les figures N° 11 nous remarquons que les moyennes annuelles des précipitations durant la période d'étude varient d'une année à une autre, entre 25.7 mm et 329.1 mm à la station de Touggourt et entre 24.35 mm et 177.9 mm à la station de Guemar.

2.1.2. Variations interannuelles des Précipitations:

La variabilité interannuelle du régime pluviométrique apparaît à travers les valeurs du coefficient de variation annuelle (CV) calculées pour la période 1975-2007 des stations de Touggourt et Guemar qui sont présentées au tableau N° 3.

$$C.V = Sp/Pm$$

Ou : **Sp** : Ecart type (mm).

Pm : La moyenne annuelle de précipitation (mm).

**Tableau N° 6 : Les caractéristiques pluviométriques observées
Aux deux stations (1975-2007).**

Paramètres	Station : Guemar	Station : Touggourt
Pm (mm)	72.48	79.75
Sp (mm)	37.05	60.4
C.V	0.51	0.75

La valeur du coefficient de variation annuelle est de 0,75 pour la station de Touggourt et 0.51 pour la station de Guemar, ce qui implique une variabilité assez forte.

Pour mieux caractériser la pluviométrie annuelle et déterminer les années excédentaires où déficitaires, on tient compte du coefficient pluviométrique (C.P).

$$C.P = P/Pm \quad P : \text{hauteur des précipitations (mm)}$$

Si : **CP>1** l'année est excédentaire.

CP<1 l'année est déficitaire.

Tableau N°7 : variabilité pluviométrique pour les deux stations (1975-2007).

Année	Tougourt	C.P	Observations	Année	Guemar	C.P	Observations
1975	118.1	1.48	excédentaire	1975	95.6	1.31	excédentaire
1976	107	1.34	excédentaire	1976	74.96	1.03	excédentaire
1977	44.7	0.56	déficitaire	1977	91.23	1.25	excédentaire
1978	44.9	0.56	déficitaire	1978	87.5	1.20	excédentaire
1979	51.9	0.65	déficitaire	1979	57.35	0.79	déficitaire
1980	153	1.91	excédentaire	1980	60.4	0.83	déficitaire
1981	43.4	0.54	déficitaire	1981	32.43	0.44	déficitaire
1982	72.4	0.9	déficitaire	1982	32.45	0.44	déficitaire
1983	31.6	0.39	déficitaire	1983	54.7	0.75	déficitaire
1984	30.9	0.38	déficitaire	1984	59.4	0.81	déficitaire
1985	33.7	0.42	déficitaire	1985	70.45	0.97	déficitaire
1986	79.4	0.99	déficitaire	1986	41.44	0.57	déficitaire
1987	41.7	0.52	déficitaire	1987	59.5	0.82	déficitaire
1988	54.5	0.68	déficitaire	1988	177.9	2.45	excédentaire
1989	11.5	0.14	déficitaire	1989	73	1.00	excédentaire
1990	148.4	1.86	excédentaire	1990	67	0.92	déficitaire
1991	42.8	0.53	déficitaire	1991	35.5	0.48	déficitaire
1992	132.2	1.65	excédentaire	1992	64.88	0.89	déficitaire
1993	55.2	0.69	déficitaire	1993	24.35	0.33	déficitaire
1994	48.7	0.61	déficitaire	1994	159.25	2.19	excédentaire
1995	61.4	0.76	déficitaire	1995	33.2	0.45	déficitaire
1996	88.5	1.10	déficitaire	1996	74.85	1.03	excédentaire
1997	64.2	0.80	déficitaire	1997	150.74	2.07	excédentaire
1998	46.4	0.58	déficitaire	1998	77.65	1.07	excédentaire
1999	118.1	1.48	excédentaire	1999	28.31	0.39	déficitaire
2000	58.6	0.73	déficitaire	2000	50.5	0.69	déficitaire
2001	141.2	1.77	excédentaire	2001	59.5	0.82	déficitaire
2002	329.1	4.12	excédentaire	2002	113.12	1.56	excédentaire
2003	69.2	0.86	déficitaire	2003	91.87	1.26	excédentaire
2004	161.6	2.02	excédentaire	2004	112.63	1.55	excédentaire
2005	25.7	0.32	déficitaire	2005	55.56	0.76	déficitaire
2006	44.7	0.56	déficitaire	2006	42.75	0.58	déficitaire
2007	77.1	0.96	déficitaire	2007	81.96	1.13	excédentaire

D'après le tableau N°7 nous remarquons qu'il y a 24/33 années déficitaires à la station de Tougourt et 19/33 pour la station de Guemar par contre il y a 9/33 années excédentaires pour la station de Tougourt et 14/33 pour la station de Guemar.

2.1.3. Précipitations saisonnières moyennes :

Station de Guemar :

Le tableau N° 8 et la figure N° 12 montrent une période sèche pendant les quatre saisons.

Tableau N°8 : Répartition saisonnière des précipitations (mm) à la station de Guemar (1975-2007).

	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Somme
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
P(mm)	22.21			28.4			19.38			4.14			74.13
P (%)	29.96			38.31			26.14			5.58			100

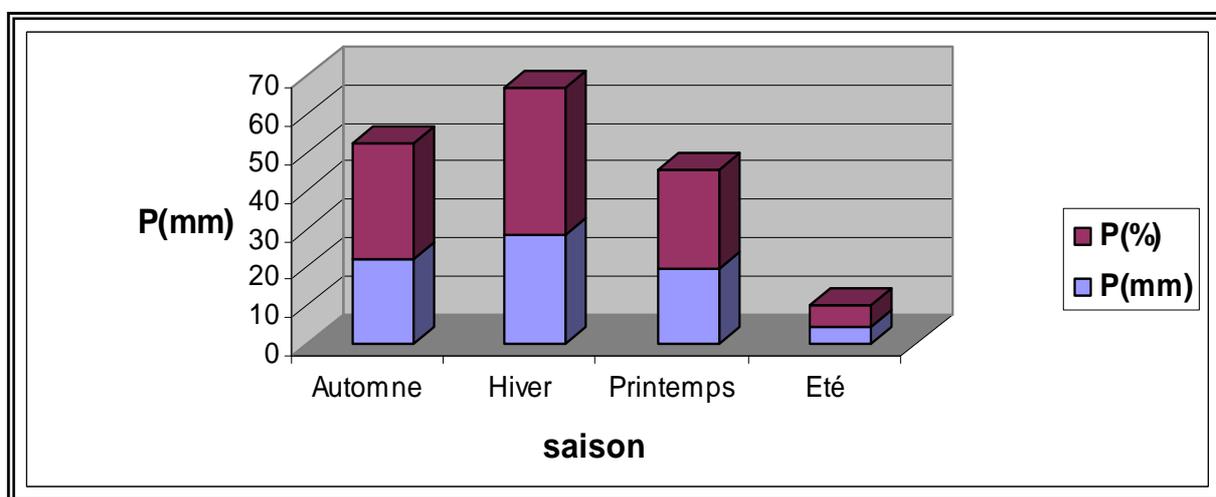


Fig.N°12 : Variations des précipitations saisonnières à la station de Guemar (1975-2007).

Station de Touggourt :

La répartition des précipitations selon les saisons se fait comme dans le tableau N° 9.

Tableau N°9 : Répartition saisonnière des précipitations (mm) à la station de Touggourt (1975-2007).

	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Somme
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
P(mm)	25.18			26.3			22.81			5.1			79.39
P (%)	31.71			33.12			28.73			6.42			100

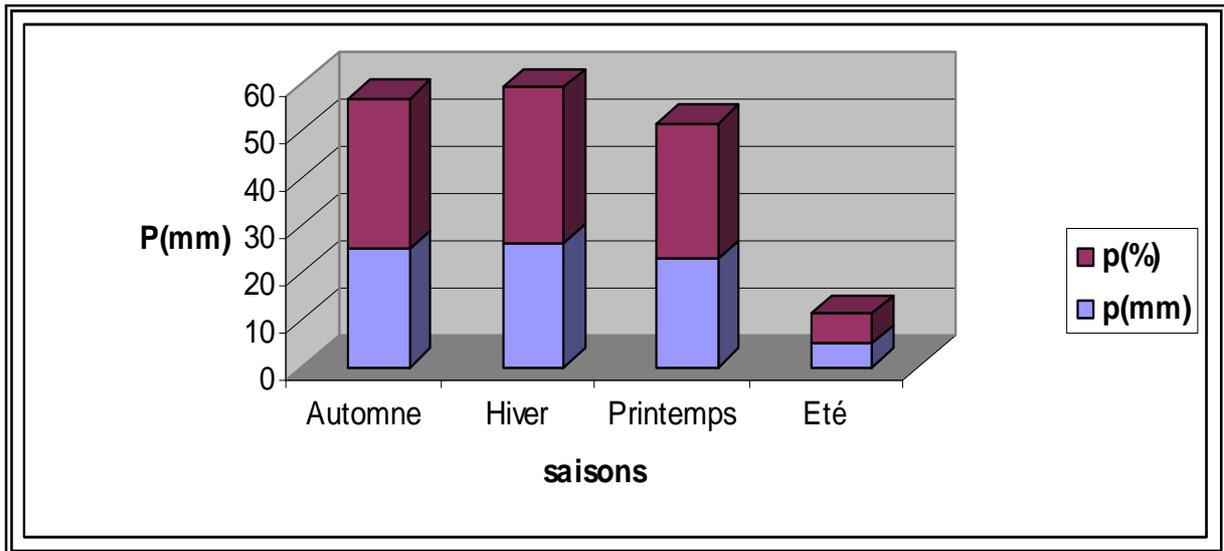


Fig.N°13 : Variations des précipitations saisonnières à la station de Touggourt (1975-2007).

Les tableaux n°9 et la figure n°13 montrent une période sèche qui correspond à toute l’année.

2.1.4. Précipitations moyennes mensuelles:

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations sont représentées sur le tableau N°10.

Tableau N°10 : Les précipitations moyennes mensuelles aux deux stations (1975/2007)

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	jui	août	somme
Guemar	5.28	7.3	9.63	6.25	14.7	7.45	8.05	6.45	4.88	1.55	0.56	2.03	74.13
Touggourt	6.31	7.52	11.35	6.46	14.4	5.44	9.91	6.67	6.23	1.54	0.93	2.63	79.39

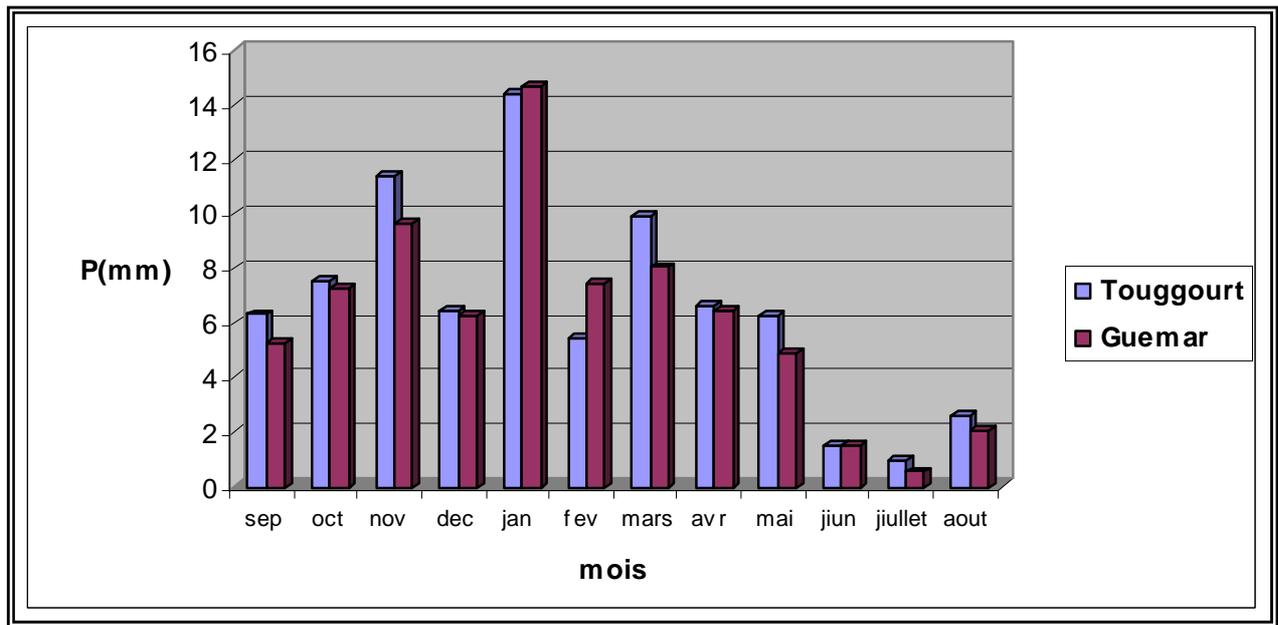


Fig. N°14 : Histogramme Les précipitations moyennes mensuelles aux deux stations (1975/2007).

L’observation du tableau N°10 et figures N°14, indique que le mois le plus arrosé est le mois de Janvier avec des précipitations moyennes mensuelle de 14.4 mm pour la station de Touggourt et de 14.7 mm pour la station de Guemar. Par contre le mois le plus sec correspond au moi de Juillet avec une précipitation moyenne mensuelle de l’ordre de 0.93 mm à la station de Touggourt et 0.56 mm à la station de Guemar.

2.2. Paramètres météorologiques déterminants :

2.2.1. L’évaporation :

Le phénomène d’évaporation intervient dans le cycle hydrologique dès le moment où les précipitations, sous forme liquide ou solide, atteignent la surface du sol. De plus l’humidité du sol, soit qu’elle provienne des pluies récentes infiltrées à faible profondeur, soit qu’elle remonte par capillarité de la nappe phréatique, constitue - directement ou par l’intermédiaire de la couverture végétale- un élément important pour l’évaporation.

Les évaporations moyennes mensuelles sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau N°11: L’évaporation moyenne mensuelle aux deux station (1975/2007).

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	Fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	moy
Guemar	105.63	125.3	210.5	280.5	130.65	140.23	220.45	275.23	350.46	395.86	425.65	400.25	255.05
Touggourt	115.06	129.51	207	293.82	128.68	138.24	217.2	276.68	343.48	402.96	431.96	406.79	257.6

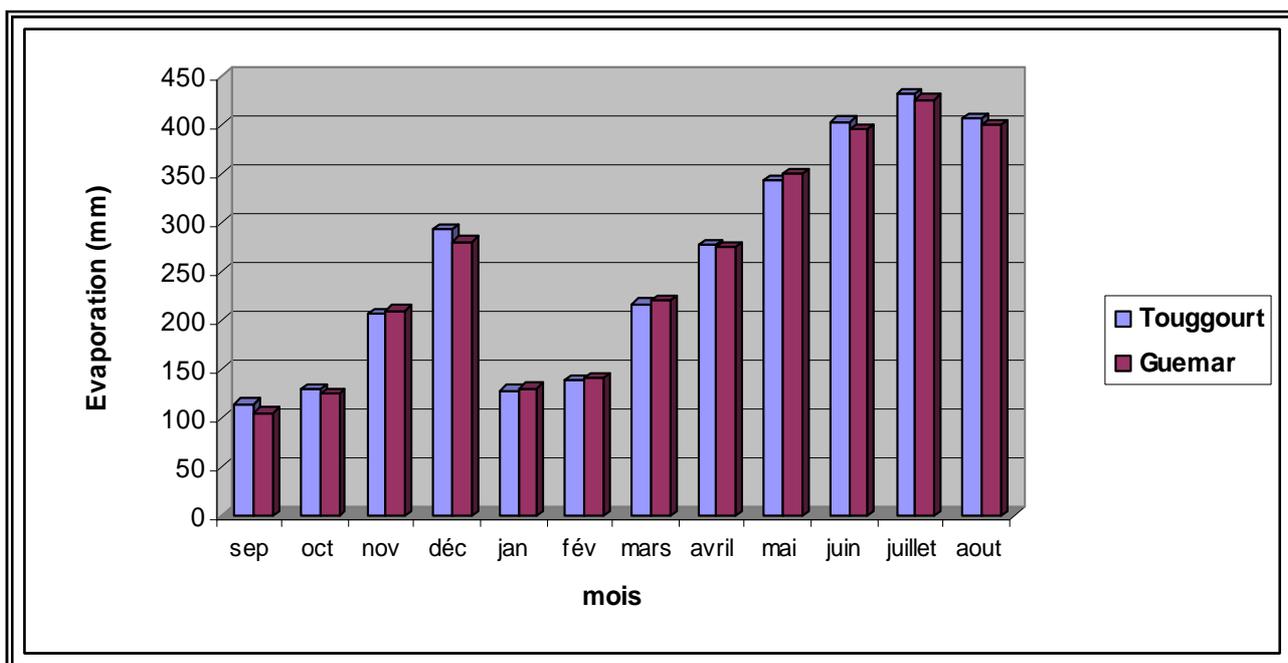


Fig. N°15 : Histogramme d'évaporations moyennes en mm aux deux stations (1975/2007)

Les histogrammes montrent que :

L'évaporation est maximale au mois de juillet avec 425.65 mm à Guemar et 431.9 à Touggourt et minimale au mois de septembre soit 105.6 à Guemar et 115.06 à Touggourt.

2.2.2. L'humidité relative de l'air :

L'humidité est très importante car elle influe sur l'évaporation, Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air sont représentées sur le tableau N°12.

Tableau N°12 : L'humidité moyenne en (%) aux deux stations (1975/2007).

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	Fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	moy
Guemar	46.96	53.02	60.5	66.75	65.56	56.25	50.4	44.05	38.85	34.95	31.5	35.03	48.61
Touggourt	43.75	51.53	61.81	65.96	64.41	54.93	48.5	43.83	39.69	34.51	32.75	33.93	47.96

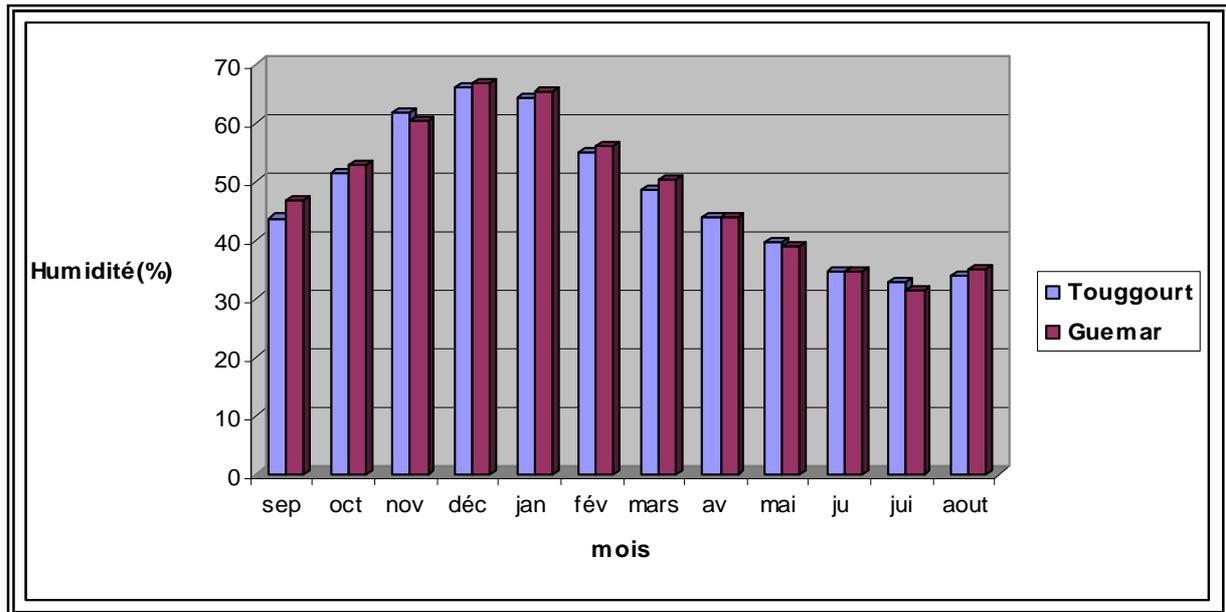


Fig. N°16 : Histogramme de l'humidité moyenne en % aux deux stations (1975/2007)

On remarque un minimum enregistré pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 31,5% et un maximum enregistré pendant le mois de décembre avec une valeur de 66,75 %.

2.2.3. Le vent:

Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par des nouvelles couches ayant une température et une humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes. Les vitesses moyennes sont consignées au tableau N°13 :

Tableau N°13 : Les vitesses moyennes en m/s du vent aux deux stations (1975/2007)

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	août	moy
Guemar	3.25	2.50	2.45	2.60	2.32	2.65	3.44	4.02	4.35	3.75	3.62	3.1	3.17
Touggourt	2.76	2.92	3.36	3.99	2.73	3.74	3.49	4.12	4.18	2.81	2.75	2.61	3.28

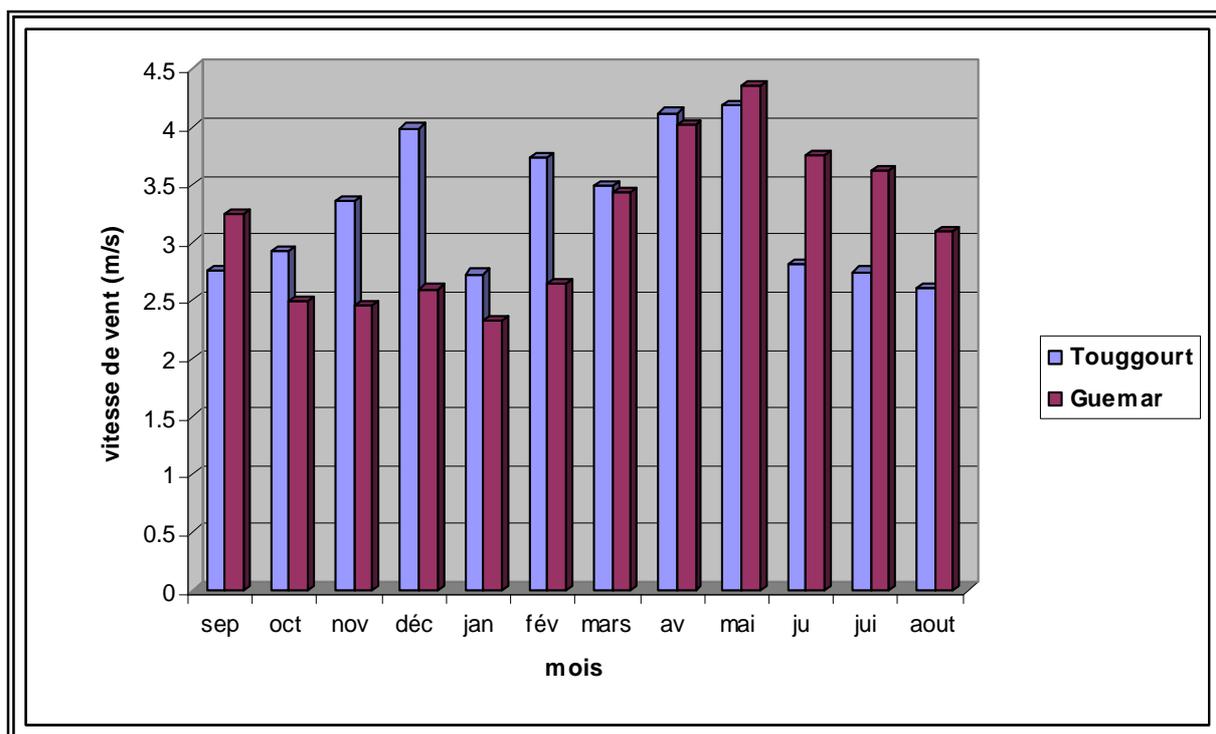


Fig. N°17 : Histogramme Les vitesses de vent moyennes en m/s aux deux stations (1975/2007).

Nous remarquons que la vitesse moyenne du vent dans la région est respectivement de 3.17 m/s et 3.28 m/s. les vitesses les plus importantes sont enregistrées aux mois d'avril et mai.

2.2.4. Les durées d'insolation:

La durée de l'ensoleillement est maximale au cours du mois de Juillet avec une moyenne de 355.4 heures, et minimale au mois de Décembre avec une moyenne de 230.2 heures à la station de Guemar et pour la station de Touggourt on constate que la durée de soleil est maximale au cours du mois Juillet avec une moyenne de 358.6 heures, et minimale au mois de Décembre avec une moyenne de 233.85 heures.

Dans la région, le rayonnement solaire est excessif (la moyenne annuelle oscille entre 3363.85 h/ans et 3407.6 h/ans) ce qui implique un pouvoir évaporant élevé.

Tableau N°14 : Les durées d’insolation en heures aux deux stations (1975/2007).

mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	août	moy
Guemar	275.3	259.5	232.8	230	242.1	249.9	275.6	295.2	310.5	345.1	355.4	336.2	283.96
Touggourt	280.98	266.58	238.79	233.85	229.9	227.84	262.64	285.07	314.04	330.69	358.6	334.82	280.31

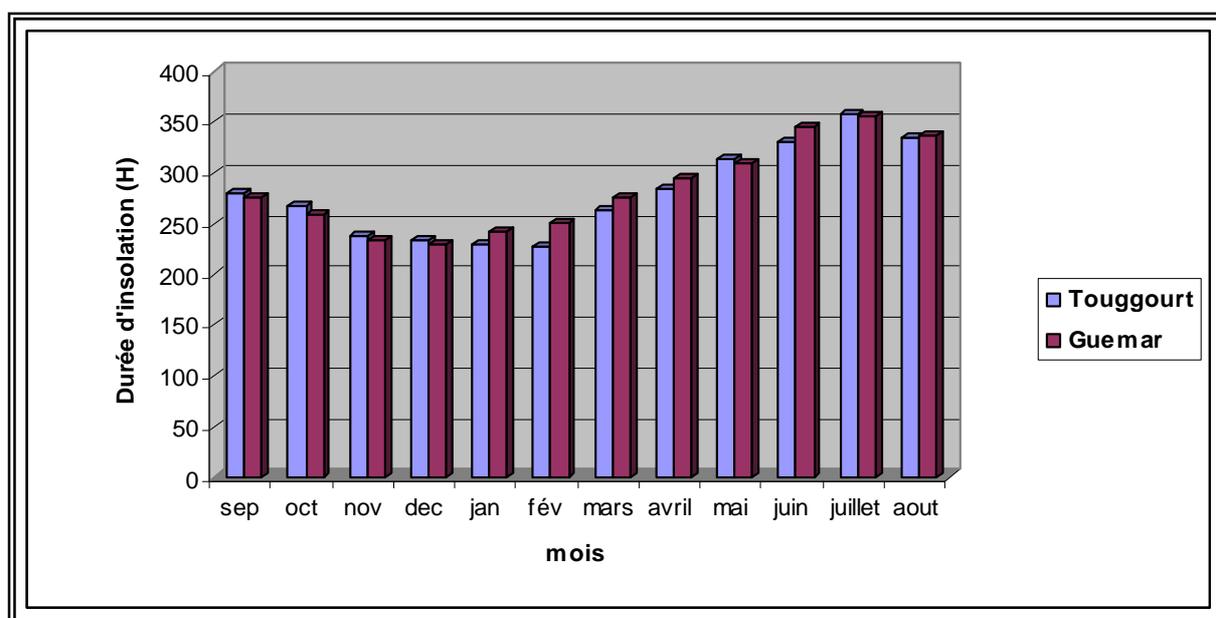


Fig. N°18 : Histogramme Les durées d’insolations moyennes en heures aux deux stations (1975/2007)

2.3. La température :

La température est un facteur très important, car elle conditionne l’évaporation.

2.3.1. Les températures moyennes mensuelles :

Le tableau N°15 et la figure N°19 représentent la répartition moyenne mensuelle de la température :

Tableau N°15 : Températures moyennes mensuelles en (c°) aux deux stations (1975-2007).

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	Fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	moy
Guemar	29.18	22.85	16.3	11.39	10.67	13.12	17.21	20.71	26.32	31.02	34.18	33.91	22.23
Touggourt	28.79	22.43	15.87	11.18	10.1	12.74	16.26	20.41	25.6	30.87	33.35	33.04	21.72

Station de Guemar: La période qui s’étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier (10.67 °C) alors que la période chaude commence à partir du mois de mai jusqu’au mois de septembre avec un maximum de

température relevé pendant le mois de juillet (34.18 °C). La moyenne annuelle est de l'ordre de 22.23°C.

Station de Touggourt : Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température moyenne mensuelle de 10.1 °C. Juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 33.35°C et la moyenne annuelle est de l'ordre de 21.72 °C.

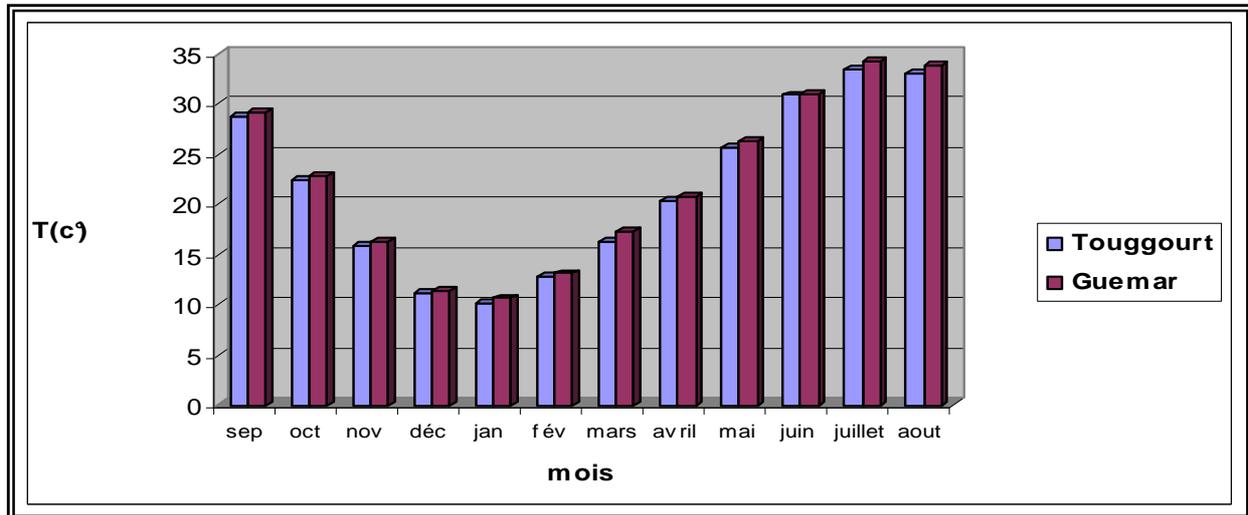


Fig. N°19: Températures moyennes mensuelles en °C (1975-2007).

2.3.2. Les températures moyennes annuelles :

Tableau N° 16 : Variation des températures annuelles en °C aux deux stations (1975-2007).

Année	Touggourt	Guemar	Année	Touggourt	Guemar	Année	Touggourt	Guemar
1975	20.5	21.5	1986	21.4	21.15	1997	22.3	22.15
1976	20.4	20.3	1987	22	21.55	1998	21.8	22.47
1977	21.7	21.05	1988	22.2	20.98	1999	23	22.44
1978	20.9	20.91	1989	21.9	19.95	2000	22.1	22.85
1979	21.1	22.90	1990	21.9	21.5	2001	23	22.7
1980	20.4	20.49	1991	21.8	21.55	2002	22.5	22.65
1981	21.4	20.33	1992	20.9	21.5	2003	22.5	22.25
1982	21.5	20.4	1993	21.6	21.47	2004	20.85	22.2
1983	22	20.01	1994	21.9	21.2	2005	22.49	22.45
1984	20.7	20.45	1995	21.9	21.9	2006	19.3	21.5
1985	21.7	21.3	1996	21.3	22.4	2007	22.2	22.5

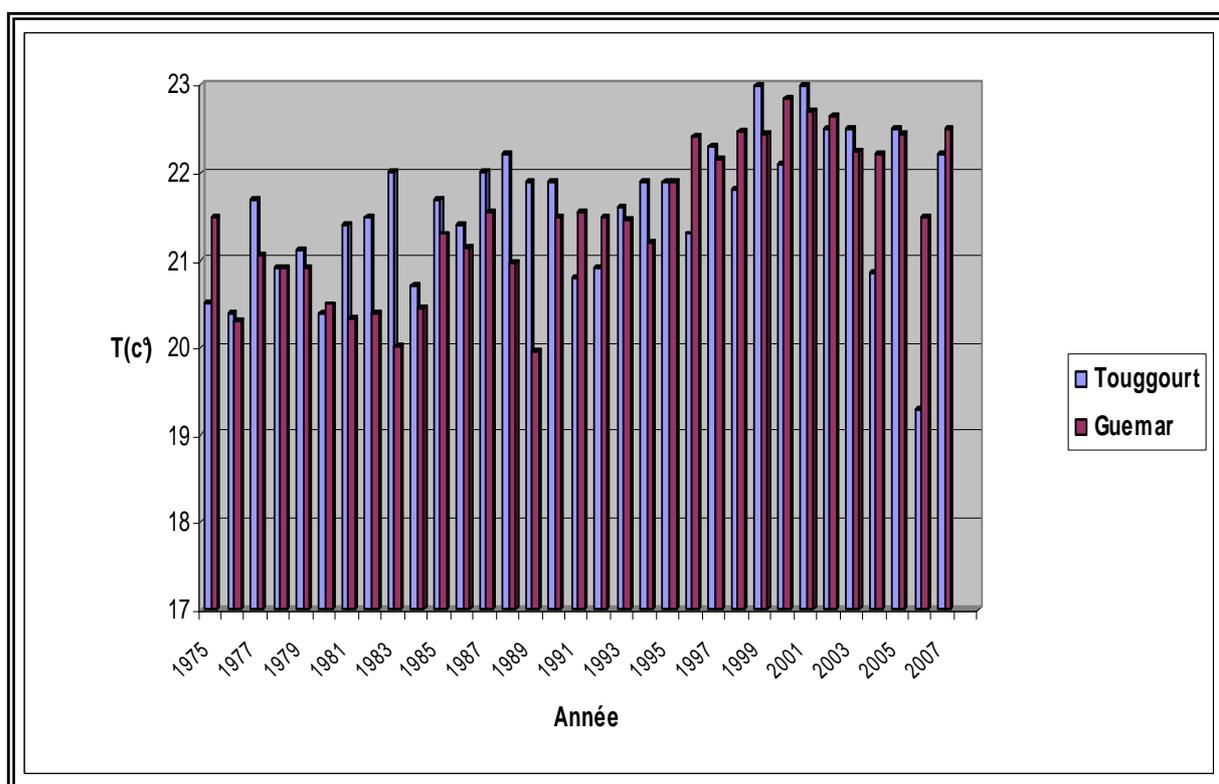


Fig. N°20: Histogramme des Températures annuelles aux deux stations (1975-2007).

Le tableau ci-dessus et la figure N°20 présentent la répartition des températures moyennes annuelles sur une série de 30 ans (1976/2006).

Station de Guemar : L'année la plus chaude est 2000 avec une température moyenne $T=22.85^{\circ}\text{C}$ et l'année la plus froide est l'année 1989 avec une moyenne de température égale à 19.95°C .

Station de Touggourt : Les années les plus chaudes sont 1999 et 2001 avec une température moyenne de 23°C et l'année la plus froide est 2006 avec une moyenne de température égale à 19.3°C . Concernant la répartition de la température au niveau des deux stations sur la même période d'observation, on peut conclure ce qui suit :

la moyenne annuelle de la température oscille entre 21.48°C à 21.85°C pour les deux stations; l'irrégularité annuelle parue par un écart type qui oscille entre 0.81 à 0.84°C ;

3. Diagramme pluviothermique :

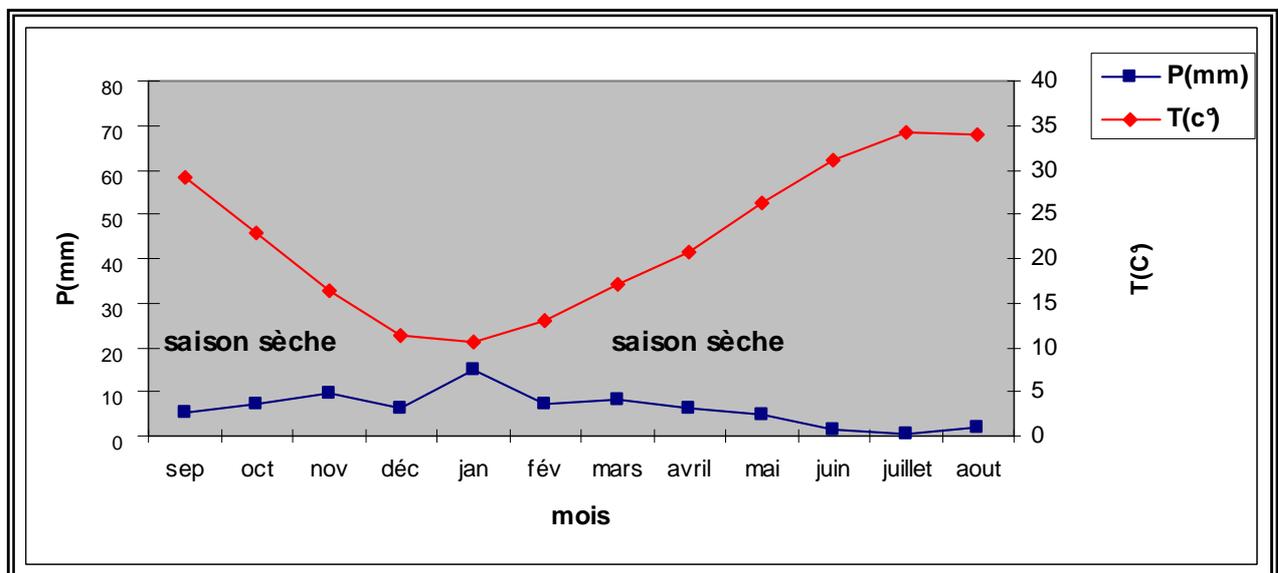
En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviothermique dont le but est de déterminer les périodes sèche et humide.

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

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

A partir de ce diagramme, on constate que durant l'année hydrologique, la région est caractérisée uniquement par une période sèche, même pour le mois de janvier qui est marqué par la température la plus basse (10.67 °C) et la précipitation la plus élevée (14.7 mm) pour la station de Guemar et (T=10.1°C et P=14.4mm) pour la station de Touggourt.

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



Fig,N° 21 : Diagramme pluviothermique à la station de Guemar (1975-2007).

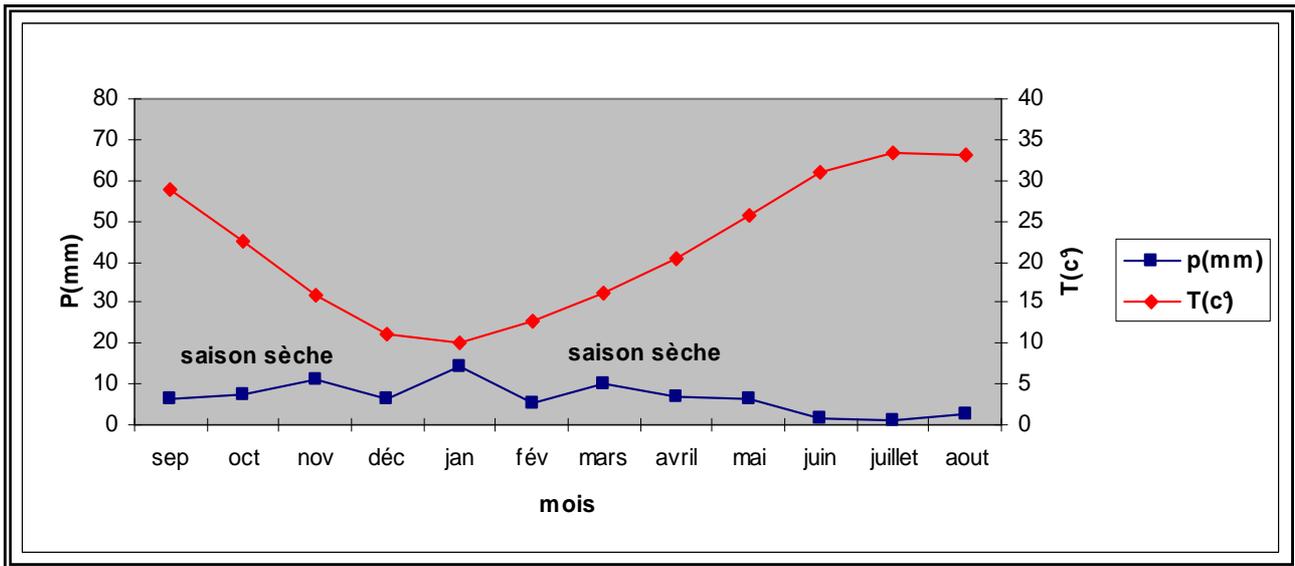


Fig. N°22: Diagramme pluiothermique à la station de Touggourt (1975-2007).

4. Déterminations de l'étage bioclimatique :

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

Q : Quotient pluviométrique d'Emberger

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Total de température du mois le plus chaud (°K), c'est le mois de Juillet.

m : Total de température du mois le plus froid (°K), c'est le mois de janvier.

$$T (^{\circ}K) = T (^{\circ}C) + 273.2$$

Application numérique :

Tableau N°17 : Résultats du quotient pluviométrique d'Emberger aux deux stations.

	M (°K)	m (°K)	P (mm)	Q
Guemar	307.38	283.87	72.48	10.42
Touggourt	306.55	283.3	79.75	11.63

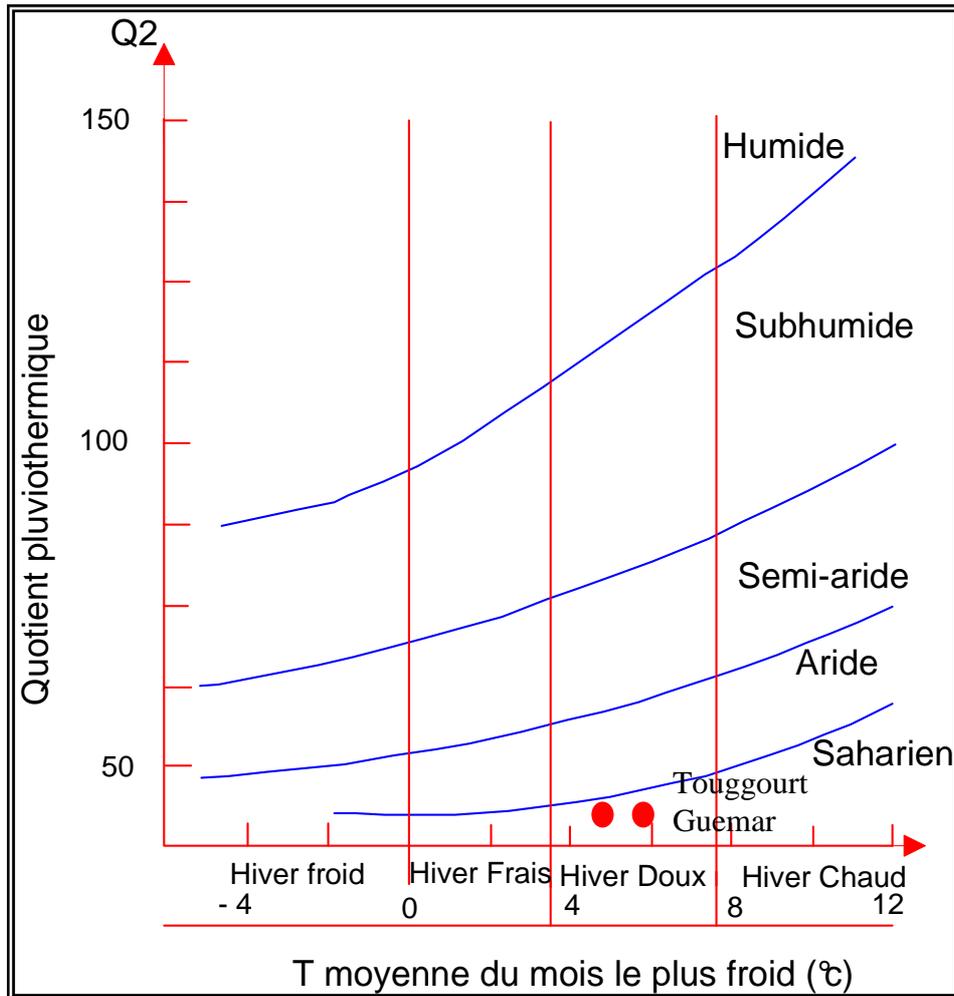


Fig. N° 23 : Climagramme d'EMBERGER

5. Indice d'aridité :

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

$$I = \frac{P}{T + 10} .$$

P : précipitation moyenne mensuelle (mm)

T : température moyenne annuelle (mm)

Pour : 20 < I < 30 : climat tempéré.

10 < I < 20 : climat semi-aride.

7,5 < I < 10 : climat steppique.

5 < I < 7,5 : climat désertique.

I < 5 : climat hyperaride.

Tableau N°18 : Résultats d'indice d'aridité aux deux stations.

	P (mm)	T (°C)	I (mm/°C)
Guemar	74.13	21.48	2.35
Touggourt	79.39	21.58	3.67

Pour la région d'étude durant la période (1975/2007), on trouve une valeur de $I < 0.5$ ce qui correspond à un climat hyperaride.

6. Méthode d'Euverte :

Le rapport P/T établit mensuellement permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol, il permet également de définir trois types de régimes :

- ✚ Un régime sec : $1 < P/T < 2$
- ✚ Un régime sub-humide : $2 < P/T < 3$
- ✚ Un régime humide : $3 < P/T$

Tableau N°19 : Les valeurs de P/T déterminées par la méthode d'Euverte pour les deux stations.

	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août
Guemar	0.18	0.31	0.59	0.54	1.37	0.56	0.46	0.31	0.18	0.04	0.01	0.05
Touggourt	0.21	0.33	0.71	0.57	1.42	0.42	0.60	0.32	0.24	0.04	0.02	0.07

D'après les résultats du tableau on constate que la région d'Oued Righ est soumise à un régime sec.

7. Estimation de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle) :

7.1. D'après la formule de C.W thornthwaite :

C.W Thornthwaite, en prenant en compte la température de l'air à proposé la formule suivante :

$$ETP = 16(10t/I)^a \cdot k$$

Avec : $i = (t/5)^{1.514}$

$$a = 1,6 I/100 + 0,5$$

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 mensuel (°C).

K : coefficient d'ajustement mensuel.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite sont présentés dans le tableau ci-après.

Station de Guemar :

Tableau N° 20 : bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Guemar (1975/2007).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	total
P (mm)	5.28	7.3	9.63	6.25	14.7	7.45	8.05	6.45	4.88	1.55	0.56	2.03	74.13
T (mm)	29.18	22.85	16.3	11.39	10.67	13.12	17.21	20.71	26.32	31.02	34.18	33.91	-
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	-
I	14.5	10.0	6.0	3.5	3.2	4.3	6.5	8.6	12.4	15.9	18.4	18.1	121.4
ETP (mm)	155.4	72.9	28.4	11.1	10.2	16.5	38.8	65.0	128.4	168	180.5	180.5	1055.7
RFU (mm)	00	00	00	00	4.5	00	00	00	00	00	00	00	-
ETR (mm)	5.3	7.3	9.6	6.3	10.2	11.9	8.1	6.5	4.9	1.6	0.6	2.0	74.13
EXC (mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
DA (mm)	150.1	65.6	18.7	4.9	00	4.6	30.7	58.6	123.5	166.4	179.9	178.5	981.5

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station de Guemar a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet et août (180.5 mm) et son minimum au mois de janvier (10.2 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 4.5 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrique pour une période de 33 ans (1975-2007) de la vallée de Oued Souf est déficitaire (DA= 981.5 mm) alors que l'excédent est nul.

Station de Touggourt :**Tableau N° 21 : bilan hydrique selon C.W Thornthwaite à la station de Touggourt (1975/2007).**

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	total
P (mm)	6.31	7.52	11.35	6.46	14.4	5.44	9.91	6.67	6.23	1.54	0.93	2.63	79.4
T (mm)	28.79	22.43	15.87	11.18	10.1	12.74	16.26	20.41	25.6	30.87	33.35	33.04	-
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	-
I	14.2	9.7	5.7	3.4	2.9	4.1	6.0	8.4	11.9	15.7	17.7	17.4	117.1
ETP (mm)	152	72.6	28.3	11.6	9.8	16.6	35.9	65.8	123.9	166	179	177.2	1038.7
RFU (mm)	00	00	00	00	4.6	00	00	00	00	00	00	00	-
ETR (mm)	6.3	7.5	11.4	6.5	9.8	10.0	9.9	6.7	6.2	1.5	0.9	2.6	79.4
EXC (mm)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
DA (mm)	145.7	65.1	17.0	5.1	00	6.6	26.0	59.1	117.7	164.5	178.1	174.6	959.5

Pour la station de Touggourt, le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint le maximum au mois de juillet (179 mm) et son minimum au mois de janvier (9.8 mm).

La constitution de la RFU ne s'effectue qu'au mois de janvier avec une valeur de 4.6 mm et le reste de l'année est épuisée.

Le bilan hydrique pour la même période d'observation (1975-2007) est déficitaire : (DA=959.5 mm) alors que l'excédent est nul.

8. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- > La nature, la composition lithologique et l'épaisseur de la couche superficielle.
- > La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère.
- > Le climat de la région.

> Le type de la couverture végétale.

On peut calculer la RFU d'après la formule de Hallaire :

$$\mathbf{RFU=1/3(Da.He.P).}$$

RFU : réserve facilement utilisable en cm.

Da : Densité apparente du sol.

He : Humidité équivalente du sol.

P : profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en mm.

RFU = 100 mm, C'est la valeur maximale de la réserve facilement utilisable.

9. Estimation de l'ETR (l'évapotranspiration réelle) :

9.1. ETR selon la formule de Turc :

$$\mathbf{ETR = P/\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec } L=300+25T+0,05T^3$$

ETR : évapotranspiration réelle en (mm).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

L : paramètre arbitraire lie à la température.

T : température moyenne annuelle. (C°).

Application numérique.

Tableau N°22 : L'ETR selon Turc aux deux stations.

Station	P (mm)	L	T(C°)	ETR (mm/an)
Guemar	72.48	1332.53	21.48	76.27
Touggourt	79.75	1341.98	21.58	83.89

9.2. L'ETR selon C.W Thornthwaite :

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

Si $P \geq ETP$: dans ce cas, $ETR = ETP$

Si $P < ETP$: on évapore toute l'eau précipitée.

(1) suffisant = $ETR = ETP$

(2) insuffisant égale à (0)

$ETR = P + RFU$ (mois précédent).

Tableau N° 23 : Résultat des calculs de l'ETR par les différentes méthodes.

Station	ETR (mm/an)	ETR(mm/an)	Moyenne (mm/an)
	Turc	C.W. Thornwaite	
Guemar	76.27	74.13	75.2
Touggourt	83.89	79.4	81.64

Les valeurs du tableau ci-dessus sont variables selon chaque méthode de travail, et pour cela la station météorologique de Guemar a une évapotranspiration réelle moyenne de l'ordre de 75.2 mm/an et la station de Touggourt a une évapotranspiration réelle de 81.64 mm/ans.

10. Ruissellement :

La part du ruissellement dans l'écoulement est difficile à évaluer. La connaissance de ce terme du bilan hydrologique est cependant essentielle lorsque l'on veut apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol.

10.1. La définition du ruissellement :

Le ruissellement se compose de deux termes :

L'eau qui ruisselle naturellement à surface du sol et l'eau des sources. Cette dernière est une réapparition des eaux d'infiltration.

10.2. Calcul du ruissellement :

Formule de Tixeront Berkallof :

$$R = P^3/3. (ETP)^2$$

Avec R : ruissellement (mm).

P : précipitations moyennes annuelles en (mm.)

ETP : évapotranspiration potentielle (mm/an)

Application numérique :

Tableau N°24 : Résultats des calculs de ruissellement par la formule de Tixeront Berkallof.

Paramètre	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
Guemar	72.48	1182.3	0.09	0.12
Touggourt	79.75	1154.4	0.12	0.15

On constate que la lame d'eau ruisselée sur l'aire d'étude est négligeable grâce à la nature du terrain caractérisé par une forte perméabilité due aux les formations sableuses.

11. conclusion :

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

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

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

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

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

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

Les précipitations sont de l'ordre de 76.11mm.

1. Calcul des paramètres hydrauliques du canal par la méthode de jaugeage:

1.1. Principe de mesure (mesure du débit) :

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

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

Le débit Q (m^3/s) qui passe dans une section de mesure est par définition: [TOUAIBIA B., 2004]

$$Q = V_m \times S_m$$

Avec :

V_m : vitesse moyenne (m/s).

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.

1.2. Jaugeage au moulinet :

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 l'oued. Pour effectuer une bonne mesure certains critères doivent être réunis:

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

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

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

Le fond ne doit pas contenir d'obstacles.

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

1.2.1. Principe de la méthode :

Soit une section droite d'un cours d'eau; le débit se définit comme le flux du vecteur vitesse à travers cette section. Pour une section élémentaire dA (Fig. 1), le débit correspondant sera :

$$dQ = v \cdot dA .$$

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

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

Le jaugeage au moulinet, appelé également jaugeage par exploration du champ des vitesses.

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

$$Q = A \cdot V$$

1.3. Description du canal :

Le canal de l'Oued Righ commence du village de Goug et se termine au chott Mérouane à El-Meghaïer. La distance totale est d'environ 136 kilomètres. Les trois premiers kilomètres du canal sont des conduites enterrées en béton armé de diamètre 1000 mm. Le reste du canal est à ciel ouvert et de forme trapézoïdale d'une pente moyenne de 1 ‰.

Ce canal passe par les trois grandes villes à savoir : la ville de Touggourt, Djamaä et El Meghaïer qui sont entourées à leur tour par les palmeraies.

1.4. Caractéristiques des Stations :

Nous avons choisi quatre (04) stations hydrométriques qui représentent les points les plus favorables pour prendre les mesures des paramètres hydrauliques du canal en aval des grandes agglomérations et palmeraies de l' Oued Righ. Il s'agit des stations : Ranou, Sidi Slimane, Tinedla Amont, Boufeggoussa.

1)- Station de Ranou : en amont du canal il réunit les drains et les rejets deTémacine;

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

3)- Station de Tinedla amont : rassemble ceux de la daïra de Djamaa ;

4)- Station de Boufeggoussa (exutoire) : englobe tous les rejets et tous les drains.

Tableau N°25 : Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations

Station	Cordonnées			La pente I (‰)	Longueur cumulée (Pk) (km)
	X	Y	Z (m)		
Ranou	06°03'38''	33°02'48''	69	1,072	24.5
Sidi Slimane	06°04'31''	33°17'14''	37	1,17	55,92
Tinedla Amont	06°02'45''	33°39'08''	15	0,2	111,25
Boufeggoussa	06°01'36''	33°51'26''	0	1	125

Avec :

X, Y : coordonnées géographiques des stations.

Z : Altitude (m).

I : pente (‰) [ENHYD. ,2003]

1.5. Paramètres hydrauliques :

La vitesse moyenne (V_m) : Elle est exprimée en (m/s):

$$V_m = Q/S_m$$

Avec:

Q : le débit (m³/s).

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 (m²).

P_m : périmètre mouillé (m).

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

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

$$H_m = S_m/L$$

Avec

L : la largeur au miroir (m)

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

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

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

Avec :

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

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

H_m : Profondeur moyenne (m).

Remarque

$F_r > 1$ régime torrentiel.

$F_r < 1$ régime fluvial.

$F_r = 1$ régime critique.

Tableau N°26 : Résultats des paramètres hydraulique aux stations de jaugeage.

Paramètres Stations	débits (m^3/s)	V_m (m/s)	V_{ms} (m/s)	rapport V_m/V_{ms}	S_m (m^2)	P_m (m)	R_h (m)	H_m (m)	Fr	Régime d'écoulement
Ranou	0.75	0.25	0.425	0.588	3.00	8.30	0.36	0.375	0.13	Fluvial
Sidi Slimane	1.95	0.63	0.668	0.943	3.06	5.2	0.85	0.68	0.85	Fluvial
Tinedla Amourt	3.765	0.556	0.667	0.833	6.76	9.05	0.74	0.845	0.19	Fluvial
Boufeggoussa	4.31	0.70	0.730	0.958	6.08	11.15	0.54	0.568	0.29	Fluvial

Interprétation des résultats :

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

Toutes les courbes des verticales sont de forme concave sauf celles de la station de Ranou qui sont des courbes convexes à cause de la forte existence des algues, qui gênent la rotation des hélices du moulinet.

Tableau N°27 : Résultats des débits de chaque station (au moulinet)

Station	Ranou	Sidi Slimane	Tinedla Amont	Boufeggoussa
Débit (m ³ /s)	0,75	1,95	3,765	4,31

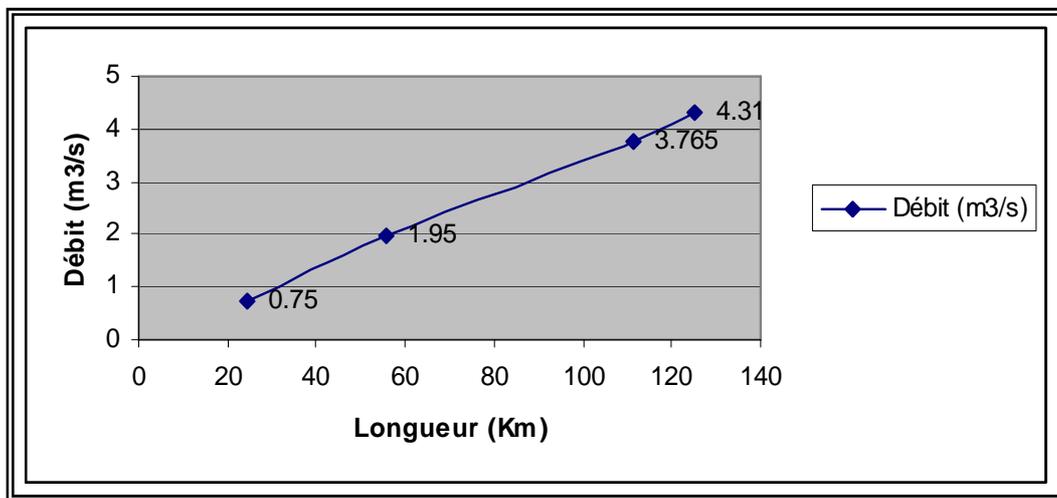


Figure N° 24 : Variation du débit en fonction de la longueur du canal

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

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

1.6. Calcul des apports additionnels :

Tableau N°28 : Débits additionnels

La longueur de tronçon (km)	[0-24,5]	[24,5-55,92]	[55,92-111,25]	[111,25-125]
Débit ajouté (m ³ /s)	0,75	1,2	1,815	0,545

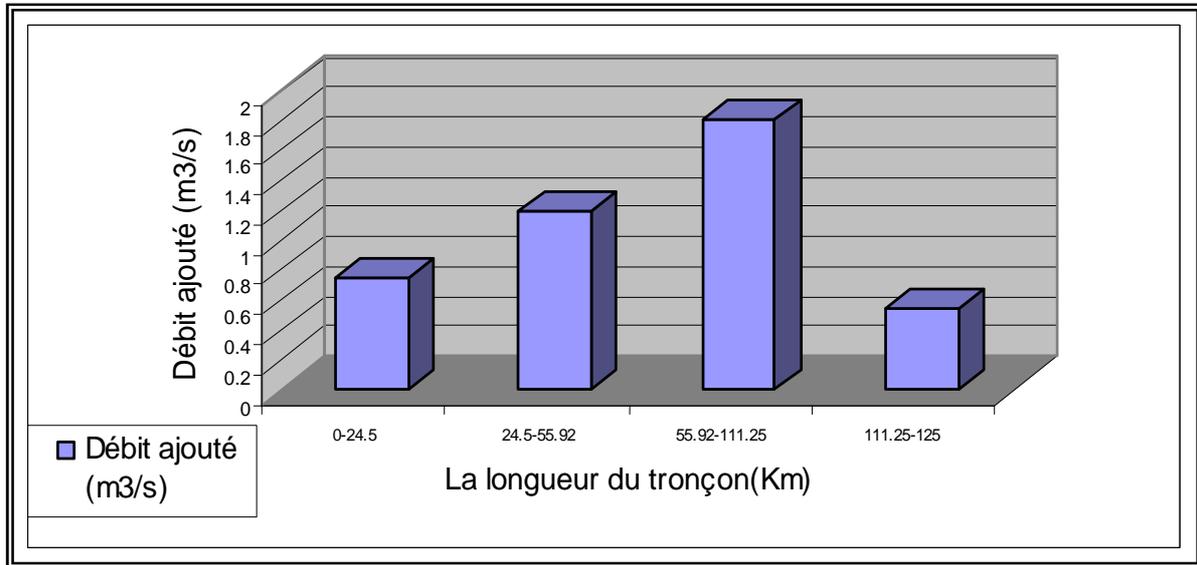


Fig. N° 25 : la variation du débit en fonction de la longueur du tronçon.

Selon le tableau ci-dessus et la figure (N°) on remarque que le débit augmente avec la longueur et que l'apport le plus important provient de la région de Djamaa. Mais à partir de Tinedla amont il n'y a pratiquement pas d'apport jusqu'à la station de Boufeggoussa.

1.7. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques :

L'évolution de la région de l'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.

Le tableau suivant représente cette situation :

Tableau N°29 : Répartition du débit du canal à Station Ranou

L'année	1993	1994	1995	1998	1999	2001	2006	2007	2008
Débits (m ³ /s)	0.47	0.588	0.728	0.53	0.394	0.813	0.615	0.75	0.75

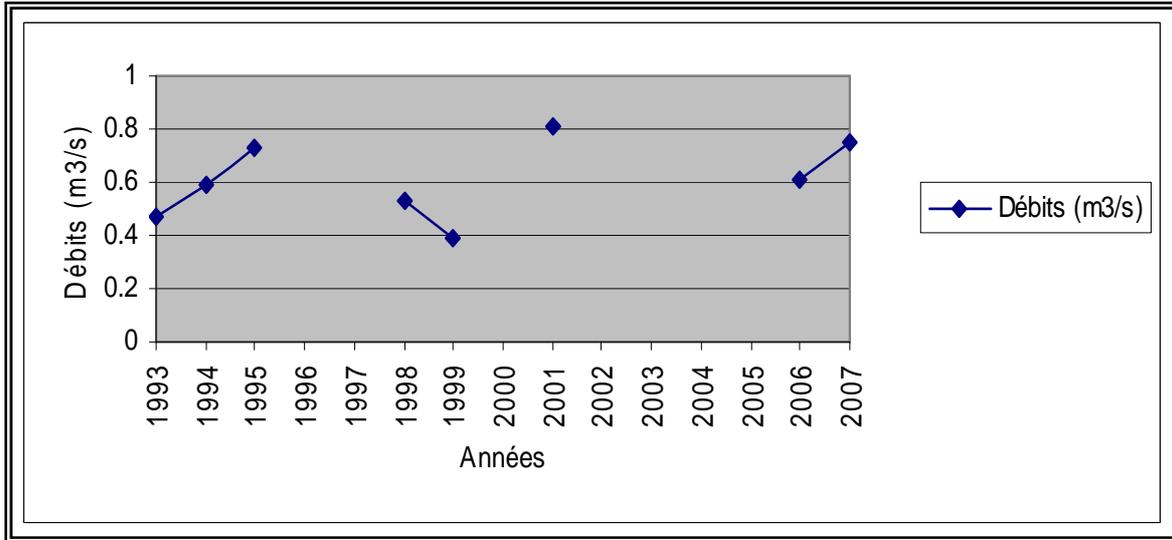


Fig. N°26 : Présentation du débit du canal à station Ranou

Tableau N°30 : Répartition du débit du canal à Station Sidi Slimane

L'année	1993	1994	1995	1998	1999	2001	2006	2007	2008
Débits (m ³ /s)	1.758	2.00	2.585	2.00	1.91	2.45	2.5	1.95	2.8

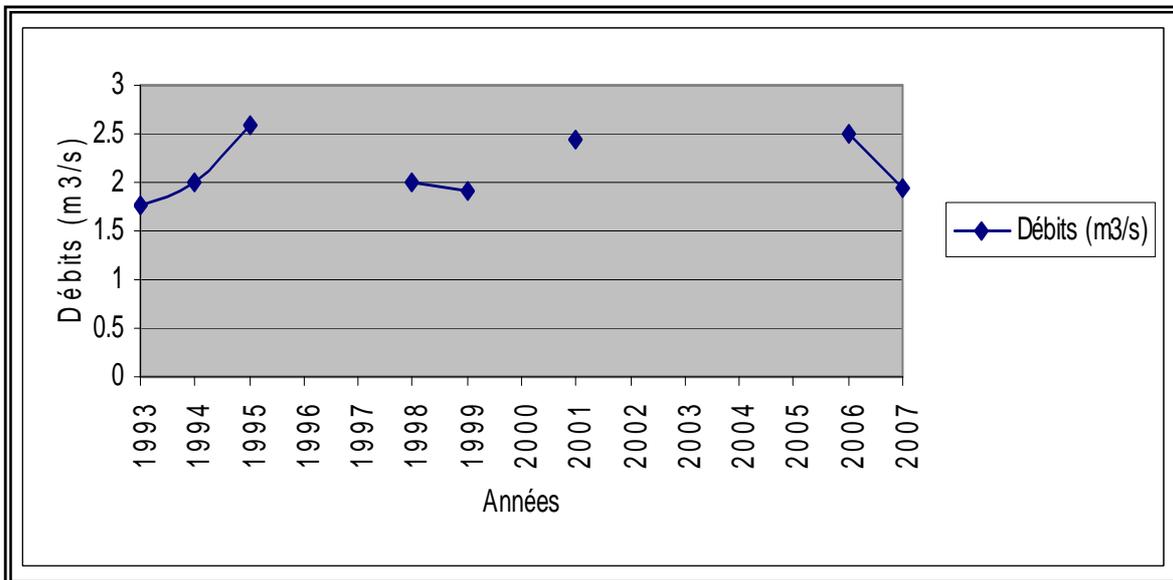


Fig.N°27 : Présentation du débit du canal à station Sidi Slimane

Tableau N°31 : Répartition du débit du canal à Station Tinedla Amont

L'année	1993	1994	1995	1998	1999	2001	2006	2007	2008
Débits (m ³ /s)	2.855	3.75	5.34	4.68	2.84	-	-	3.765	4.86

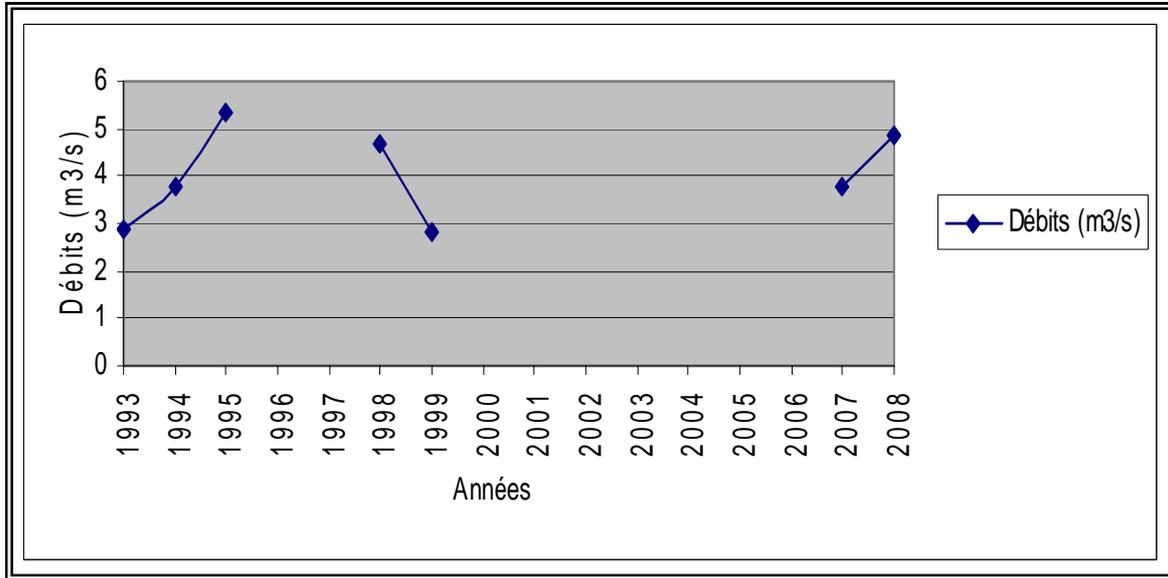


Fig.N°28: Présentation du débit du canal à station Tinedla Amont

Tableau N°32 : Répartition du débit du canal à Station Boufeggoussa

L'année	1993	1994	1995	1998	1999	2001	2006	2007	2008
Débits (m ³ /s)	2.783	3.32	-	-	-	5.075	-	4.31	5.35

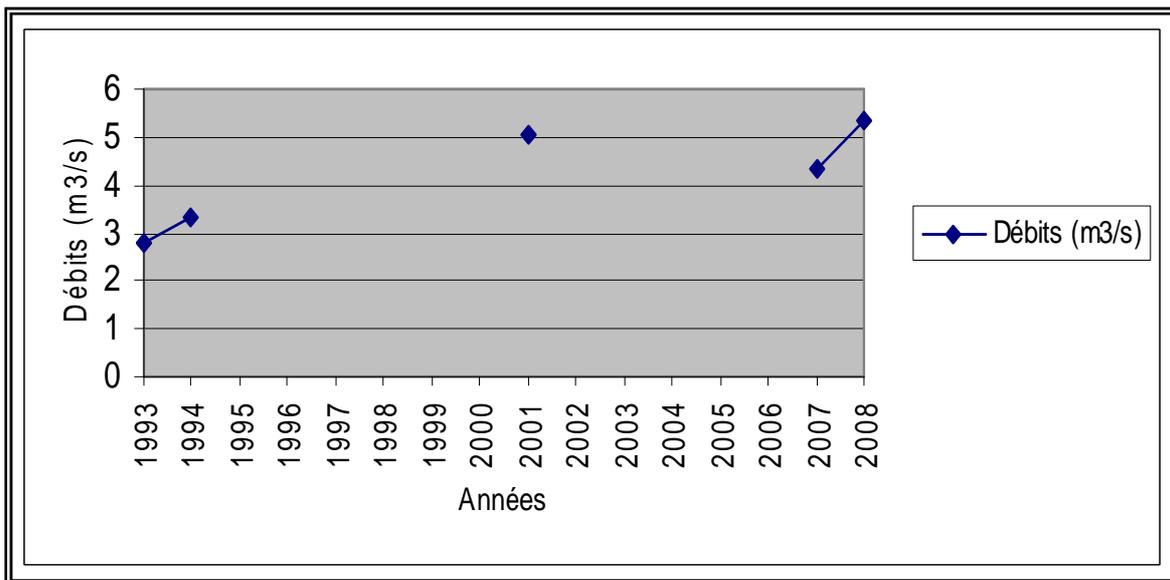


Fig. N°29 : Présentation du débit du canal à station Boufeggoussa

En 1998 et 1999 la régression de la section mouillée cause des roseau et ensablement ce qui a provoqué une diminution du débit et une remonté de la nappe et saturation du chott, par contre on remarque en 2001 que le débit est augmenté et même dépassé 0,728 l/s en 1995 à la station de Ranou, ceci s'explique par une opération de nettoyage et l'entretien du canal avant 2001.

1.8. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques à deux années :

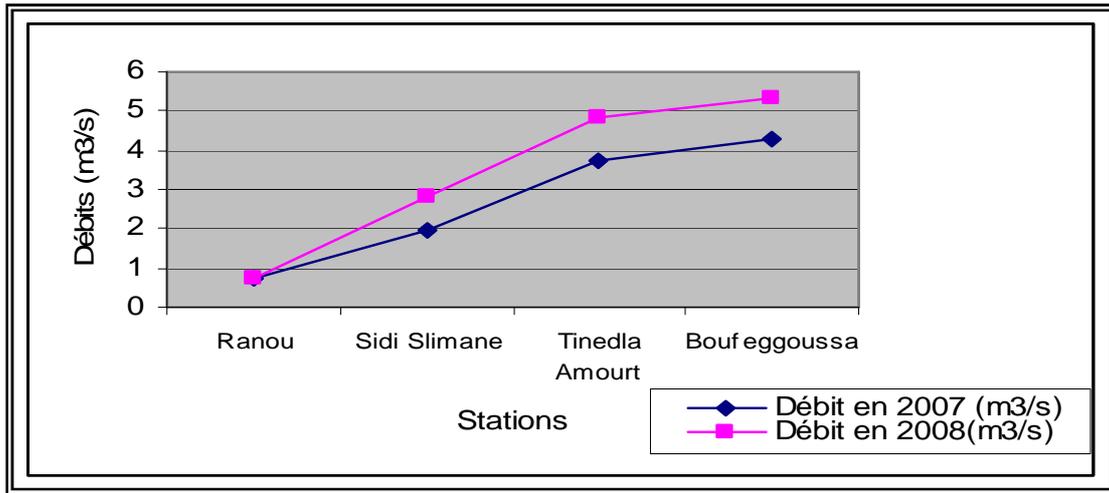


Fig.N°30 : Variation du débit à travers les stations de jaugeage

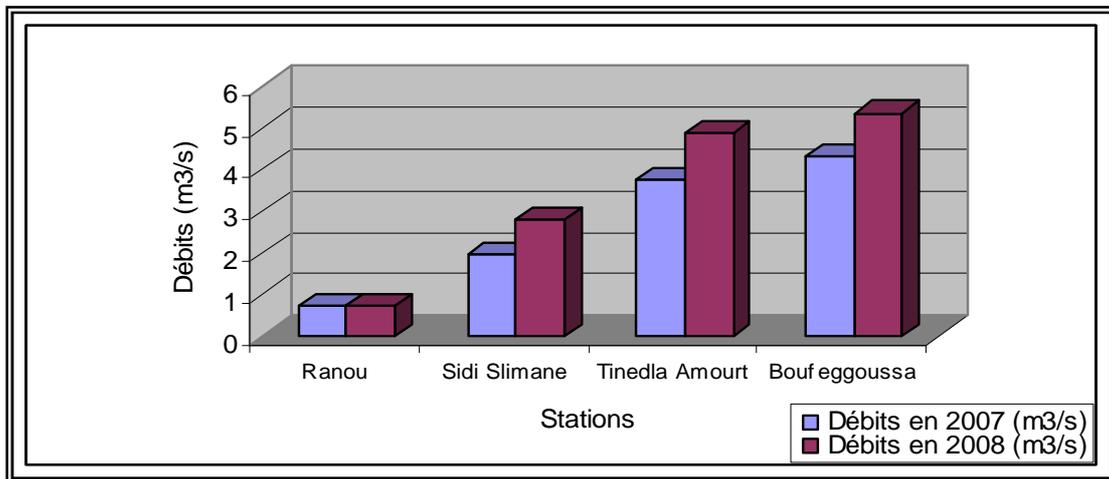


Fig.N°31 : Histogramme des variations du débit à travers les stations de jaugeage

D'après l'allure des graphes obtenus ci-dessus, on remarque :

- Une augmentation du débit plus ou moins continue de l'amont vers l'aval.
- Un pique apparent du débit au niveau de la station de Zaouia-Labidia.

- Une forte augmentation du débit à partir de Sidi Slimane jusqu'au palmeraies de Djamaa.
- Une décroissance du débit entre Tinedla aval et Boufeggoussa.

Ce dernier point nécessite une réflexion particulière, car, en principe le volume d'eau s'il n'augmente pas, ne devait pas diminuer, dont les causes probables sont :

- L'infiltration ou l'alimentation de la nappe.

1. Introduction :

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

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

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

Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, venant de la régional de Biskra.

Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :

-Continental Intercalaire et complexe Terminal.

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

2. Hydrogéologie régionale :

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780000 km². 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.

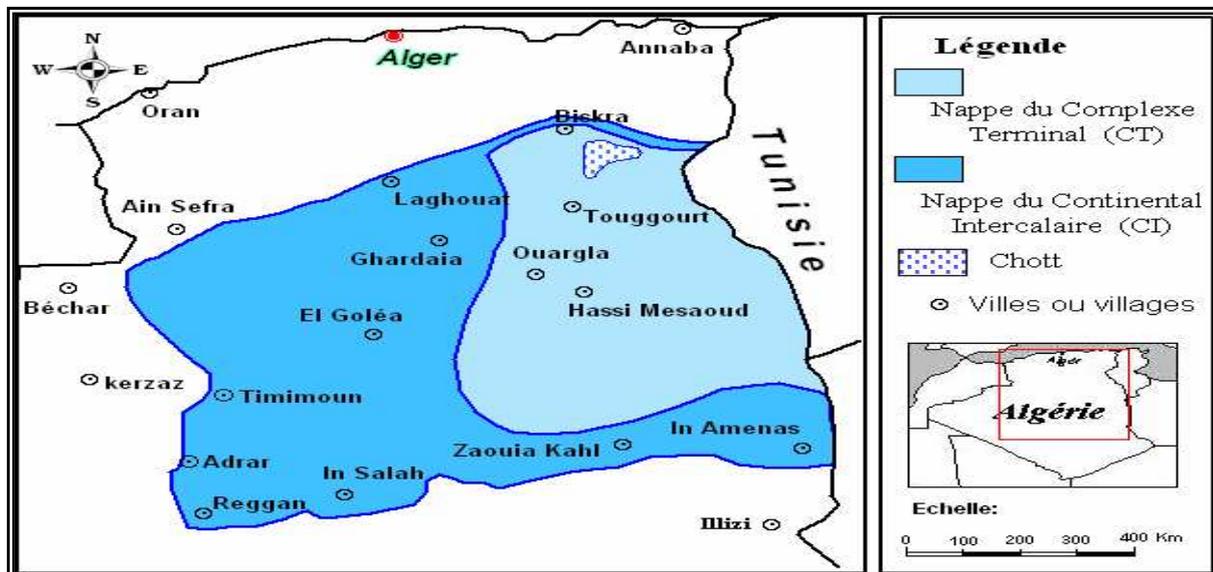


Fig.N°32 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002.

2.1. Le Continental Intercalaire :

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre 600000 km². Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à 3.5x10⁹ milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d' «Albien ». Le terme Continental Intercalaire, par contre 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).

2.1.1. Limites et morphologie du continental intercalaire :

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

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

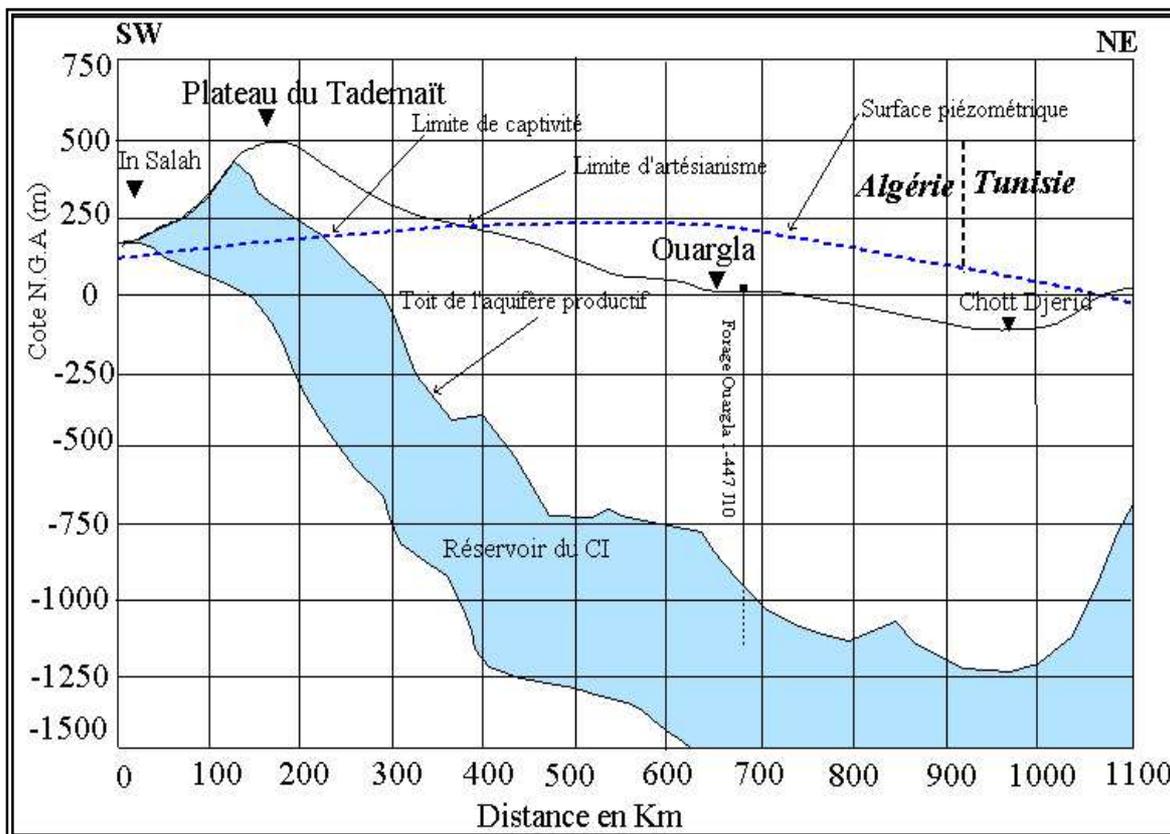


Fig.N°33 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.

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 évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.

Au sens large, le Continental Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien [la définition donnée par l'UNESCO dans « l'étude sur les ressources en eau du Sahara Septentrional »].

Toit du réservoir :

Le toit du CI débute presque toujours au toit de l'albien 2000m par rapport au sol, le mur de 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 l'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.

Alimentation :

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

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

Les exutoires :

Ils sont constitués par :

Les foggaras : longues galeries drainantés, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers des 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.

Epaisseur du réservoir :

Son épaisseur utile est souvent déterminée à partir des diagraphies, cette épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série 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 l'Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à 350 m.

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

L'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud et dans sa partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie).

Le Continental Intercalaire est une nappe d'eau douce comprise dans les grès Albo-Barremiens.

Tableau N° 33 : Données générales sur la nappe du continentale intercalaire

Etendue	600 000 km^2
Epaisseur total (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 par apport au N.S (m) (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)	50000×10^9
Température (°c)	25 à 70
Salinité des eaux	0,5 à 6g/l

2.2. Le Complexe Terminal :

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le CI, néanmoins, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara Septentrional, sur environ 350.000 km^2 ; sa profondeur oscille entre 100 et 500m et son épaisseur est en moyenne de 220 m. sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (CT) les formations les plus récentes, déposées au Bas-Sahara. Le CT se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et de lithologie différentes et séparés par des formations semi-perméables et qui sont, au sommet, des sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale du M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar tunisien à l'Est. L'épaisseur de l'aquifère des sables est de 50 à 100 m en moyenne. Elle minimale dans la région de Hassi Messaoud 30m, augmente vers le Sud 400 m, et vers le Nord elle peut atteindre 600 m.

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

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

Le complexe terminal d'après l'ERESS (1972) comprend les formations les plus récentes déposées au Bas Sahara qui est limité à l'Ouest par la dorsale de M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar et au Sud par une ligne passant au Nord de l'axe In Saleh-Zarzaitine sous l'Erg oriental.

Le substratum du complexe aquifère est d'une manière générale, constitué par la formation lagunaire du Sénonien. La couverture est formée par les argiles plus au moins sableuses du sommet du Mio-Pliocène et les marnes et évaporites de l'Eocène moyen pour l'aquifère Eocène.

La nappe est en charge au Nord et libre dans sa partie Sud. Sa porosité dépend de la lithologie, elle est estimée à 30% dans les sables du Mio-Pliocène et à 20% dans les calcaires du Sénonien et de l'Eocène supérieur.

Les études consultées montrent que l'écoulement se fait :

Du Sud vers le Nord (dans le bassin oriental), il converge des zones d'alimentations vers les chotts Merouane et Melghir ainsi que vers l'exutoire souterrain du Golg de Gabes.

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

L'alimentation de la nappe du Complexe Terminal se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellements apportées par les oueds qui descendent les reliefs des bordures. Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre de grand erg oriental.

2.3. La 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.

Tableau N°34: Synthèse hydrogéologique régionale des différentes aquifères (sans échelle)

ERE	Etage		Lithologie	Nature Hydrogéologique
Q u a t e r n a i r e			Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)
			Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable)
T e r t i a i r e	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)
	Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).	
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
S e c o n d a i r e	C r é t a c é	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albien Barrémien	Sables et grès	Nappe albienne (Continental Intercalaire).

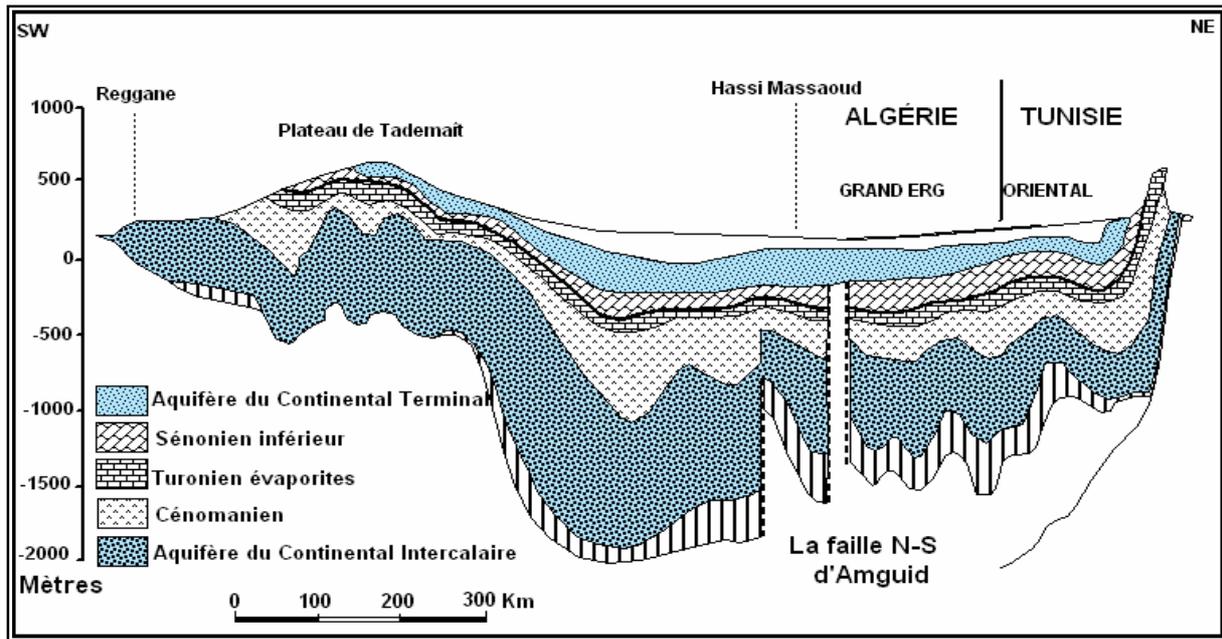


Fig N°34 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

Dans la région étudiée, il existe deux systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base de Crétacé supérieur, il s'agit du :

Continental intercalaire CI, aquifère profond, composé de sable gréseux ou grés argileux.

Complexe terminal CT composé de trois nappes superposées : La première dans les sables et argiles du Pliocène CT1, la deuxième dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur CT2, et enfin la troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur CT3.

Au dessus nous retrouvons un aquifère superficiel libre.

2.4. Les différentes nappes dans la région de l'Oued Righ :

2.4.1. Nappe phréatique :

La nappe phréatique est présente dans toutes les oasis de la vallée. Elle est contenue dans les sables fin à moyens, d'âge quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord et sa puissance moyenne est d'une vingtaine de mètres.

Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités, les analyses des eaux de cette nappe montrent qu'elles sont très salées, la conductivité électrique est de l'ordre de 4.91 ms/cm et passe à 13.44 ms/cm.

La nappe phréatique est « gonflée » par l'excès de l'eau d'irrigation et des pompages du CI et du CT. C'est pour drainer cet excès que le réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la

dépression de l'oued Righ. Elle est principalement alimentée par l'infiltration des eaux d'excès d'irrigation et des eaux d'assainissement, les eaux des forages dont les tubages sont détériorés par les faibles précipitations et par les percolations des nappes du complexe terminal. Les pertes sont surtout le fait de l'évaporation.

2.4.2. Les nappes du complexe terminal :

Le complexe terminal est constitué de deux grands ensembles, l'un continental au sommet, l'autre marin à la base.

La première nappe des sables CT1 :

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

Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio-Pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum et son toit est constitué par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits de l'ordre de 20 à 40 l/s (le débit global d'exploitation est proche de $6 \text{ m}^3 / \text{s}$) 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. Son épaisseur est de 20 à 36 m, elle est très exploitée avec un débit variant entre 25-45 l/s. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

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

Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal qui constitue la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur et du Sénonien supérieur.

La nappe des calcaires du Sénonien et de l'Eocène CT3 :

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse. Sa puissance est de 200 m à Touggourt, et

360 m à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artésianisme est à l'origine plus important au Nord.

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

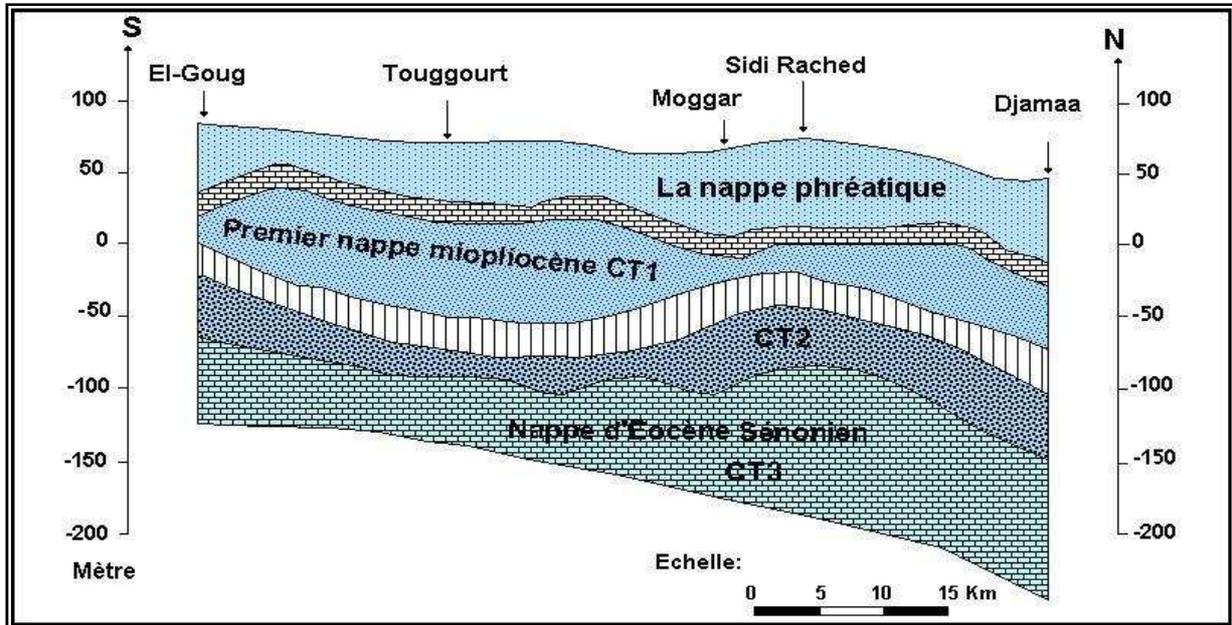


Fig.N°35 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ.

2.4.3. Nappe du Continental Intercalaire :

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

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

Le mur est constitué par le socle du Primaire qui déformé par l'orogénèse hercynienne.

Les apports en eau du système aquifère s'effectuent par:

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

Le piémont de l'Atlas saharien, au Nord.

Le plateau de Tinhert, au Sud.

Pour CORNET cette alimentation est estimée à $25 \text{ m}^3/\text{s}$, BURGEGAR la fixait à $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Elle provient en grande partie du piémont de l'Atlas mais elle reste très faiblement alimentée par rapport au volume d'eau qu'elle contient.

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

3. Caractéristiques essentielles des nappes :

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

L'Oued Righ n'est pas un cours d'eau, mais en le survolant. Le tracer de l'Oued Righ est marqué par l'échelonnement de petits chotts exutoires des eaux de la nappe phréatique.

Aux environs des oasis d'Ourir et d'El-Meghaier, les eaux de la nappe phréatique exhaurent dans le chott Merouane et s'y évaporent en donnant une croûte gypso saline.

A l'Ouest, la vallée de l'Oued Righ est plus au moins bien délimitée sur la moitié de sa longueur par les collines du Miocènes, qui forment du Nord au Sud une sorte de chaîne. Derrière cette chaîne s'étend la dépression Dzioua où le Miocène est très peu épais, il s'agit d'une ondulation dont le cœur est formé de l'Eocène moyen, qui s'allonge du Nord au Sud entre les Oueds Djellal et Dzioua.

Au Sud de l'oasis de Djamaa entre Touggourt et Ouargla, l'ondulation de Dzioua est très peu marquée, elle doit cependant exister car les points d'eau qui s'alimentent de la nappe phréatique sont très rares, il y a donc séparation entre la nappe phréatique de l'Oued Righ et celle de Ouargla.

Au Sud de Touggourt, les points d'eau exploitant la nappe phréatique deviennent particulièrement nombreux et s'étalent en éventail sur une très large zone.

L'extension des eaux très profondes suit celle de la nappe phréatique tout en étant de moins grande ampleur.

La limite Ouest des nappes souterraines est suffisamment nette, elle est marquée par les collines Miocènes qui bordent la vallée de l'Oued Righ entre Ourir et Djamaa, correspondant à la remontée du substratum argileux imperméable de l'Eocène moyen.

Les ressources artésiennes de l'Oued Righ se répartissent en trois nappes ou plutôt en trois faisceaux des nappes circulant dans les niveaux sableux et graveleux du Miocène continental.

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

- ♦ L'infiltration d'eau météorique dans les sables poreux.
- ♦ L'infiltration pluviale dans l'Erg.
- ♦ L'infiltration directe dans les fissures des couches affleurant au sol.

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

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

4. Piézométrie :

Notre projet aborde précisément les aspects hydro chimiques et hydrodynamiques de la nappe du Complexe Terminal de la région de l'Oued Righ.

La détermination de la côte Z de chaque point à l'aide d'un GPS.

Mesure de niveau statique dans chaque puits, à l'aide d'une sonde sonore lumineuse.

La mesure de niveau piézométrique $NP=Z-P_e$

NP : niveau piézométrique (m).

P_e : profondeur à l'eau (m).

Z : cote, niveau naturel du sol (m).

Détermination du gradient hydraulique est donné par la formule $i = \frac{H_1 - H_2}{L}$

Les niveaux piézométrique H_1 et H_2 sont déterminés par les courbes iso-pièzes et la distance (L) entre ces deux points par l'échelle de la carte.

4.1. Carte piézométrique de la nappe libre :

La nappe est cylindrique au Sud de Djamaa (p5), légèrement divergente au Sud de Touggourt (p10) pour devenir concave à Touggourt. A partir de Djamaa dans le sens d'écoulement est Sud-Nord est due à l'influence de chott Merouane.

Dans la partie Nord les courbes sont franchement convergentes autour du chott ; zone déprimée par l'effet de l'évaporation qui joue ici le rôle d'exutoire naturel et moteur de circulation.

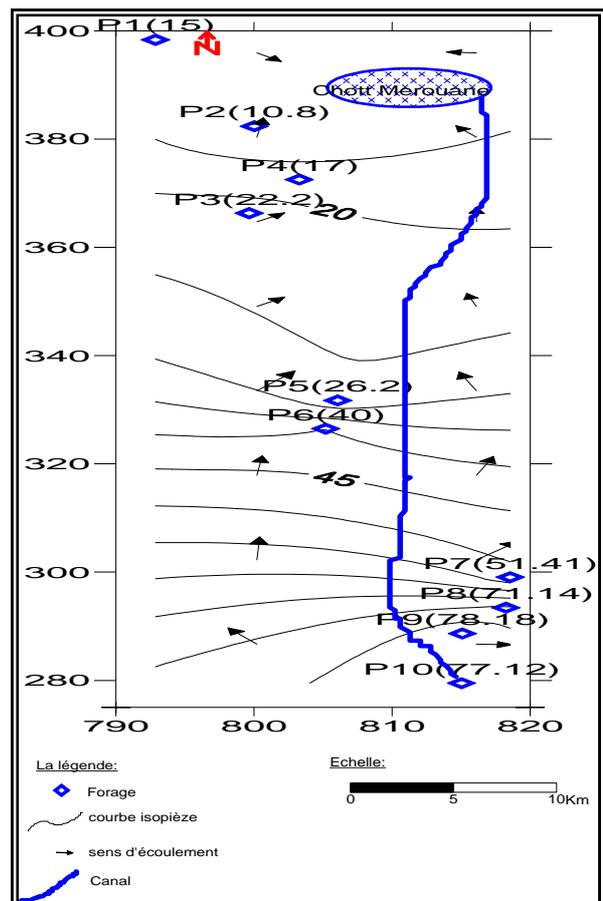


Fig. N°36 : Carte piézométrique de la nappe libre (Juin 2006).

4.2. Cartes piézométrique des nappes de CT :

Le sens de l'écoulement principal dans ces cartes est vers l'exutoire naturel (chott). en général le sens de l'écoulement est de NW-SE avec un espacement des courbes isopiezés régulières traduisent un gradient hydraulique constant de l'ordre $2.3.10^{-3}$.

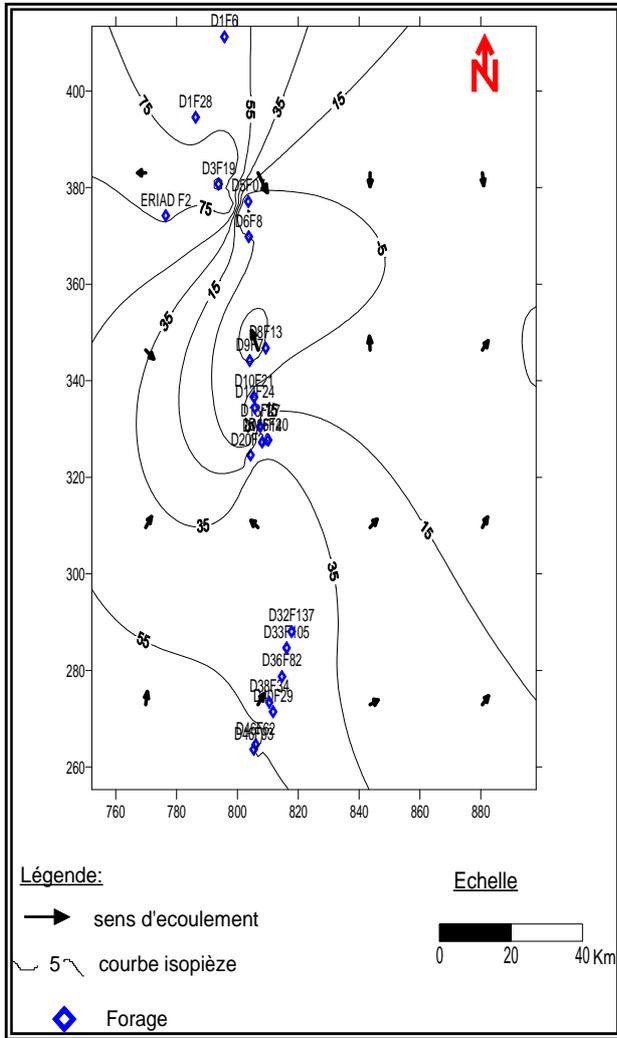


Fig.N°37 : carte piézométrique des nappes CT (janvier 2003).

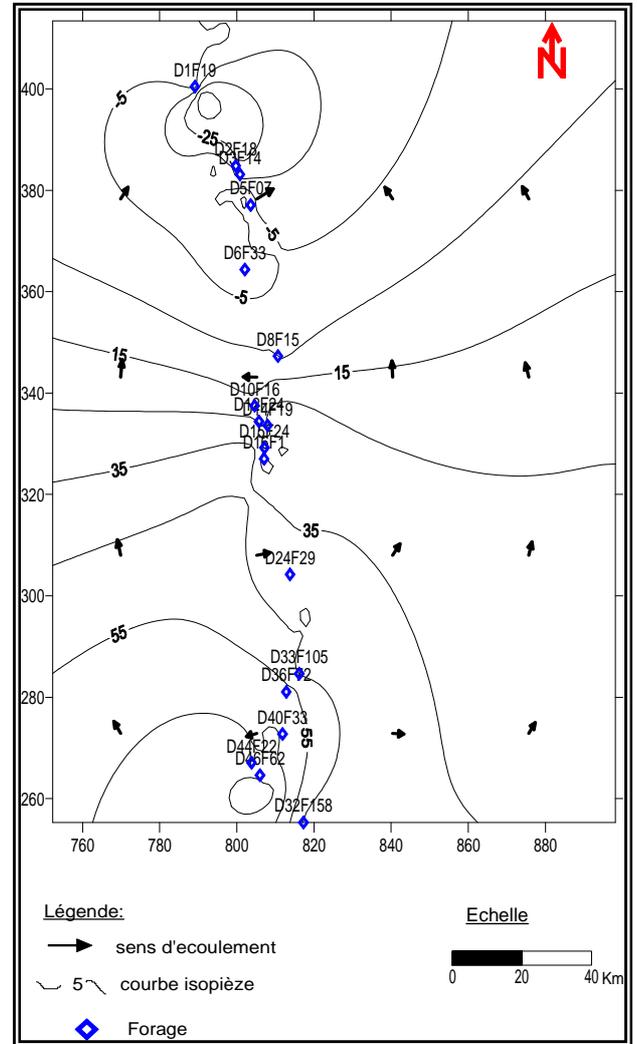


Fig.N°38 : carte piézométrique des nappes CT (janvier 2002).

5. Détermination des paramètres hydrodynamiques :

5.1. Introduction :

La détermination des différents paramètres hydrodynamiques est indispensable pour l'évaluation de la capacité du réservoir aquifère et l'étude du comportement général de la nappe vis-à-vis de l'exploitation.

Dans la présente étude, nous allons interpréter les résultats des deux pompages d'essais exécutés aux niveaux des forages dans la nappe CT₁: Au Nord : El Meghaier.

Au Sud : Touggourt.

5.2. Méthode d'interprétation :

Pour la présentation graphique des données, et pour les interpréter, on a utilisé un logiciel de cartographe automatique « **Aquifer test** », on s'est basé sur l'interprétation de la méthode du :

C.E.Jacob.

5.2.1. Essai d'El Meghaier :

X : 5° 56' 56" E.

Y : 34° 0' 3" N.

Z : 2 m

Profondeur : 60 m

Rabattement maximal : 4,65m

Niveau dynamique maximal : 9,65m

Niveau statique : 5 m.

Epaisseur: 50m

L'essai a été réalisé dans l'aquifère à nappe captive dans les sables gréseux avec intercalation d'argiles et des traces des grès.

La durée du pompage est de 68400 s et débit constant 5l/s

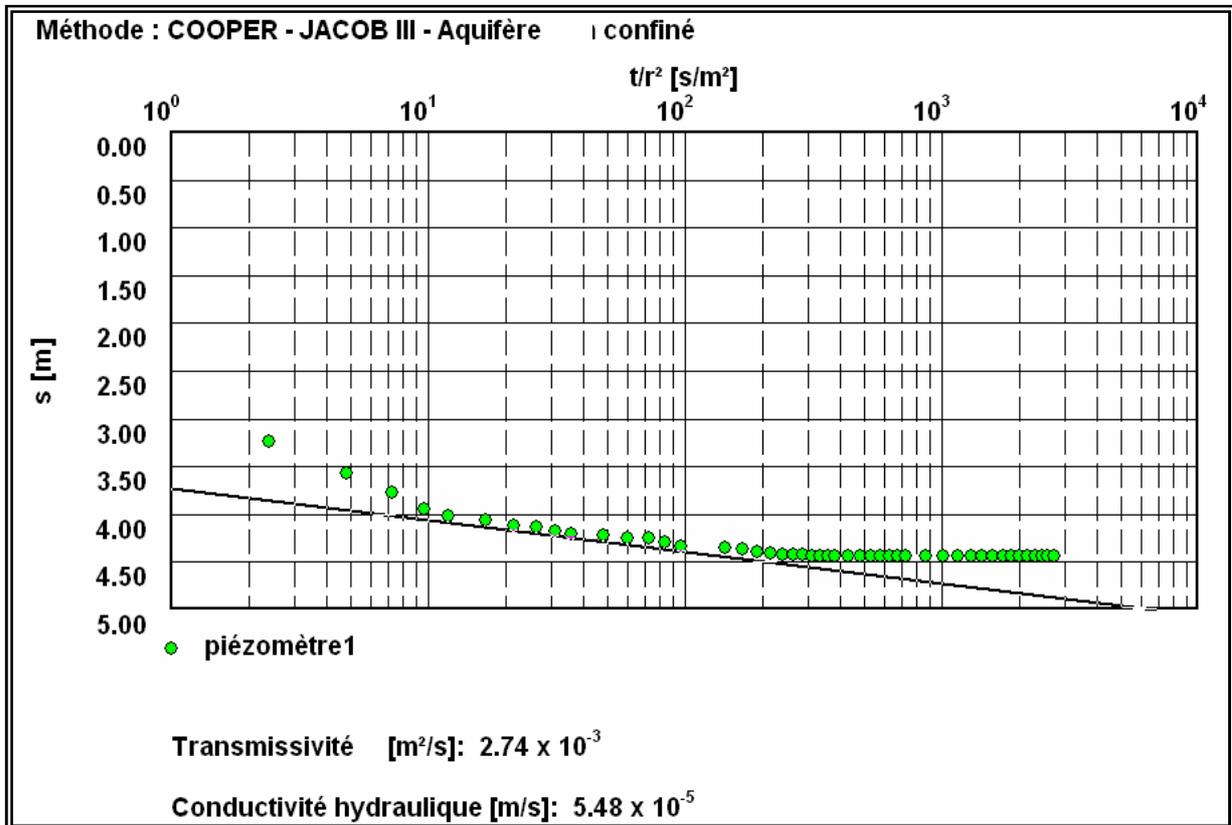
Courbe de descente :

Fig. N°39 : Essai de pompage longue durée à El Meghaier par la méthode de Cooper-Jacob de la descente.

D'après la formule de C.E.Jacob, l'interprétation de la courbe de descente nous donne les valeurs suivantes :

$$T = 2,74 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$K = 5,48 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$$

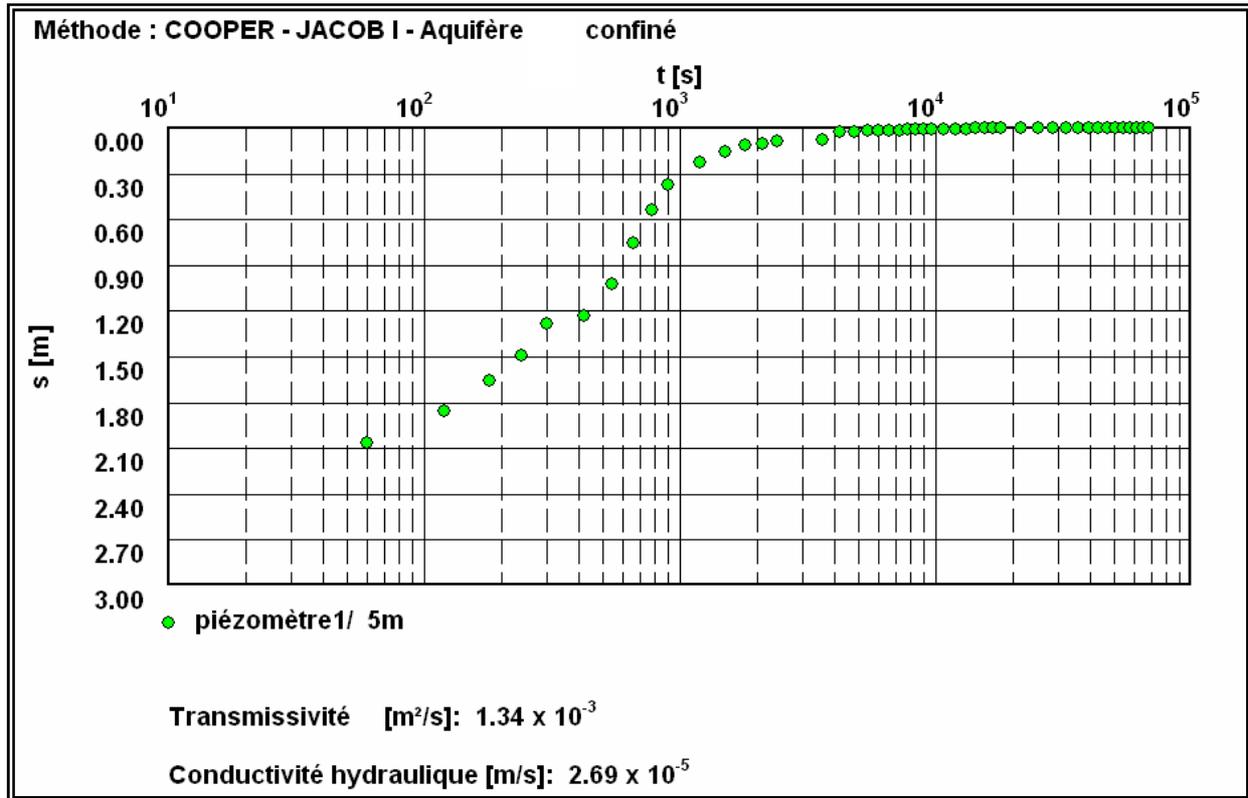
Courbe de remontée :

Fig. N°40 : Essai de pompage longue durée à El Meghaier par la méthode de Cooper-Jacob de la remontée.

Les valeurs estimées de la courbe de remontée sont :

$$T = 1,34 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$K = 2,69 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$$

Donc, l'essai de puit du Meghaier est caractérisé par :

T moyenne de l'ordre de $4.08 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$.

K moyenne = $8.17 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s}$.

5.2.2. Touggourt : Essai de Nezla :

X : 6° 04' 31" E.

Y : 33° 04' 08".

Profondeur : 18m.

Rabattement maximal : 1 m.

Niveau dynamique maximal : 3,1 m.

Niveau statique : 2,1 m.

Le sondage capte l'aquifère à nappe captive, avec une épaisseur de 30 m de sables fins à moyen avec intercalation de calcaire et de gypses.

L'essai a été réalisé à débit constant 15 l/s.

Courbe de descente :

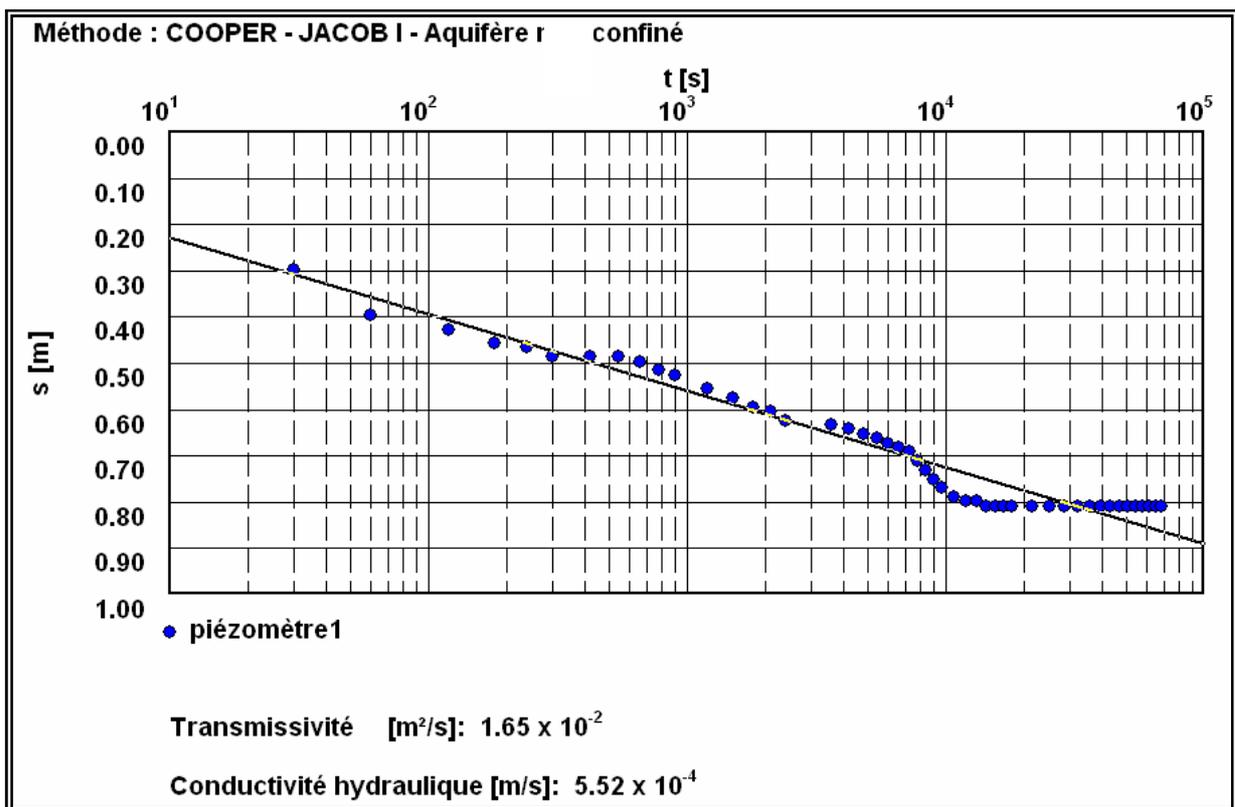


Fig. N°41 : Essai de pompage longue durée à Nezla par la méthode de Cooper-Jacob de la descende.

$$T = 1,65 \times 10^{-2} m^2 / s$$

$$K = 5,52 \times 10^{-4} m / s$$

Courbe de remontée :

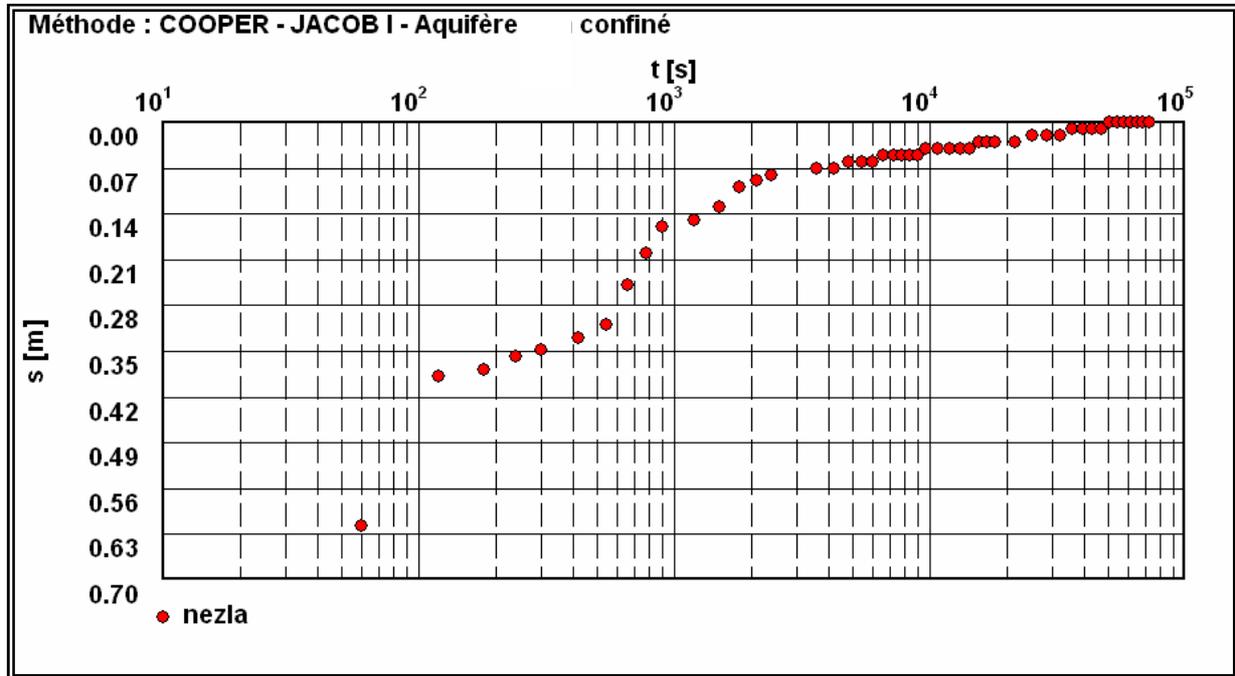


Fig. N°42 : Essai de pompage longue durée à Nezla par la méthode de Cooper-Jacob de la remontée.

$$T = 0,99 \times 10^{-2} m^2 / s$$

$$K = 3,31 \times 10^{-4} m / s$$

Donc, l'essai du Forage du Nezla est caractérisé par :

T moyenne de l'ordre de $1,64 \times 10^{-2} m/s$

K moyenne = $8,83 \times 10^{-4} m/s$

D'après les résultats, on trouve également que les valeurs de transmissivité et celles de perméabilité sont importantes au niveau des deux forages, et cela est montré dans le tableau suivant :

Tableau N°35 : Les paramètres hydrodynamiques de la zone d'étude.

puits	K (m/s)	T (m ² /s)	Coefficient d'emmagasinement
Meghaier	$8.17 \cdot 10^{-5}$	$4.08 \cdot 10^{-3}$	/
Touggourt	$8.83 \cdot 10^{-4}$	$1.64 \cdot 10^{-2}$	/

D'après les résultats, on conclut que les valeurs de transmissivité et de perméabilité sont moins importantes au Nord par rapport au Sud de vallée.

6. Conclusion :

Dans le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

Le premier profond étendu, dit le Continental Intercalaire (CI), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge albien

Le deuxième est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier dit Le Complexe Terminal (CT), constitué de deux ensembles différents:

L'un marin constitué par les calcaires d'âge Sénonien-Eocène CT3

L'autre continental constitué par des sables, graviers et des grès d'âge Mio-Pliocène caractérise la 1^{ère} et la 2^{ème} nappe du Complexe Terminal (CT1) (CT2)

Un aquifère superficiel qui surmonte ces deux ensembles dit nappe Phréatique contenue dans les sables fins à moyens d'âge quaternaire à récent.

Les cartes piézométriques sont des documents de base de l'analyse et de la schématisation du comportement hydrodynamique de l'aquifère, et la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

D'après les cartes piézométriques établies le sens d'écoulement tend vers l'exutoire naturel.

Selon les données, notre étude s'oriente vers l'interprétation des essais du forage à débit constant en régime transitoire.

On a déterminé les paramètres dans les deux forages.

D'une manière générale, on estime que ces valeurs obtenues sont considérables, de ce fait on peut dire que notre nappe est exploitable du point de vue hydrodynamique.



1. But de l'étude hydro chimique :

L'étude hydro chimique a pour but de :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux.
- Déterminer l'origine des éléments majeurs présents dans l'eau.
- Avoir une idée sur l'aptitude de l'eau à l'irrigation.
- Etablir une carte de vulnérabilité de la nappe phréatique de Oued Rihg.

2. Analyses physico-chimiques :

Les différentes analyses des paramètres physico chimiques des eaux des nappes de la région d'étude ont été effectuées au laboratoire de l'ADE (Ouargla).

2.1. Nappe libre :

2.1.1. Paramètres physiques:

2.1.1.1. La Température :

La température joue un rôle important dans la mobilité des sels et des gaz, donc sur la conductivité électrique. Elle permet d'avoir une idée sur la profondeur de circulation des eaux.

L'augmentation de la température est fonction de la profondeur (1°C pour 35m).

La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de 22°C, et celle de l'air est de 21, 76°C.

On constate que la température de l'eau est pratiquement de la même de l'air; Ce qui montre l'interaction complète entre la nappe et l'air.

2.1.1.2. Le pH : Le pH est une mesure de la concentration en proton en solution.

Tableau N°36: Les valeurs des pH dans la nappe libre

Forages	pH
Oum Thiour	7.3
El Meghaier	6.8
Sidi Khelil	7.4
Ain Chaikh	6.3
Djamaa	7
Sidi Amrane	7.8
Sidi Slimane	7.4
Mégarine	7.4
Zaouia Abdia	7.2
Nezla	6.9

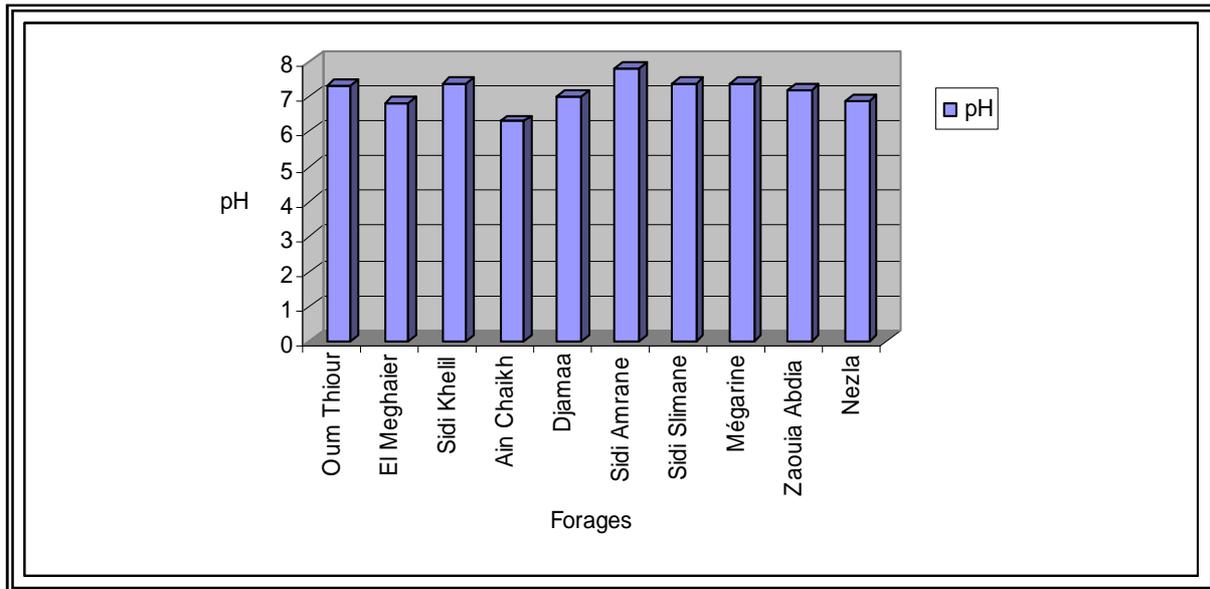


Fig N°43: Histogramme des pH de la nappe phréatique.

Les valeurs de pH sont très proches, entre 6 et 7 mais dans la plupart des puits de la nappe phréatique les eaux sont légèrement alcalines.

2.1.1.3. Le 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 contacts 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 hydromorphes).

Les valeurs du potentiel redox des eaux de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en (mV) ou l'on note un Eh négatif presque dans toute la région d'étude, ce qui indique un milieu réducteur, du probablement à la présence des bactéries réductrices.

2.1.1.4. Conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux souterraines de la zone d'étude ont été mesurées sur terrain et sont exprimées en $\mu.S/cm$ (Août 2006).



Tableau N°37 : Les valeurs de la conductivité électrique dans la nappe libre.

Forages	Conductivité électrique (μS/cm)
Oum Thiour	7100
El Meghaier	6400
Sidi Khelil	5630
Ain Chaikh	5160
Djamaa	8790
Sidi Amrane	1270
Sidi Slimane	1340
Mégarine	7100
Zaouia Abdia	6850
Nezla	1260

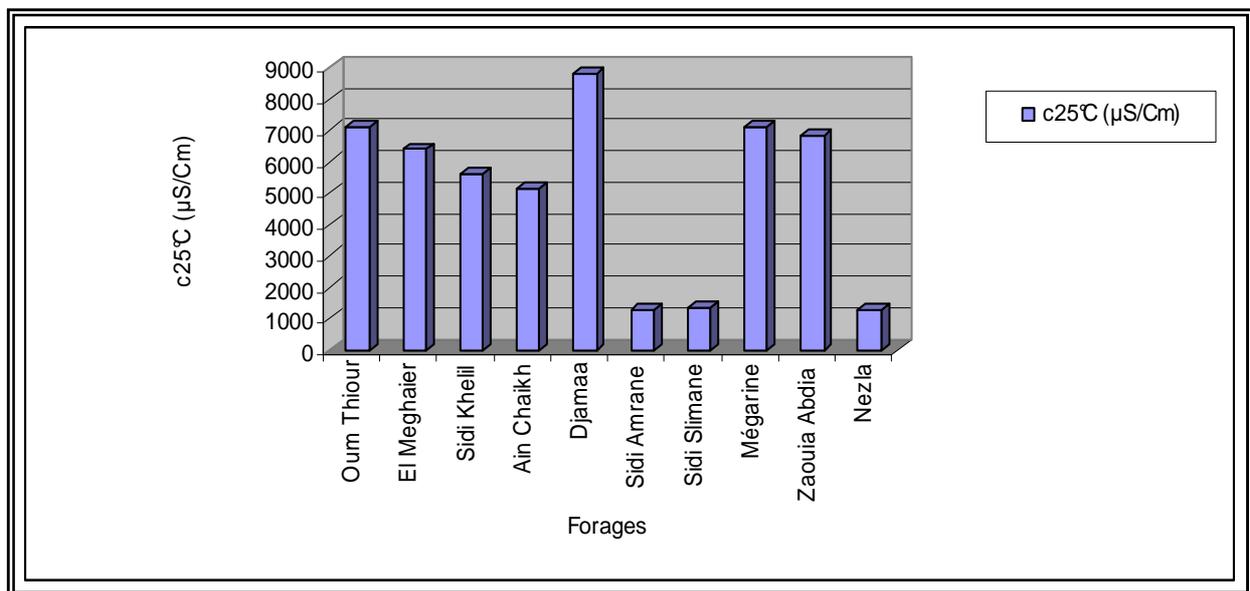


Fig N°44: Histogrammes des conductivités de la nappe phréatique.

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

Pour la nappe phréatique de la région d'étude, la valeur de la conductivité varie entre 1260 μS/cm et 7100 μS/cm.

Elles sont importantes au sud mais diminuent vers le nord de la vallée.

2.1.1.5. Dureté totale :

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium. Exprimée en degré français (°F), elle est calculée par la formule suivante :

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



Tableau N°38: Classification des eaux souterraines selon la dureté totale.

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

Dans l'ensemble les eaux analysées présentent un $Th > 30^{\circ}f$.

2.1.2. Interprétations des analyses chimiques:

2.1.2.1. Détermination des faciès chimiques : Diagramme de Piper :(Août 2006).

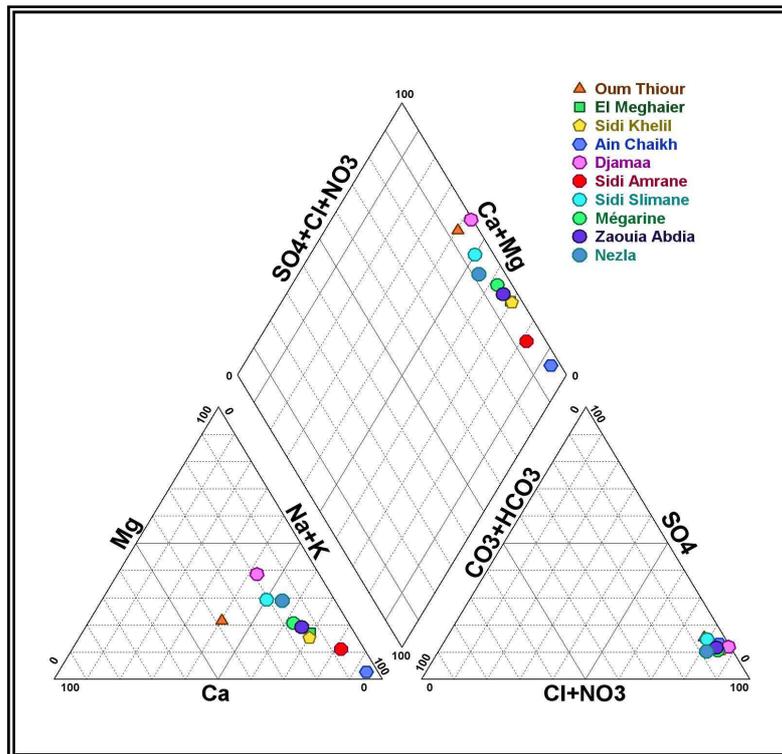


Fig.N°45 : le diagramme de Piper (la nappe libre Août 2006).

D'après la classification de PIPER, la nappe phréatique a un faciès chloruré sodique pour la majorité des forages.

2.1.2.2. Rapport caractéristique :

On appelle rapport caractéristique le rapport de certains éléments chimiques exprimé en quantité en réaction. L'étude des variations de ce rapport donne de précieuses indications sur l'alimentation et l'écoulement des eaux souterraines.

2.1.2.2.1. Indice d'échange de base (i e b) :

L'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'eau au cours de son séjour souterrain entre en relation avec différentes substances ayant la propriété d'échanger les ions contre ceux contenues dans les



eaux parmi ces substances nous avons minéraux, l'hydroxyde ferrique, les substances organiques.

D'après SCHELLER (1943), l'indice d'échange de base est exprimé par la formule suivante :

$$i e b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Si $i e b > 0 \Rightarrow$ les eaux échangent des ions de $Na^+ + K^+$ contre les ions de Ca^{++} et Mg^{++} du terrain encaissant.

- ♦ $i e b = 0 \Rightarrow$ il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant.
- ♦ $i e b < 0 \Rightarrow$ l'encaissant libère les ions de $Na^+ + K^+$ et fixe les ions de Ca^{++} , Mg^{++} de l'eau.

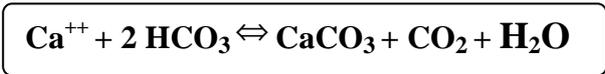
Pour la région de l'Oued Righ :

Les eaux de la nappe phréatique ont un indice de base positif variant entre 0,006 à 0,96, dans la majorité des puits indiquant un échange de $Na^+ + K^+$, de l'eau contre Ca^{++} et Mg^{++} de l'encaissant.

En revanche, au niveau du puits de Ain Cheikh on constate un indice de base négatif -0,11 ce qui nous indique que l'encaissant libère $Na^+ + K^+$ et fixe les ions de Ca^{++} et Mg^{++} de l'eau.

2.1.2.3. Cartographie hydro chimique :

2.1.2.3.1. Le calcium (Ca^{++}): Sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



L'examen de la carte figure n°45 montre que la teneur de calcium varie entre 83.2mg/l (Ain Chaikh) à 517mg/l (Oum Thiour) où les fortes teneurs sont observées dans la partie Sud (Sidi Sliman) et la partie Nord (Oum Thiour).

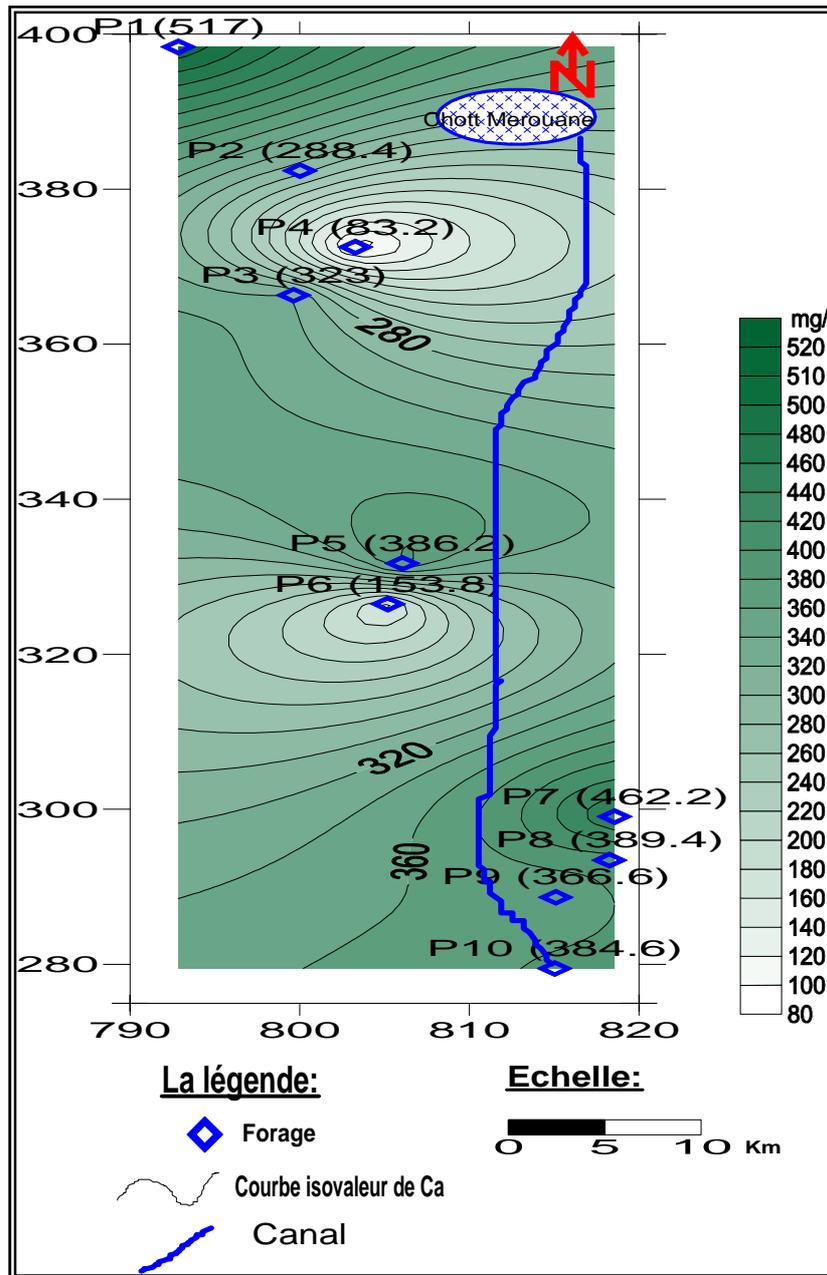


Fig. N°46 : Carte des teneurs en calcium (Ca⁺) en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

2.1.2.3.2. Le Magnésium (Mg⁺⁺) : Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, Ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques. La carte du magnésium figure n°46 montre que les valeurs faibles s'observent au Nord (Ain Chaikh 39.6mg/l), à l'exception de la valeur maximale au niveau de Djamaa (482.6mg/l) alors que les valeurs du secteur Sud sont supérieures à 250mg/l.

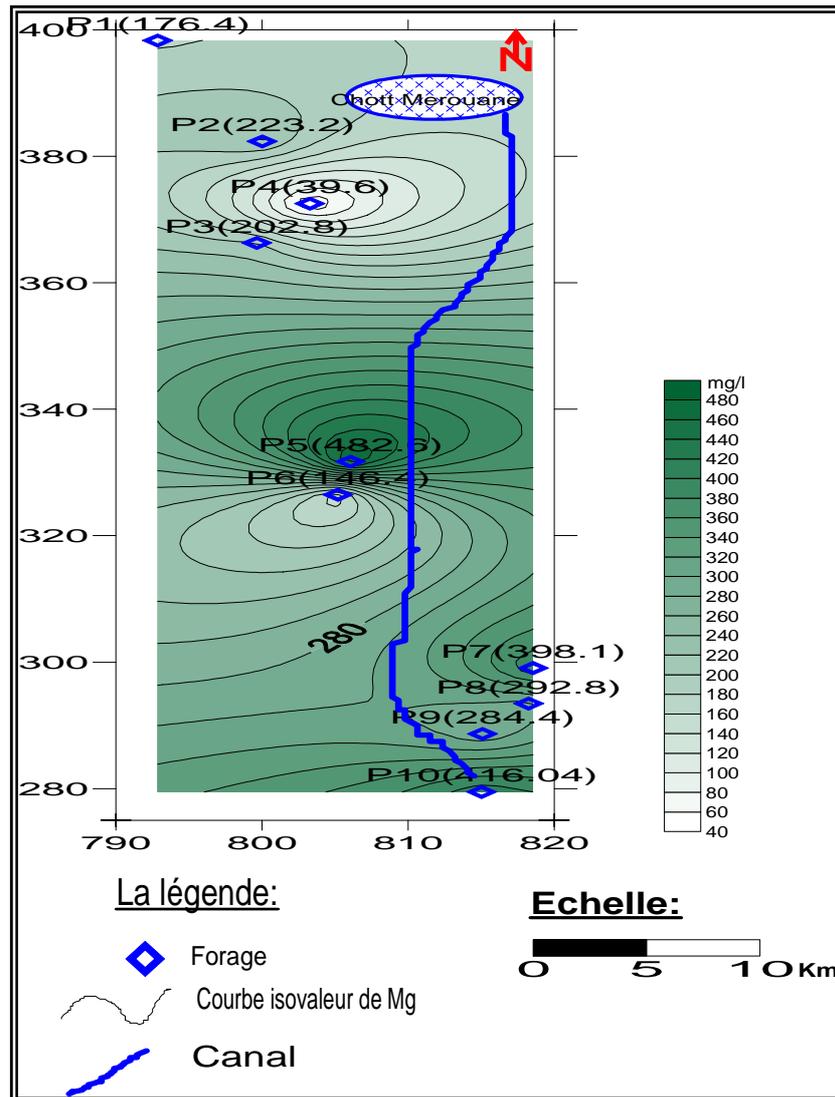


Fig. N°47 : Carte des teneurs en magnésium (Mg^+) en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

2.1.2.3.3. Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+) : Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable. Le sodium peut prévenir du lessivage des formations géologiques riches en NaCl ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau.

D'après la carte des teneurs en Na^+ et K^+ , on peut distinguer deux parties :

Au Sud : on constate que les teneurs en Na^+ et K^+ augmentent du Sud vers le Nord dans le sens de l'écoulement jusqu'à atteindre à Ain Cheikh au centre de la carte, une valeur maximale de 2481 mg/l.

Au Nord : la diminution de la concentration de Na^+ , K^+ est remarquable, on trouve la valeur minimale de toute la vallée 630.43mg/l à Oum Thiour.

L'augmentation des valeurs au Sud de la vallée est due aux eaux chargées provenant de la dissolution des sels de la croûte superficielle par les eaux d'irrigations.

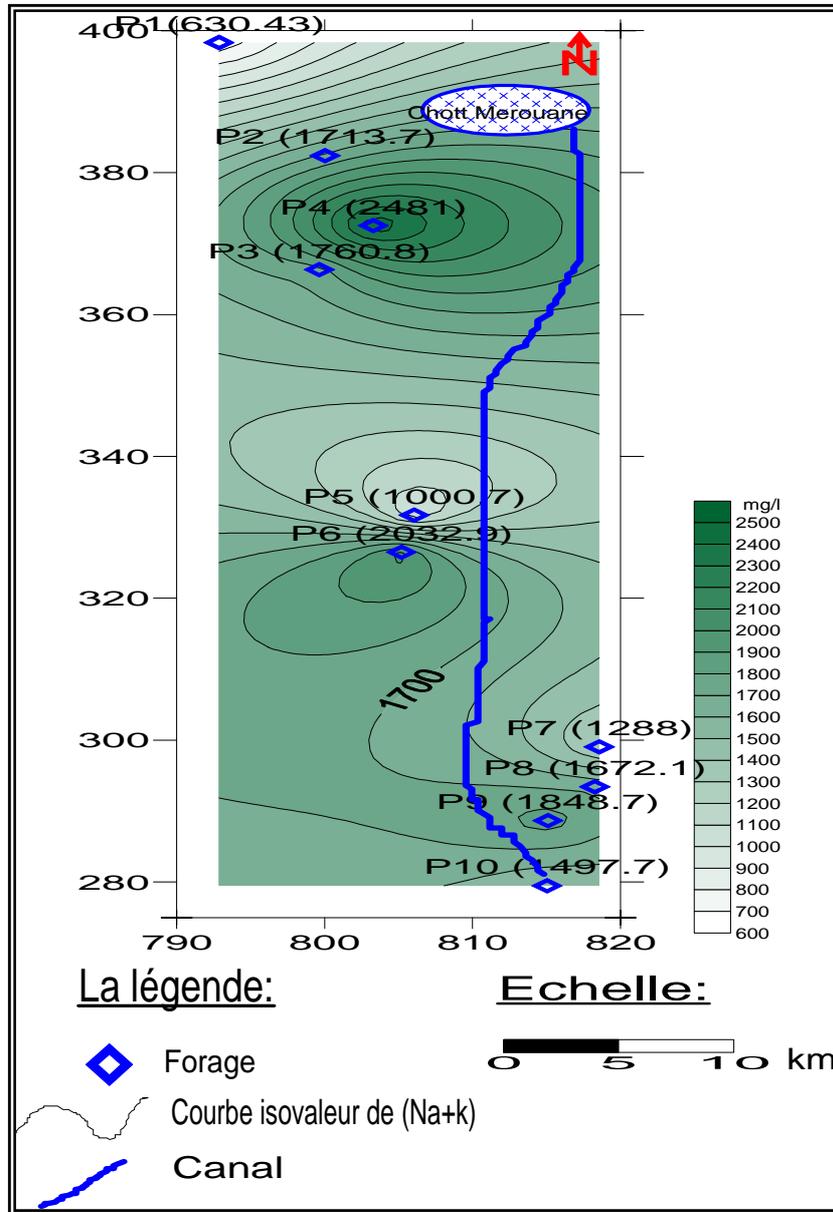


Fig. N°48 : Carte des teneurs en Na⁺ et K⁺ en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

2.1.2.3.4. Les chlorures Cl⁻ : Ils sont toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, 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, caractérisant notre nappe.

D'après la carte, on constate que les valeurs de Cl^- sont très important au Sud de la carte, qui vont diminuer avec le sens d'écoulement jusqu'au Nord ou la teneur de Cl^- atteint sa valeur minimale 2130mg/l au niveau du puits d'Oum Thiour.

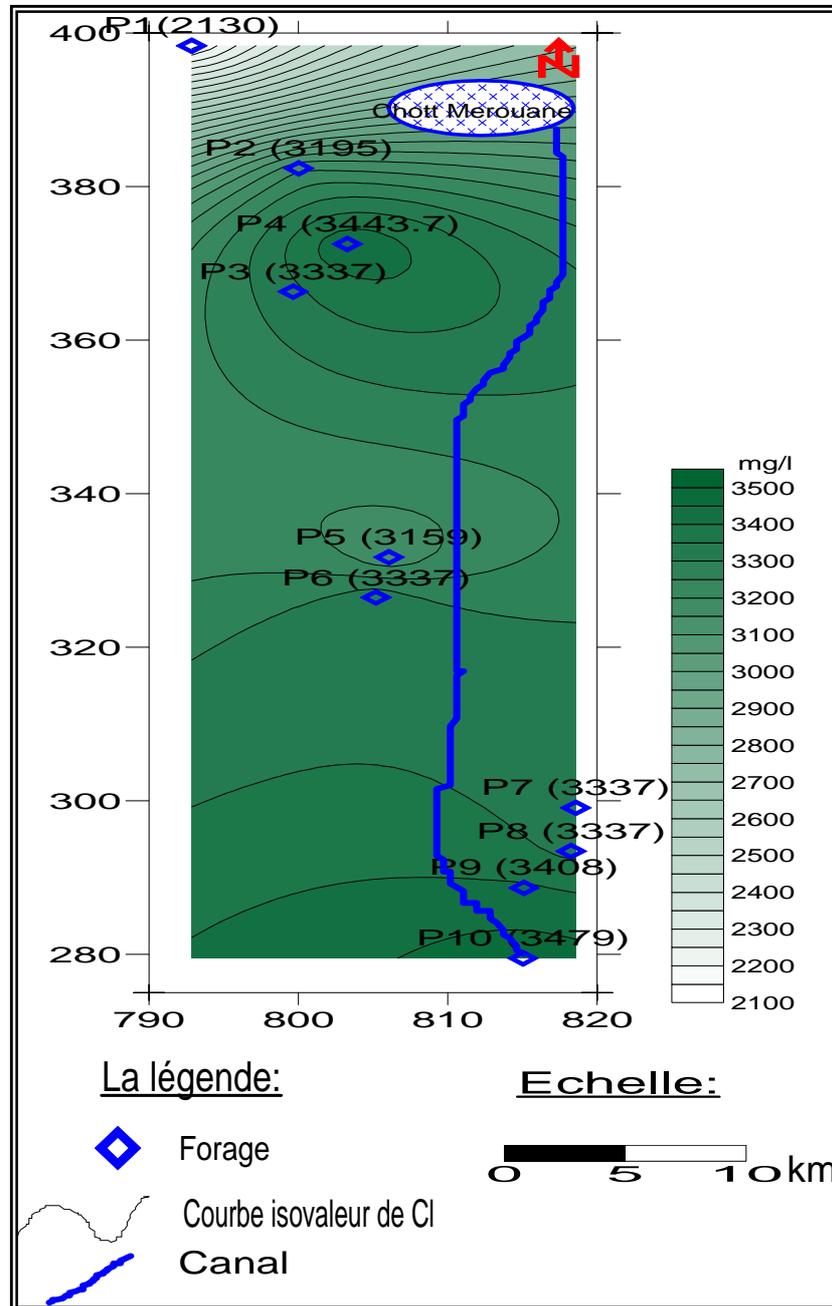


Fig. N°49 : Carte des teneurs en chloures (Cl^-) en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

2.1.2.3.5. Les sulfates (SO_4^{2-}) : Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

- ♦ Des formations gypseuses.
- ♦ Légère solubilité de CaCO_3 avec des passées gypseuses.

- ♦ Des eaux usées industrielles.

Les résultats des analyses chimiques, donnent des valeurs variant de 564.9mg/l à 829.9mg/l. D'après la carte de répartition de cet élément, on constate que ces valeurs sont très proches.

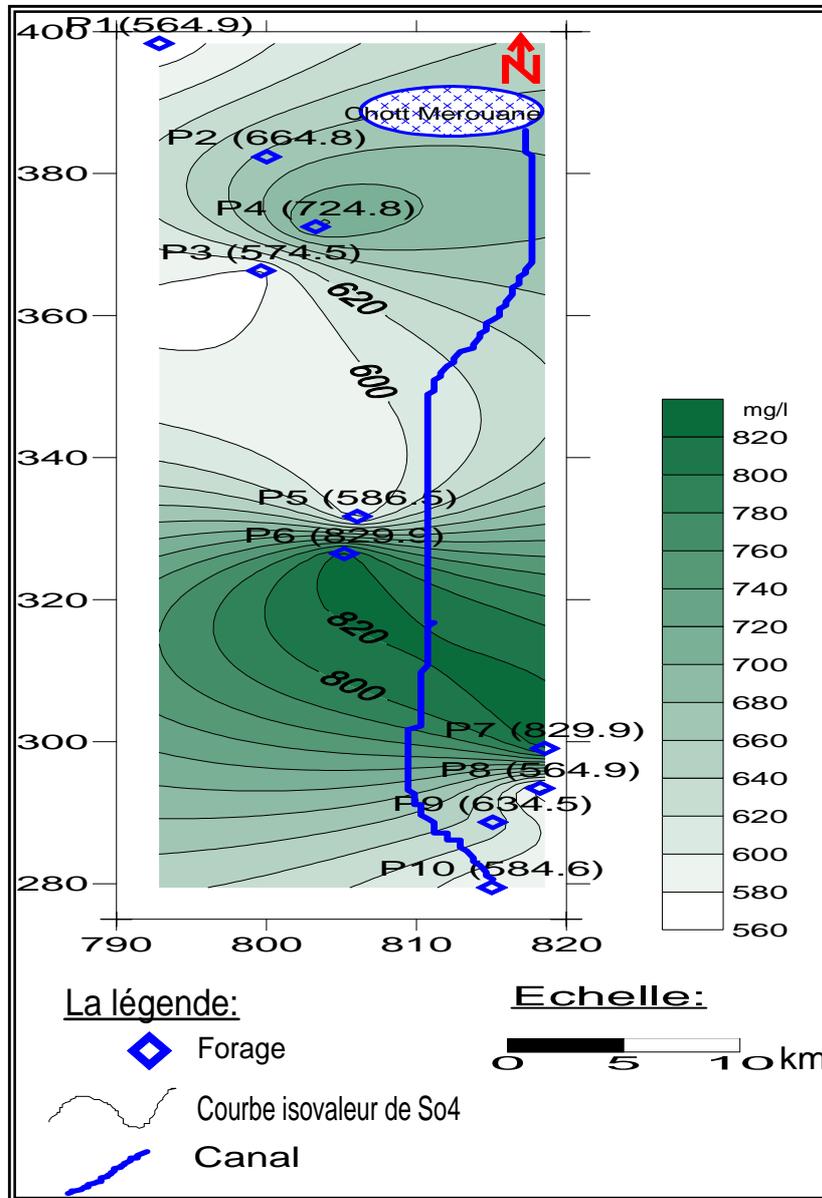
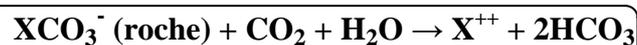


Fig. N°50 : Carte des teneurs en sulfates (So_4^{-2}) en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

2.1.2.3.6. Les bicarbonates HCO_3^- :

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO_2 , de la température, le pH de l'eau et 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 en bicarbonates (HCO_3^-) sont faibles, elles sont comprises entre 24,4 mg/l et 588 mg/l. Ces valeurs sont plus importantes au Sud qu'au Nord.

La valeur minimale se localise au centre au niveau du puits de Djamaa soit 24.4mg/l.

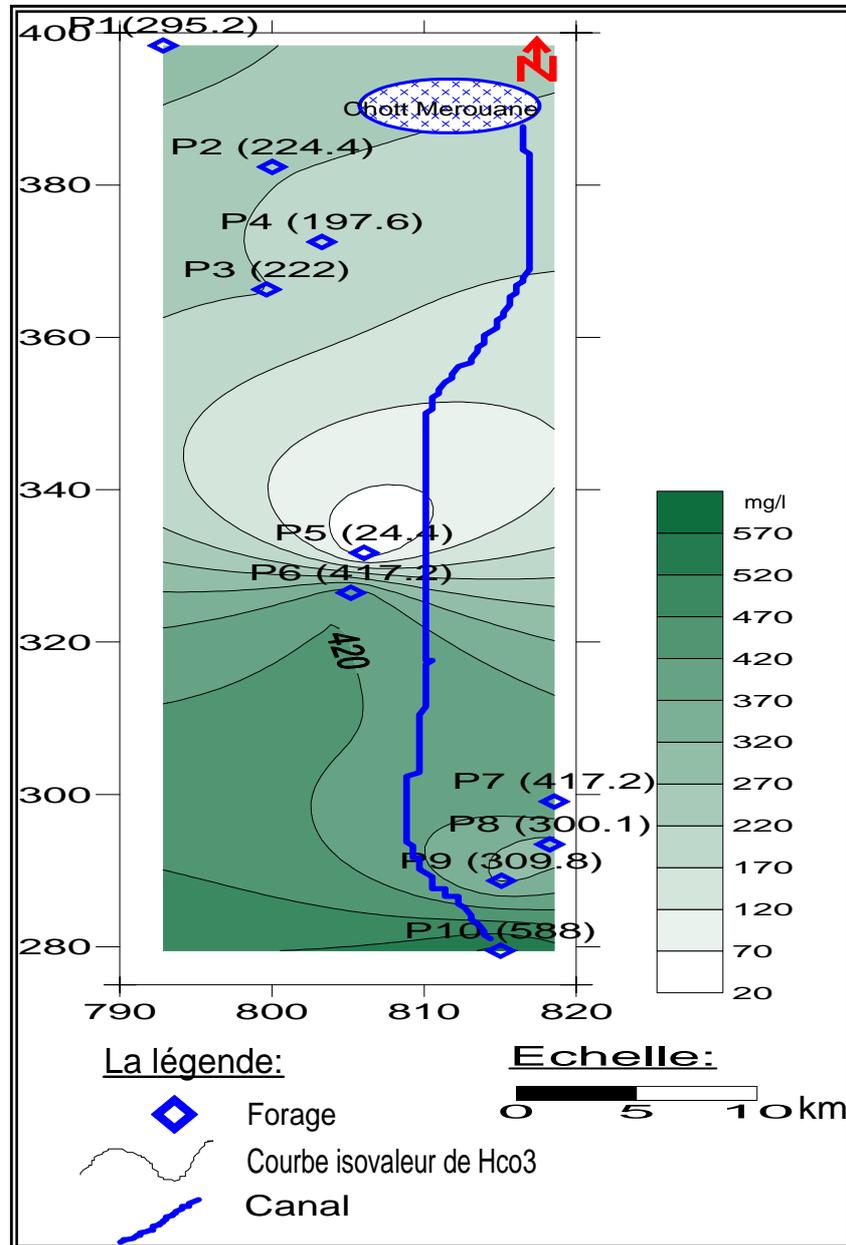


Fig.N°51 : Carte des teneurs en bicarbonates (Hco_3^-) en (mg/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

2.1.3. Qualités des eaux d'irrigation:

La qualité physico-chimique des eaux destinées pour l'irrigation est le plus souvent médiocre à cause de la salinité. Cette salinité des eaux, dont une partie est d'origine géologique (primaire) s'accroît continuellement celui à une mauvaise gestion de la ressource,

(Salinisation secondaire) Cette salinisation de la ressource en eau est aggravée dans certains cas par une pollution d'origine anthropique, le plus souvent domestique, qu'industrielle ou agricole, ce qui rend l'eau le plus souvent impropre à la consommation et dès fois même à l'irrigation. La teneur en sels peut dépasser les 7 g/l (région de Djemaa). Cette forte teneur en sels conjuguée à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, est une des principales causes de la stérilisation des sols de plusieurs zones agricoles dans la région.

2.1.3.1. Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'aptitude des eaux à l'irrigation est liée à son effet sur les sols et les cultures, ces derniers sont affectés de manière différente par la nature des sels dissous dans les eaux destinées à l'agriculture.

2.1.3.1.1. Diagramme de Riverside :

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation.

Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR) et la minéralisation totale.

Donc le SAR, sera calculé par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Où les concentrations sont exprimées en méq/l.

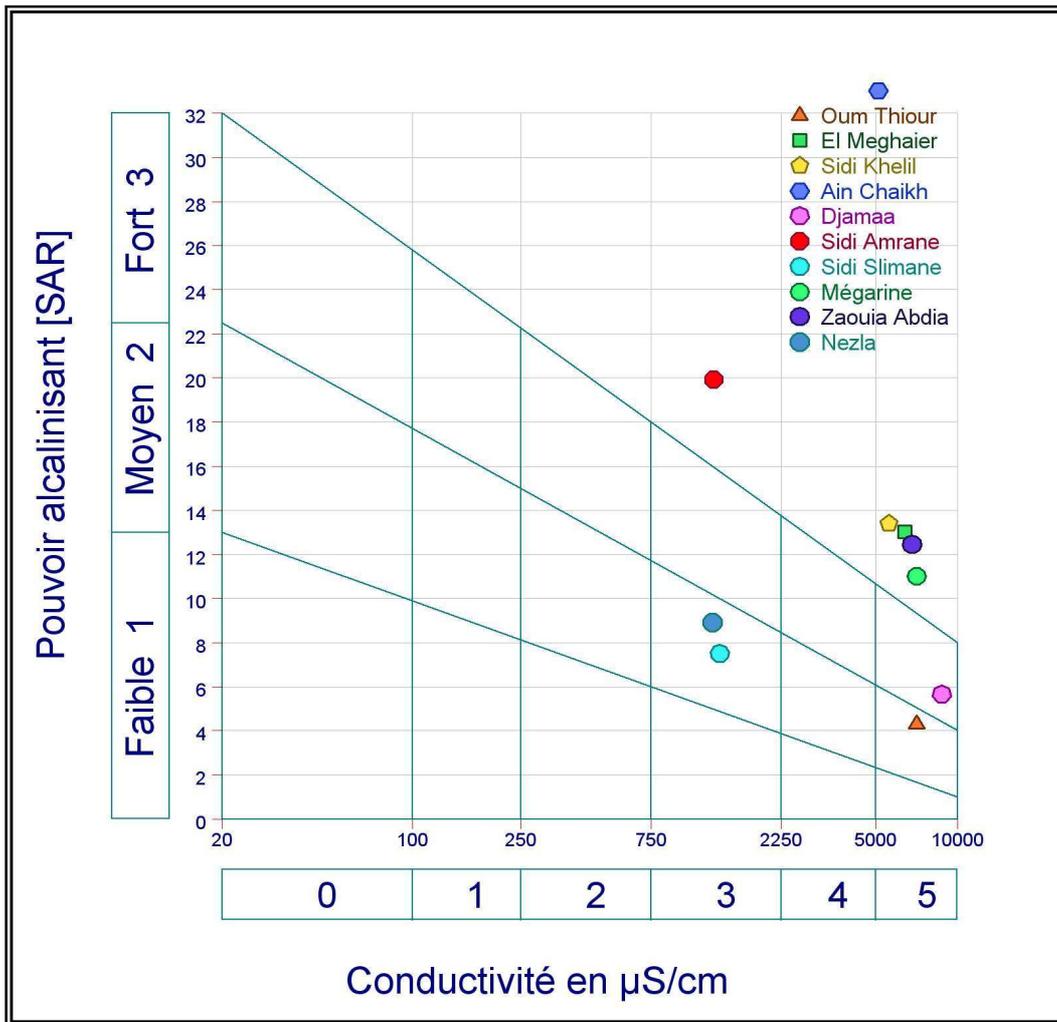


Fig. N°52 : Diagramme de Riverside (Août 2006)

Le diagramme de Richard montre quatre classes des eaux d'irrigation :

- ♦ Eau à très forte salinité et de faible teneur en sodium, risque de sodicité faible ($C_5 S_1$).
- ♦ Eau à très forte salinité et de teneur moyenne en sodium, risque de moyen sodicité ($C_5 S_2$).
- ♦ Eau à très forte salinité et de forte teneur en sodium, risque de sodicité forte ($C_5 S_3$).
- ♦ Eau à très forte salinité et de teneur en sodium exagérée, risque de sodicité très forte ($C_5 S_4$).

D'après le diagramme de Riverside, ces eaux ne convenant pas à l'irrigation, elles ont une salinité exagérée, et ne sont pas tolérées que pour de rares plantes.

2.1.3.1.2. Diagramme de WILCOX :

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

Pour cette raison Wilcox a établi en 1954 un diagramme qui tient compte du pourcentage de sodium, et de la conductivité électrique, définissant 5 classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise) dont le pourcentage de sodium sera calculé par la formule

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

(Tous les éléments sont exprimés en méq/l).

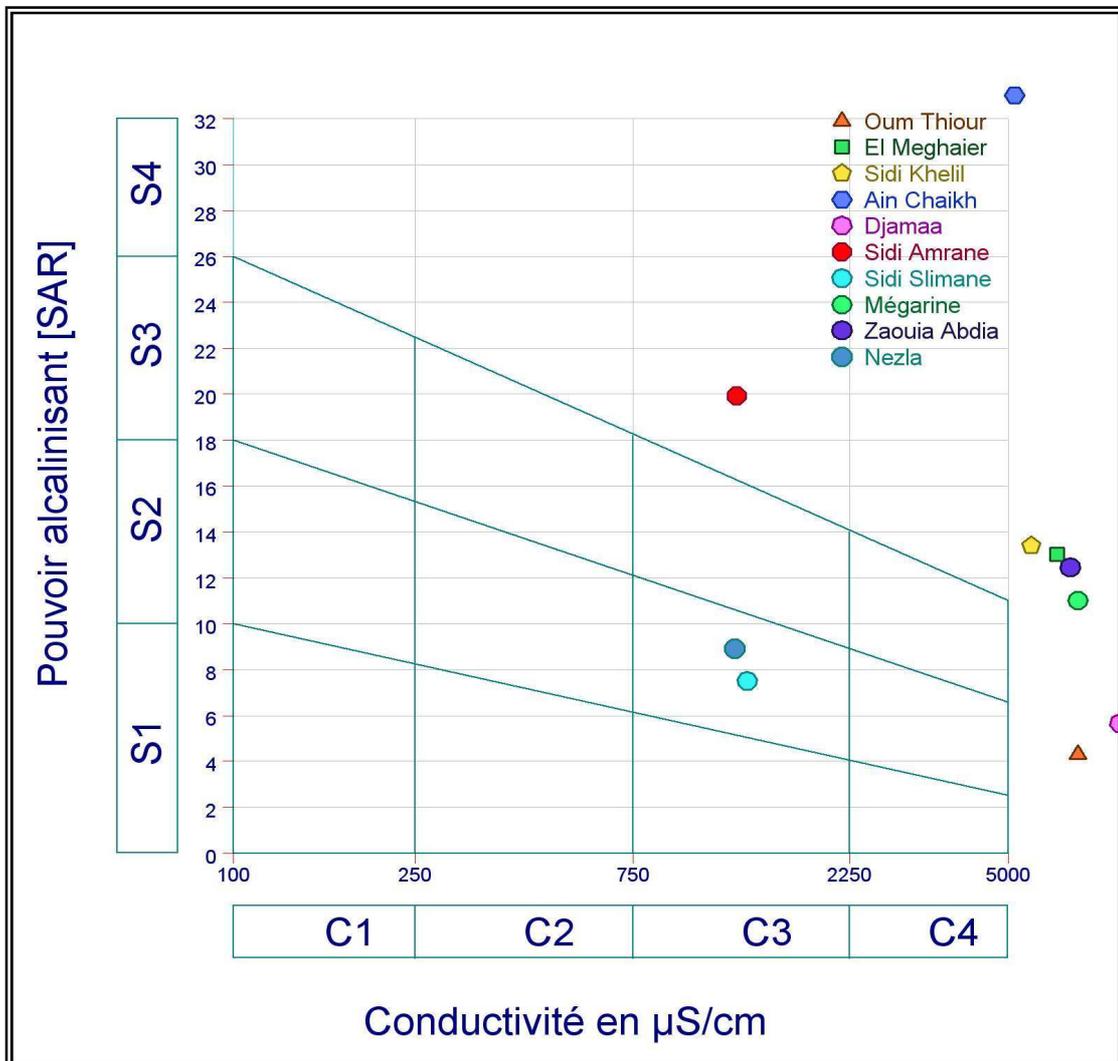


Fig. N°53: Diagramme de Wilcox (Août 2006)



D'après le digramme on constate que les valeurs obtenues sont toutes hors du digramme traduisant le fait que les eaux de la nappe phréatique ont une qualité chimique très mauvaise pour l'irrigation.

2.1.4. Problème de la salinité de la nappe libre :

Des échantillons d'eau ont été prélevés dans les points de mesures. Les analyses partielles (conductivité électrique et résidu sec) effectuées nous ont permis de dresser un graphique (figure 58) et les cartes de la conductivité électrique et résidu sec fig.n° 54 et 55. Les remarques qu'on peut tirer sont :

La conductivité électrique est comprise entre 1200 et 9000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ dans le plupart des zones de la région d'étude.

On distingue une forte salinité de la nappe, supérieure à 8000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ dans la zone de Djamaa et une faible salure inférieure à 1300 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ à Nezla et Sidi Amrane.

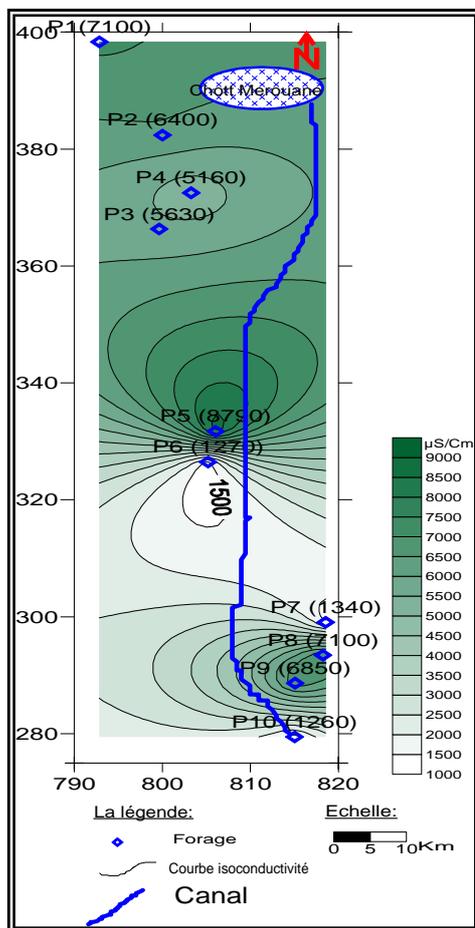


Fig.N°54 : Carte des teneurs en conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) de la nappe phréatique (Oued Righ).

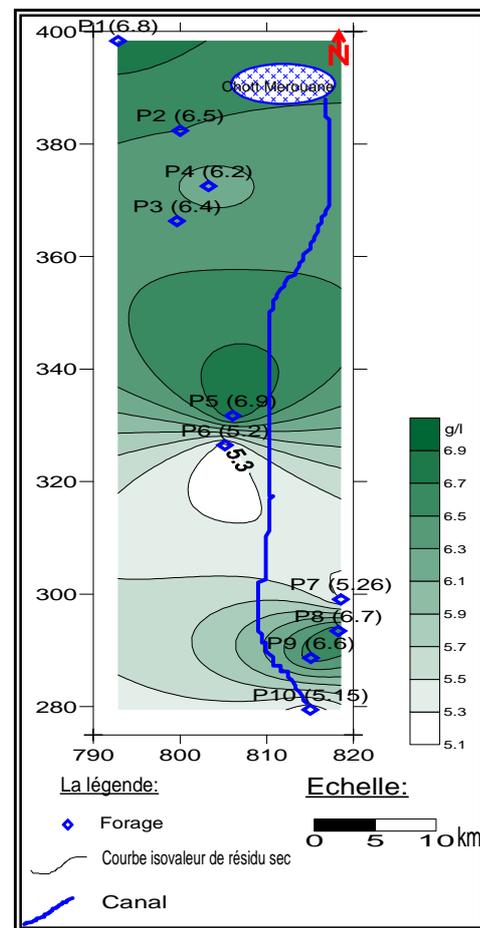


Fig.N°55 : Carte des teneurs en résidu sec (g/l) de la nappe phréatique (Oued Righ).

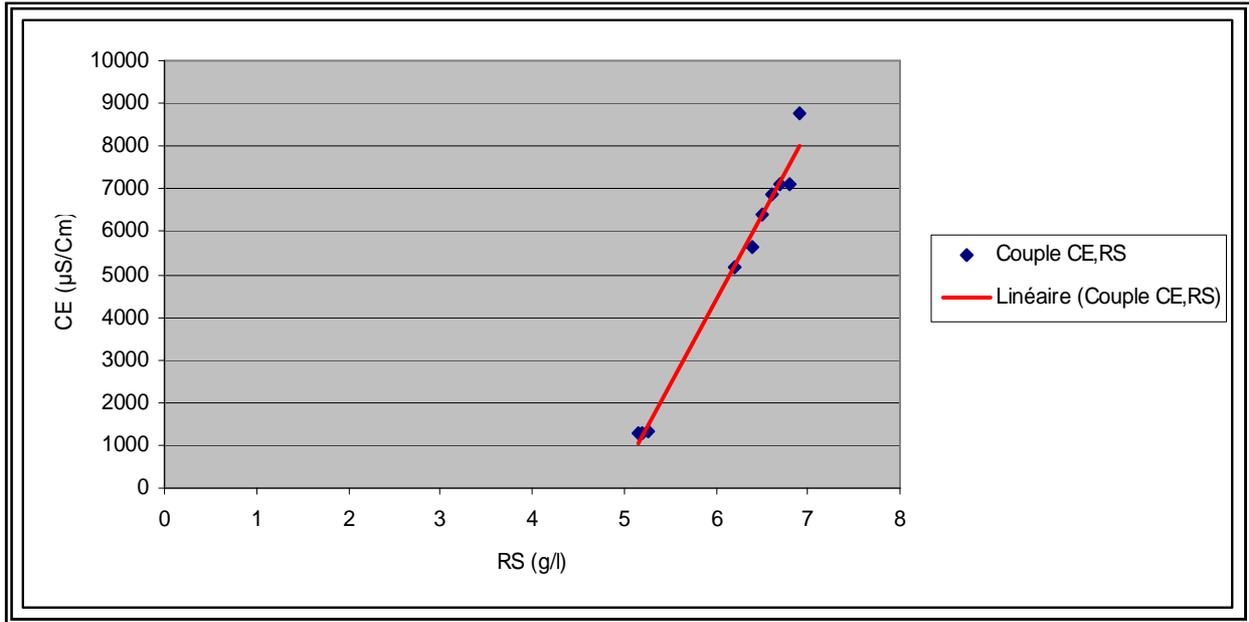


Fig.N°56: Relation résidu sec –conductivité de la nappe phréatique

Résidu sec : Exprimé en gramme par litre (g/l) ou milligramme par litre (mg/l) représente la minéralisation des sels dissous et la matière organique contenue dans l'eau, obtenus par dessiccation de l'eau à 110°C.

D'après les valeurs du résidu sec de la nappe phréatique, on constate une diminution du Sud vers le Nord dans le sens de l'écoulement pour atteindre la valeur minimale de 4,2 g/l à Oum Thiour, passant par une valeur maximale de 6,9 g/l au niveau des puits de Ain Cheikh au centre de la vallée de Oued Righ (fig. n°55).

2.1.5. Salinisation des sols:

L'accumulation des sels dans les sols s'est effectuée grâce à plusieurs facteurs, dont les principaux sont: les eaux d'irrigation, les roches parentales plus ou moins salées, la très forte évaporation et la concentration des sels dans le temps. La conductivité électrique des sols peut atteindre les 5000 µS/cm, principalement dans les horizons de surface et décroît avec la profondeur. Cette concentration de sels dans les horizons de surface s'explique par la remontée capillaire de la nappe phréatique salée avec un dépôt ascensionnel.

Le phénomène d'halomorphisme dans les milieux saturés en eau, connu par ses fluctuations à grandes amplitudes, confirme la relation très étroite entre la nappe phréatique - le sol - la salinité et l'évaporation. Ce qui a aggravé encore plus le problème de salinité des sols dans ces régions. C'est l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation avec un drainage déficient.



Remontée des sels par capillarité
Dans une palmeraie



Palmeraie dégradée par l'excès
d'eau et de sels

Fig. N°57 : L'impact de la remontée des sels sur les palmeries.

2.1.6. Relation eau et sol :

L'existence d'un excès d'eau dans les sols de la vallée a entraîné un déficit d'aération. (Anaérobie) Cet engorgement des sols est en relation directe avec la nappe phréatique, dont le niveau hydrostatique est le plus souvent stable et varie peu durant les saisons. Les sols à caractères hydro morphes inventoriés dans la région se localisent principalement dans la région de Touggourt et même dans la région de Djemaa et ce, bien qu'un réseau de drainage. Cette situation a engendré la remontée du niveau de la nappe phréatique et la concentration des sels.

Cette nappe phréatique peut jouer généralement un rôle d'appoint dans l'alimentation en eau des palmiers. Celle-ci est importante quand les horizons supérieurs du sol sont secs. Lorsque l'eau de la nappe est chargée en sels, elle joue donc un rôle négatif par ses fluctuations, surtout en période de déficit hydrique.

2.1.7. Relation - salinité des nappes et des sols :

Une interprétation des résultats d'analyses a permis de constater qu'il existe, d'une manière générale, une augmentation de la salinité dans le temps. Le phénomène d'halomorphisme dans les milieux saturés en eau est caractérisé par ses fluctuations à grandes amplitudes, ce qui explique en grande partie les variations de salinité enregistrées dans les sols des différentes palmeries de la vallée.

En effet, les paramètres "nappe-sol-salinité-évaporation" sont intimement liés et le plus souvent la courbe linéaire de la salinité dans un graphique est inversement proportionnelle au

plan d'eau (niveau hydro-statique de la nappe phréatique); Lorsque le niveau de la nappe décroît (drainage naturel) la salinité de l'eau et du sol augmente principalement en surface (concentration). Par contre, lorsque le niveau d'eau augmente vers la surface du sol, la salinité des eaux et des sols diminue.

2.1.8. Impact de l'utilisation de l'eau sur l'environnement :

L'utilisation irrationnelle des ressources en eau souterraines, dans la région (plus de 500 hm³/an pour une superficie irriguée de 15 000 ha) a engendré des conséquences négatives sur le milieu. Actuellement les zones de palmeraies connaissent d'énormes problèmes liés directement aux conditions naturelles de la région (morphologie du terrain, forte évaporation, salinité des eaux et des sols) et à la mauvaise exploitation hydro agricole (travaux culturaux et entretien, mode d'irrigation). Ces contraintes conjuguées à une utilisation abusive des eaux profondes pour l'irrigation (submersion) se sont traduites par la remontée de la nappe phréatique. La manifestation la plus apparente est celle des néoformations blanchâtres de sels et même parfois de croûtes à la surface du sol. L'accumulation des sels dans les sols peut atteindre en surface les 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Quant à la pollution d'origine domestique (rejets d'eaux usées) est surtout caractérisée par l'insuffisance ou l'absence de réseaux d'assainissement, notamment dans les grands centres urbains et également par la défaillance ou l'arrêt de stations de traitement.

L'utilisation des eaux chaudes de l'Albien, notamment dans la région de Touggourt (Oued Righ) a créé des problèmes d'obstruction par entartrage des canalisations destinées pour l'irrigation ou l'AEP et ce, bien que les eaux sont refroidies. L'entartrage est un phénomène naturel lié aux conditions d'équilibre d'une eau naturelle. Ce qui entraîne les points suivants :

La réduction de la section de passage.

La diminution des débits.

La diminution des échanges thermiques.

Le phénomène de l'entartrage s'explique par la vaporisation des eaux de l'albien qui fait précipiter le tartre à l'intérieur des canalisations. Le tartre est constitué d'incrustations calcaires dures qui adhèrent aux parois des canalisations et forment un aspect cristallin de dépôts. Le tartre ainsi constitué est compact, dur et faiblement poreux, d'une texture très fine à l'état humide.



2.2. Nappe complexe Terminal (CT) :

2.2.1. Paramètres physiques :

2.2.1.1. La Température: La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de 20°C, et celle de l'air est de 30°C.

2.2.1.2. pH : Les résultats des analyses sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau N°39 : Les valeurs des pH dans la nappe CT.

Forages	Février 2008	Juin 2008
D41F83	7.31	7.39
D46F103	7.27	7.30
D47F24	7.32	7.24
D32F160	7.53	7.44
D34F136	7.01	7.25
D33F117	7.41	7.34
EL MEGHAIER	7.75	8.1
DJAMAA	7.7	7.9
SIDI AMRANE	8.3	8
Moyen	7.51	7.55

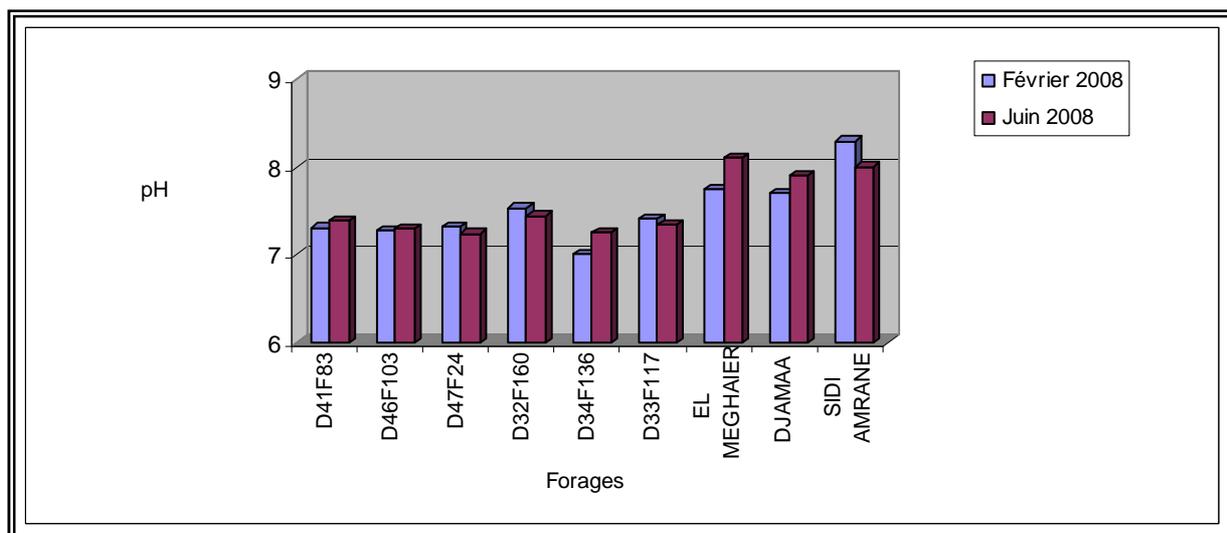


Fig.N°58: Histogramme des pH de la nappe CT.

2.2.1.3. Le potentiel d'oxydo réduction (Eh) :

Eh négatif presque dans toute la nappe CT, ce qui indique un milieu réducteur due probablement à la présence de bactéries réductrices.

2.2.1.4. Conductivité électrique : Les mesures sont effectuées pendant deux périodes Février 2008 et Juin 2008 pour le CT et le CI. Les mesures de la conductivité électrique sont présentées dans le tableau suivant :



Tableau N°40: Les valeurs de la conductivité électrique dans la nappe du CT.

Forages	Février 2008	Juin 2008
D41F83	5590	5130
D46F103	5470	5830
D47F24	4460	4290
D32F160	5400	6670
D34F136	4460	4470
D33F117	5580	5500
EL MEGHAIER	5470	5740
DJAMAA	5580	5430
SIDI AMRANE	5700	6000
Moyen	5301.11	5451.11

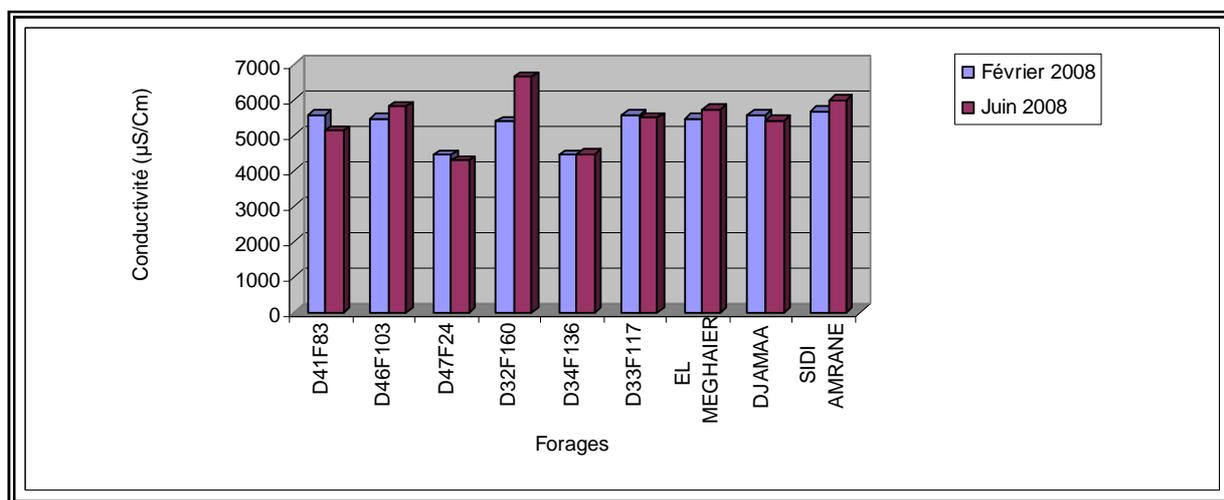


Fig .N°59: Histogrammes de la conductivité électrique de la nappe du CT.

La figure N°58 montre que la teneur de la conductivité dans la nappe du CT varie entre 4000 µS/cm et 7000 µS/cm.

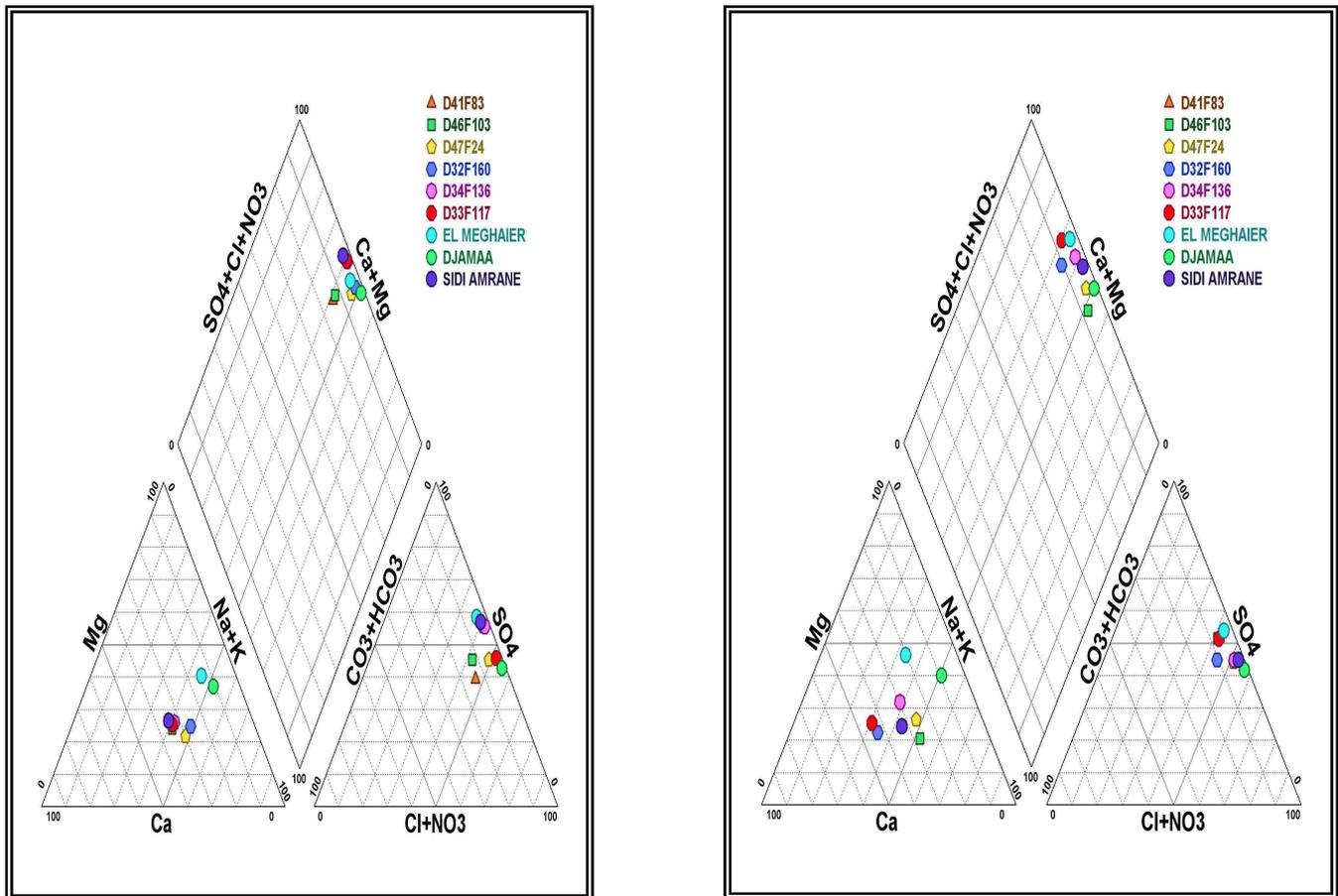
2.2.1.5. Dureté totale :

Dans la nappe du CI les eaux analysées présentent un $Th > 100^{\circ}f$.



2.2. Interprétations des analyses chimiques:

2.2.1 Détermination des faciès chimiques : Diagramme de Piper :



Février 2008

Juin 2008

Fig. N°60 : Diagramme de Piper pour les eaux de nappe CT.

La représentation de la concentration des éléments chimiques des différents points d'eau dans la nappe CT sur le diagramme de Piper (fig.n°59) pour la période de Février 2008 montre que la majorité des échantillons sont sulfatés sodiques.

Et pour la période Juin 2008 on a aussi un faciès chimique sulfaté sodique.

2.2.2. Cartographie hydro chimique :

2.2.2.1. Carte de répartition de calcium Ca^{2+} :

D'après la carte de la concentration du Ca^{2+} , de fortes teneurs qui dépassent la norme de l'OMS (50 mg/l) sont observées dans toute la région d'étude, ces teneurs varient de 292.5 à 621 mg/l (Février 2008) et de 240.5 à 445 mg/l (Juin 2008) en raison des engrais agricoles (fig.n° 61et 69).

2.2.2.2. Magnésium (Mg^{2+}): Ses origines sont comparables à celles du Calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en Mg^{2+} (magnésite, dolomite,...). Les teneurs oscillent entre 102 et 238 mg/l (Février 2008) et de 109 mg/l à 290 mg/l (fig.n°63 et 71).

2.2.2.3. Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+) : D'après les cartes des valeur de Na^+ et K^+ on remarque que les teneurs varient entre 450 et 625 mg/l (Février 2008) par contre en Juin 2008, comprises entre 500 et 900 mg/l (fig.n°62 et 70).

2.2.2.4. Chlorures (Cl^-) : La région est caractérisée par des concentrations fortes entre 856 à 1370 mg/l (Février 2008) et 414 et 1200 mg/l (fig.n°64 et 72).

2.2.2.5. Sulfates (SO_4^{2-}) : Les valeurs des Sulfates varient entre 1075 à 1650 mg/l (Février 2008) et 700 à 1500 mg/l pour Juin 2008. Ces très fortes teneurs par rapport à la norme (250 mg/l) peuvent avoir comme origine la légère solubilité des Sulfates des roches gypseuses. L'oxydation de la Pyrite et des autres sulfures métalliques (Fer, Nickel, Cuivre) réponsus dans les roches, l'anhydrite et d'autres sels sulfatés des évaporites (fig.n°65 et 73).

2.2.2.6. Les bicarbonates HCO_3^- : On remarquer des concentrations allant de 100 à 530 mg/l (Février 2008) et de 115 à 150 mg/l (Juin 2008) (fig.n°66 et74).

2.2.2.7. La conductivité électrique (CE) : Elle est fonction de la nature et de la concentration des ions en solution. La variabilité de ce paramètre est un signe primordial donnant de précieux renseignements sur l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau, elle permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, elle est en générale supérieure à 2200 $\mu S/Cm$ pour les deux compagnes (Février et Juin 2008) (fig.n°67 et 75).

2.2.2.8. Le résidu sec : Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110 °C. Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau.

D'après les cartes de variation du résidu sec on a de fortes valeurs pour les deux compagnes, qui varient entre 3.7 et 6 g/l (fig.n°68 et 76).

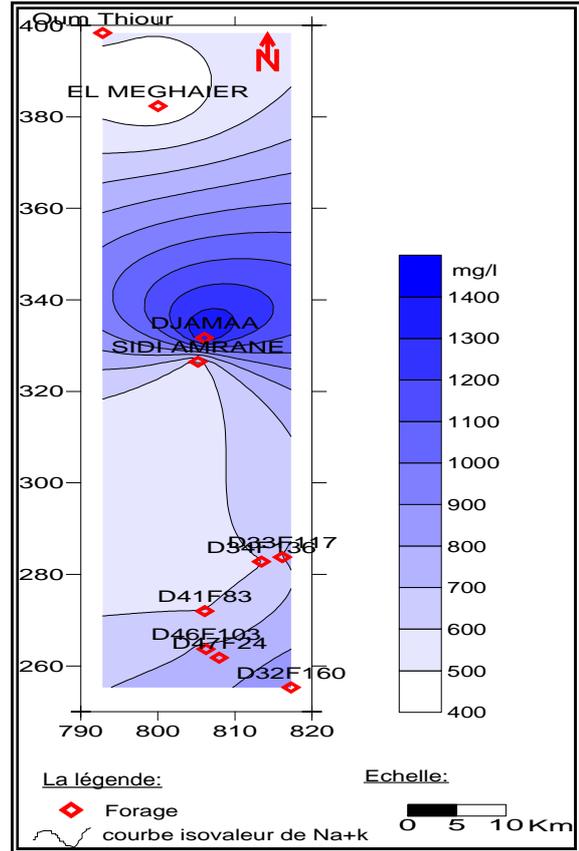
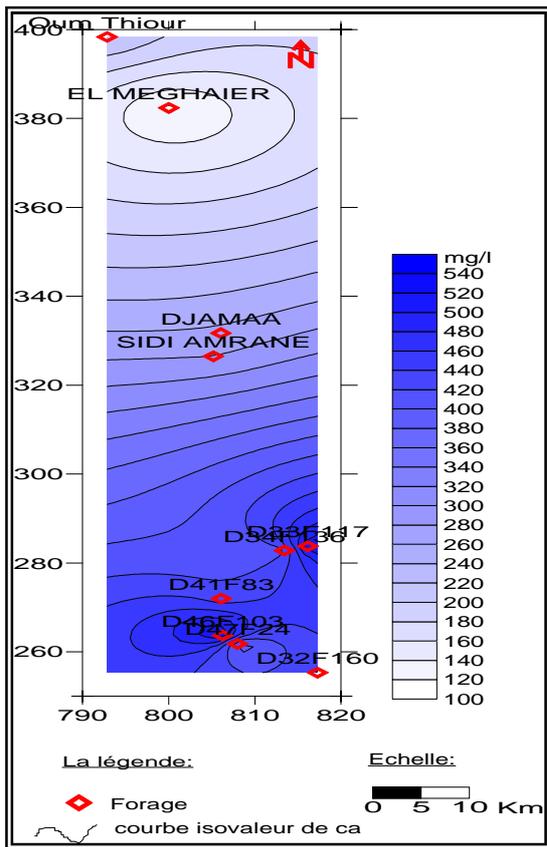


Fig. N°61 : Carte des valeurs de Ca (Février 2008)

Fig. N°62 : Carte des valeurs de (Na+K) (Février 2008)

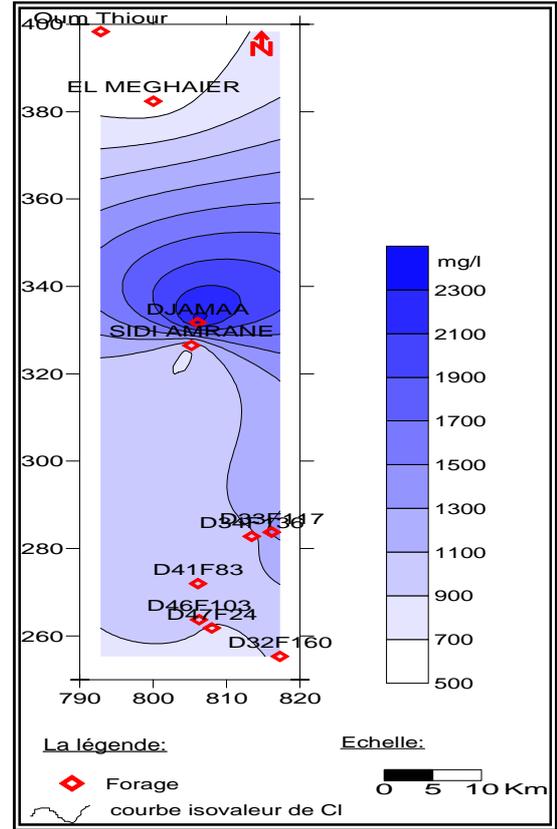
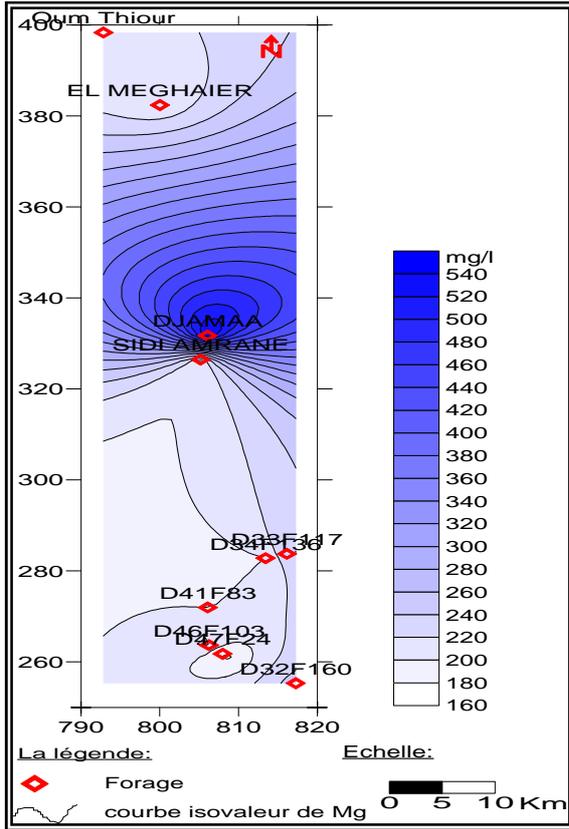
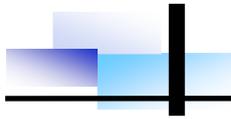


Fig.

N°63 : Carte des valeurs de Mg (Février 2008)

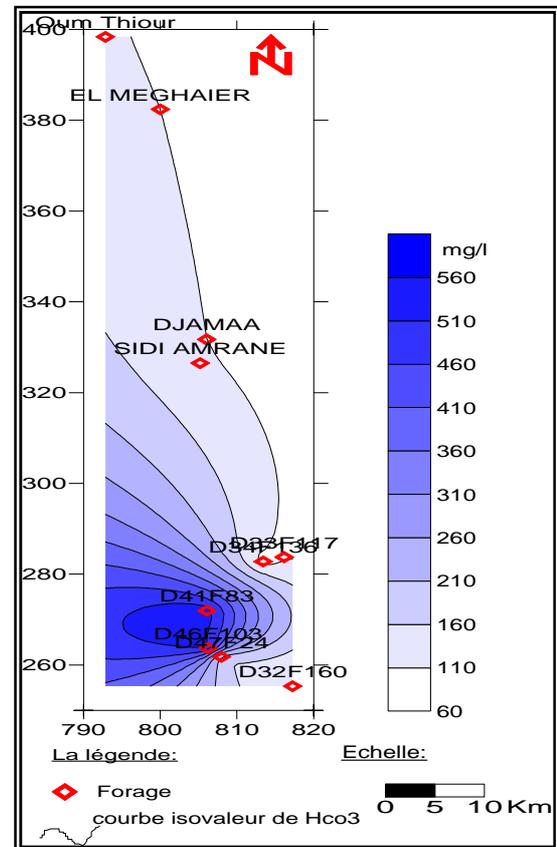
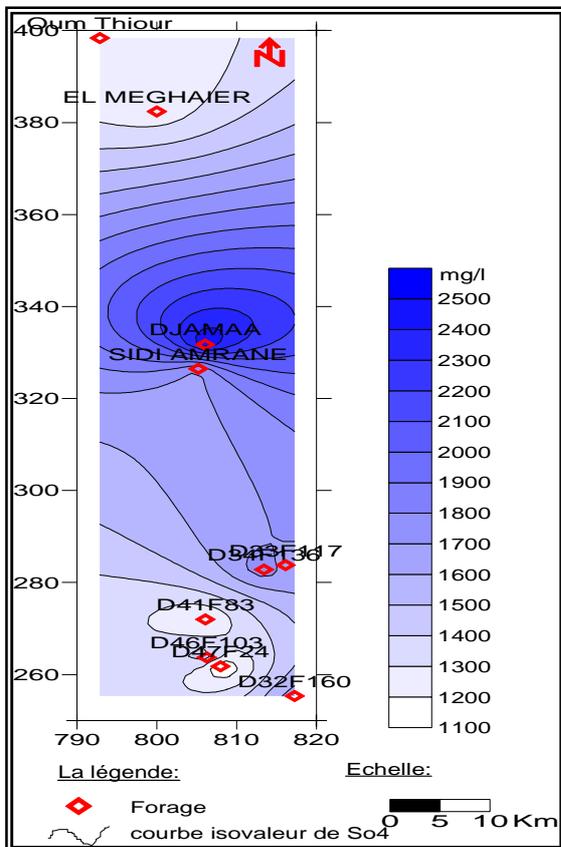


Fig. N°64 : Carte des valeurs de Hco3 (Février 2008)

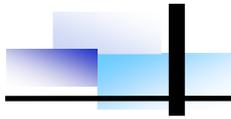


Fig.N°65 : Carte des valeurs de So_4 (Février 2008)

Fig. N°66 : Carte des valeurs de Hco_3 (Février 2008)

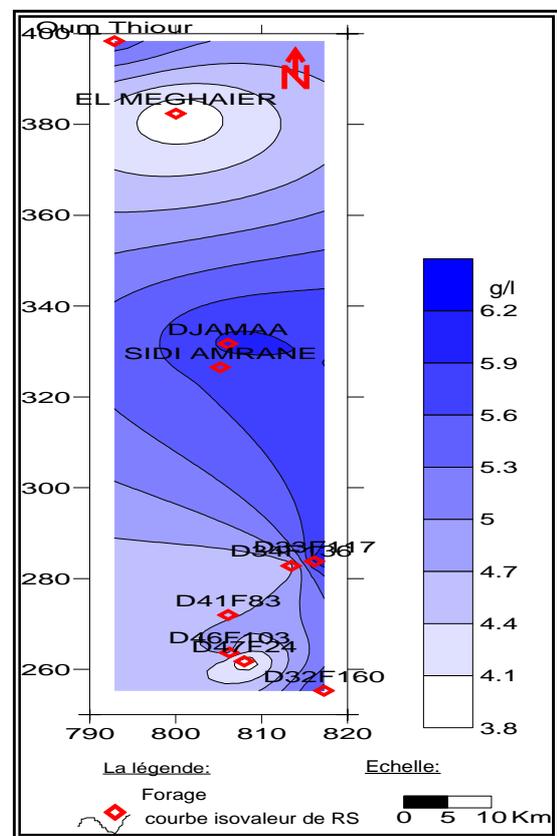
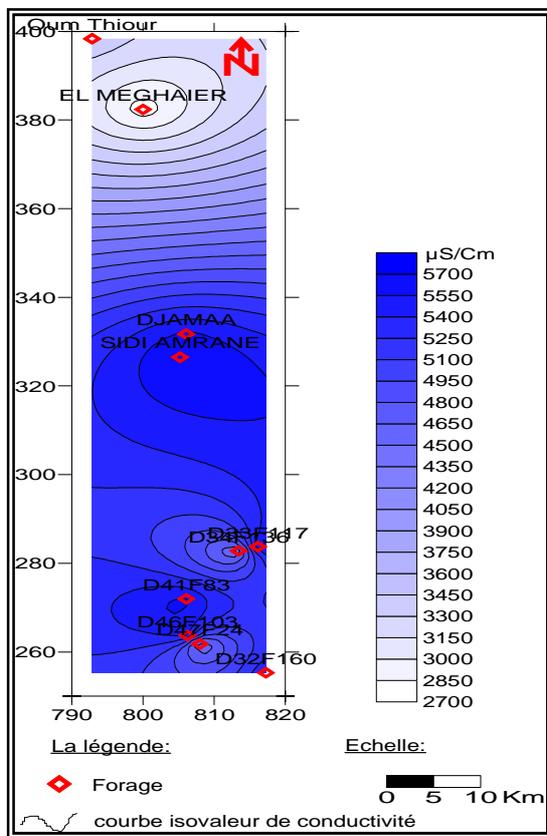


Fig. N°68 : Carte des valeurs de CE (Février 2008)

Fig. N°67 : Carte des valeurs RS (Février 2008)

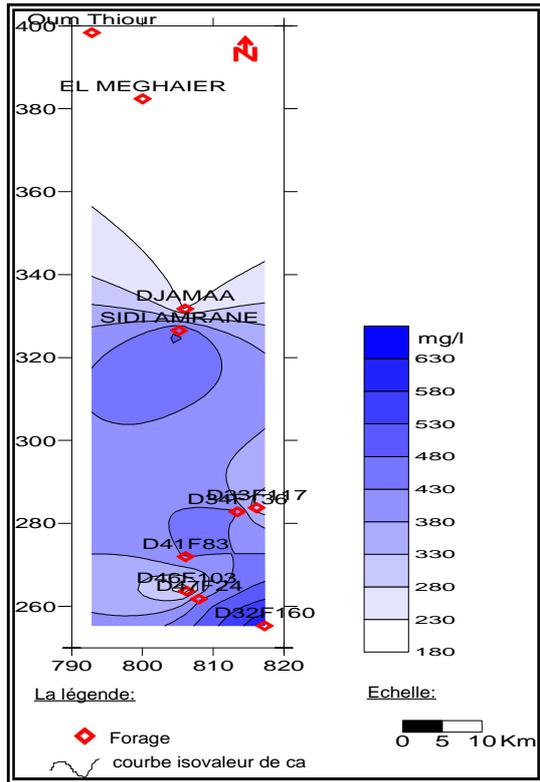
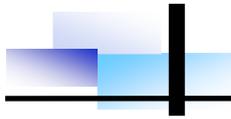


Fig. N°69 : Carte des valeur de Ca (Juin 2008)

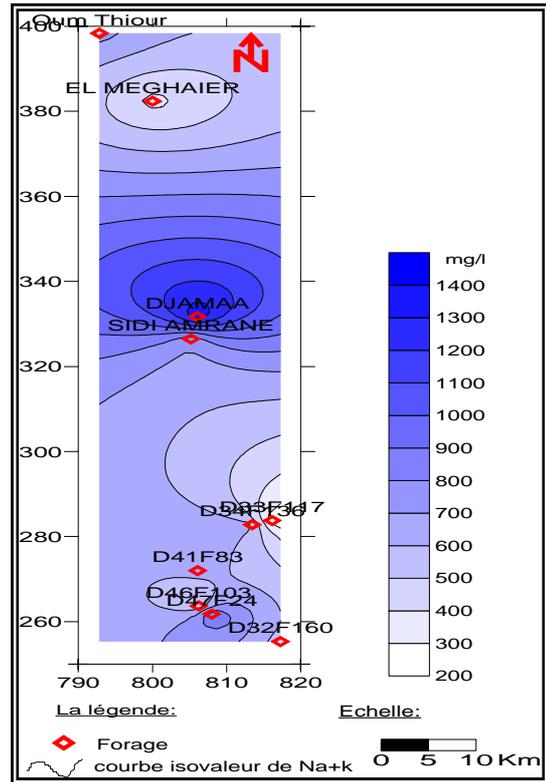


Fig. N°70 : Carte des valeurs de (Na+K) (Juin 2008)

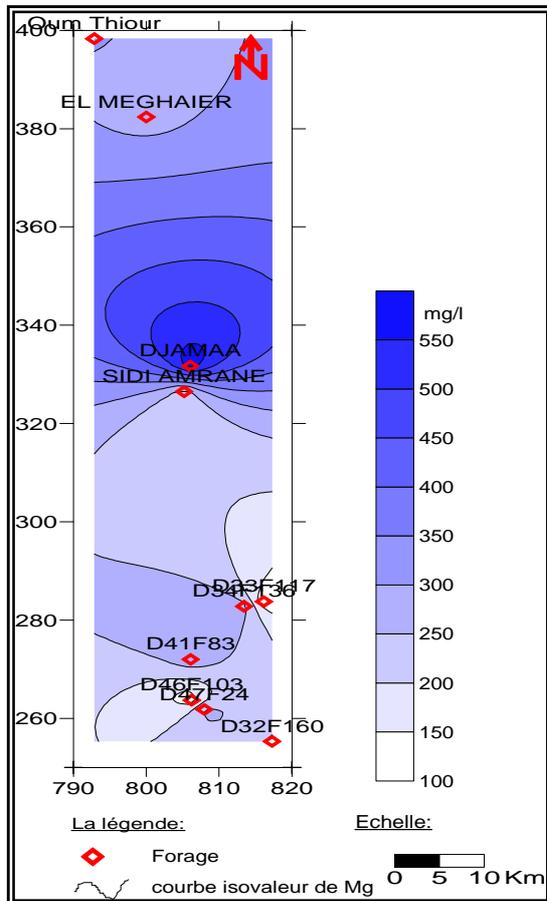


Fig. N°71 : Carte des valeurs de Mg (Juin 2008)

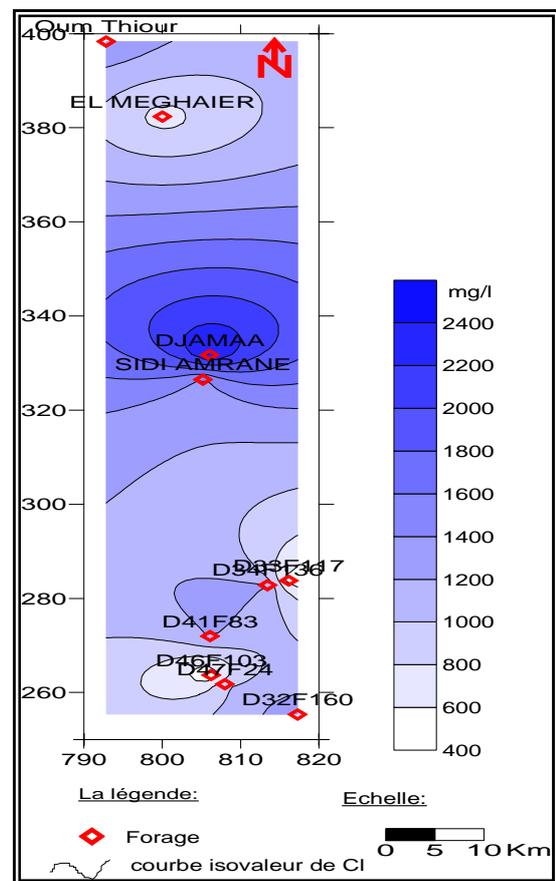


Fig. N°72 : Carte des valeurs de Cl (Juin 2008)

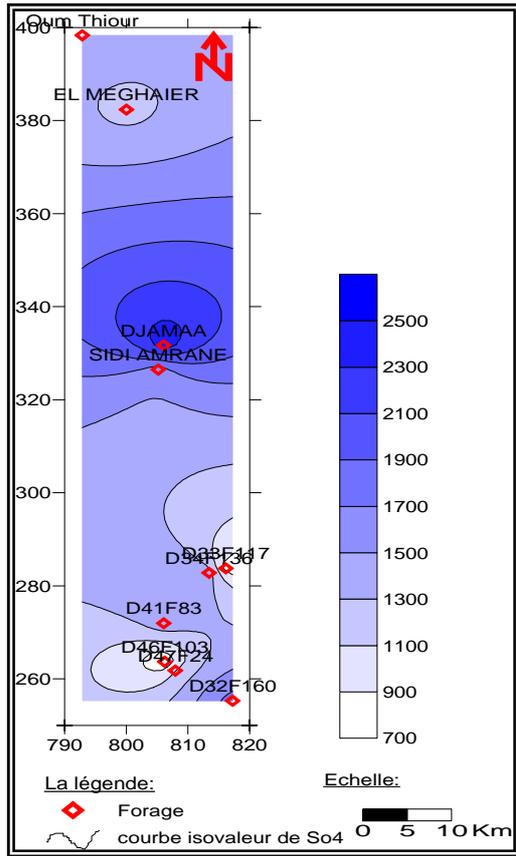


Fig. N°73 : Carte des valeurs de So_4 (Juin)

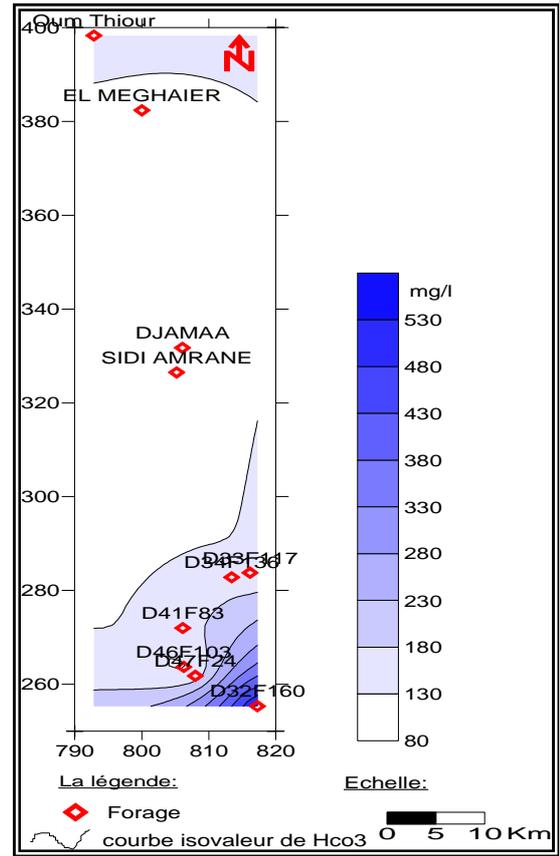


Fig. N°74 : Carte des valeurs de Hco_3 (Juin 2008)

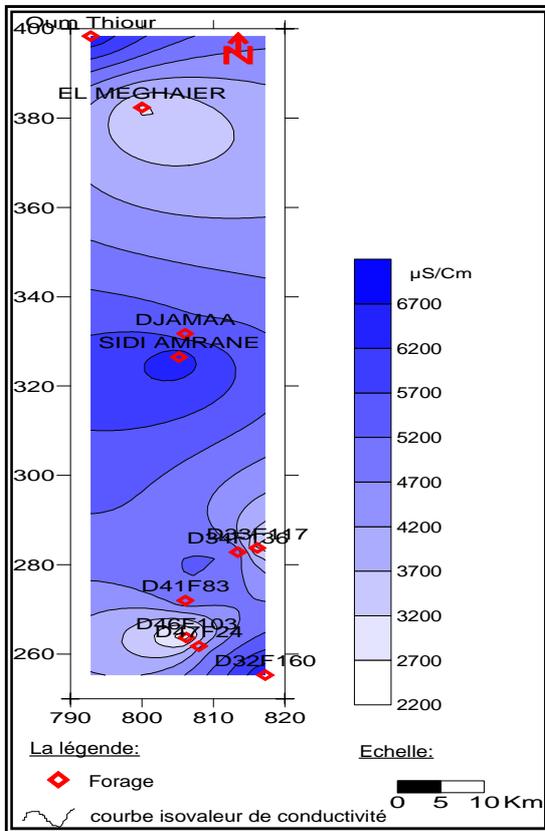


Fig. N°75 : Carte des valeurs de CE (Juin 2008)

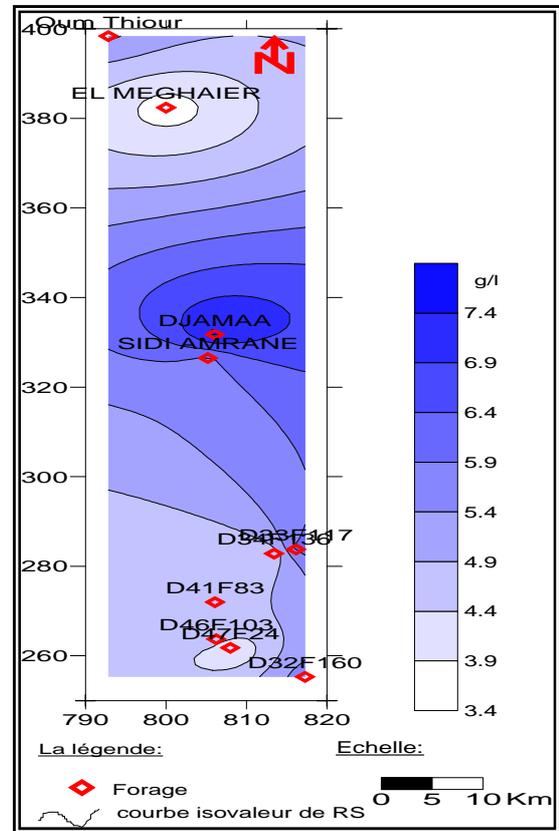


Fig. N°76 : Carte des valeurs de RS (Juin 2008)

2.2.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :

L'utilisation des eaux pour l'irrigation requiert des qualités spécifiques et pour aborder ce problème on a utilisé la méthode de Riverside et de Wilcox pour les deux périodes (Février 2008 et Juin 2008).

Les diagrammes de Riverside et de Wilcox montrent que l'eau de la nappe du CT est très salée et elle est de mauvaise qualité pour l'irrigation.

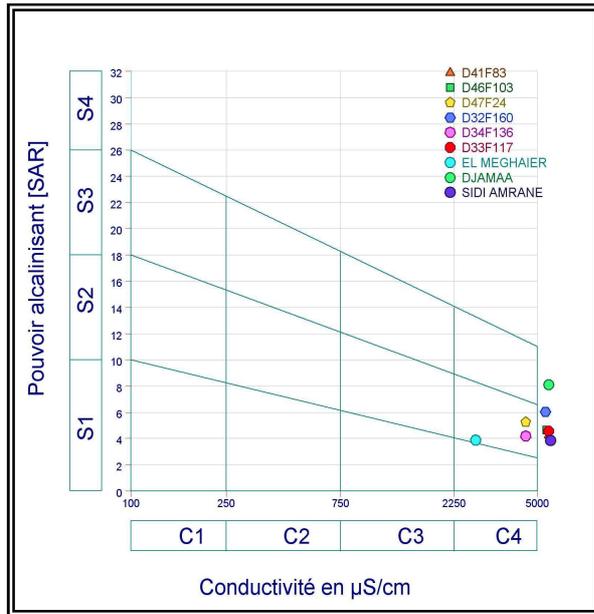


Diagramme Wilcox

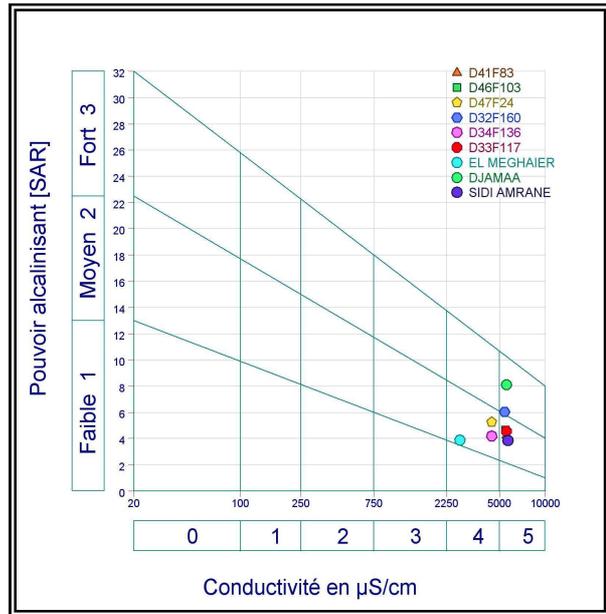


Diagramme Riverside

Fig. N°77 : Diagramme de Riverside et de Wilcox pour la nappe du CT (Février 2008).

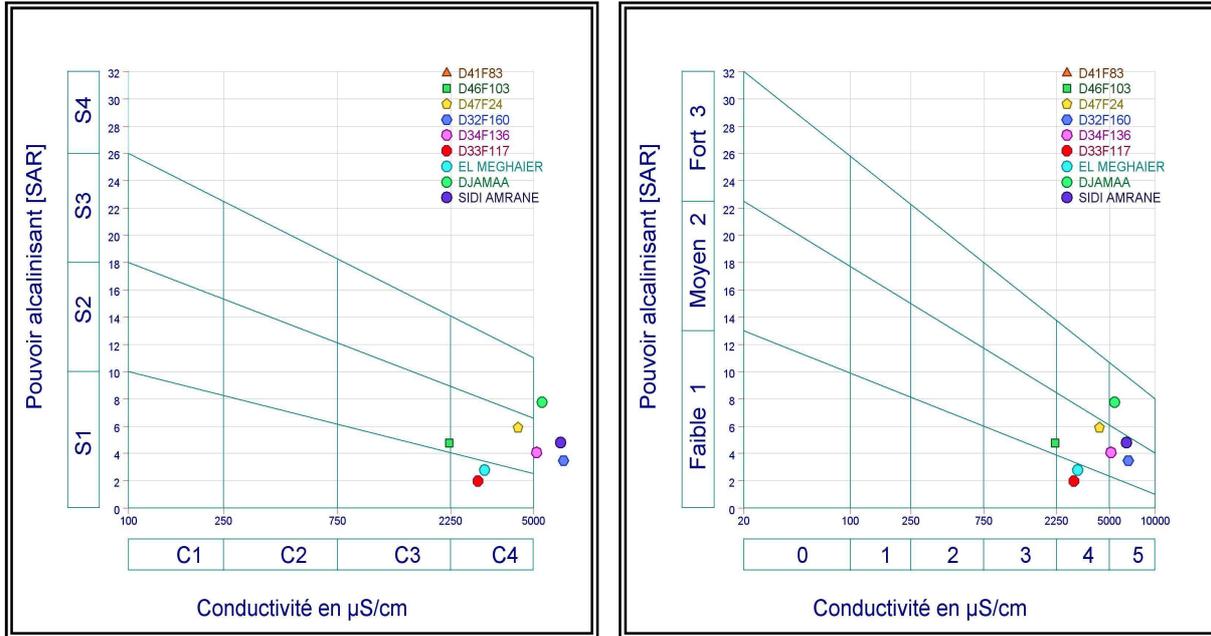


Diagramme Wilcox

Diagramme Riverside

Fig. N°78 : Diagramme de Riverside et de Wilcox pour la nappe du CT (Juin 2008).

2.2.4. Les paramètres de pollution :

Le développement urbain, agricole et industriel entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'azote, surtout celles des nitrates, en raison de leur grande solubilité et de leur faible affinité aux échanges ioniques (Macko et Ostrom, 1994 Stumm et Morgan, 1996). Les autres formes de l'azote apparaissent seulement dans des conditions réductrices.

2.2.4.1. Les nitrates NO₃⁻ : Les nitrates NO₃⁻ représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques. Dans le cas de la nappe du CT. Les teneurs maximales en nitrates sont observées au Nord de la vallée de l'oued Righ ,17 mg/l au Sidi Amrane (Février 2008) et 16.5 mg/l (Juin 2008).

La valeur guide étant de 50 mg/l, tous les échantillons ayant une concentration qui ne dépassent pas cette valeur indiquent l'absence de la pollution de l'eau (fig n°79).

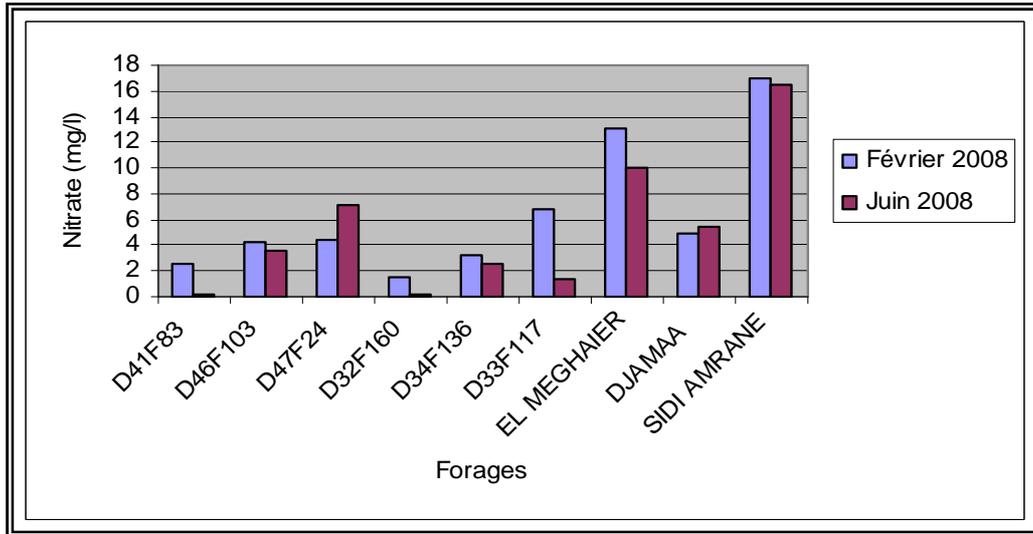


Fig. N°79 : le concentration des nitrates dans les eaux de la nappe du CT (Fév et Juin 2008).

2.2.4.2. Les nitrites NO_2^- : Les nitrites ou l'azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. Tous les échantillons ont une concentration supérieure à la norme (0.1 mg/l selon OSEC Suisse). Les valeurs les plus élevées sont observées au Sud de la vallée de l'oued Righ (5 mg/l au Forage D46 F103 et 0.3 mg/l au Forage d'El Meghaier). Elles sont dues à l'effet de réduction de la forme des nitrates (Fig. N°80).

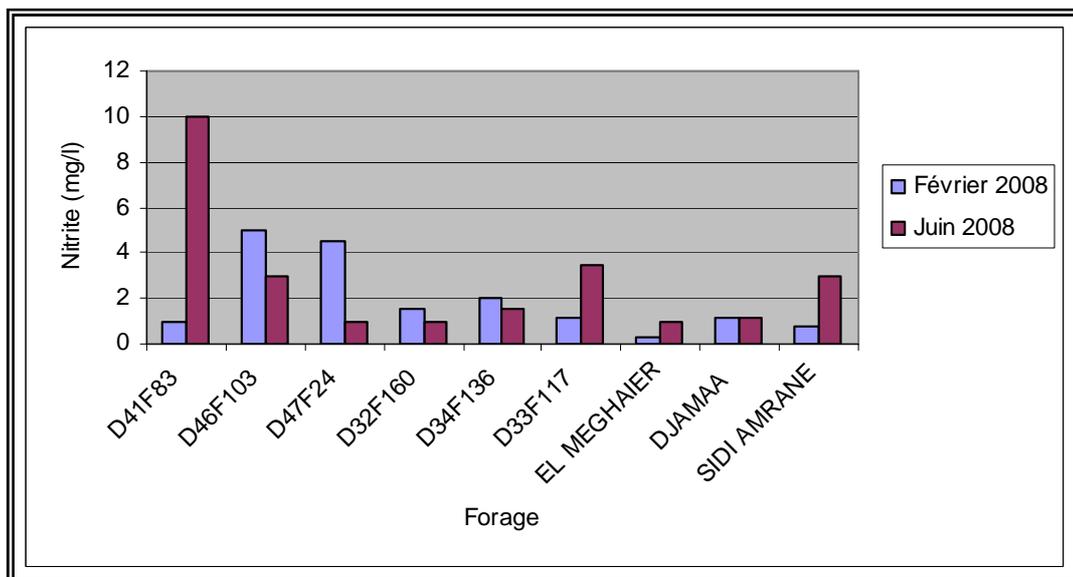


Fig. N°80: le concentration des nitrites dans les eaux de la nappe du CT (Fév et Juin 2008).

2.2.4.3. Cycle de l'azote : Le transfert de l'azote dans le sol se fait selon les conditions d'oxydoréduction et les réactions biologiques (Fig.81).

Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation, cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en CO_2 et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau.

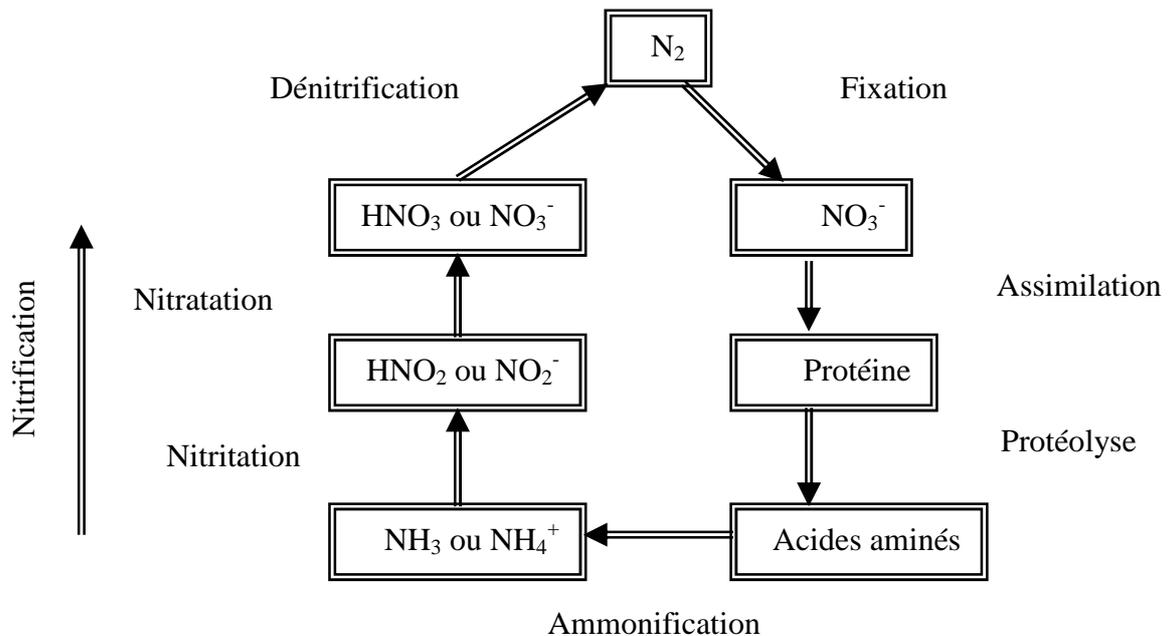


Fig. N°81: Cycle de l'azote

2.2.4.4. L'ammonium NH_4^+ : Les concentrations en ammonium fournissent des informations sur la pollution des eaux suite au déversement des eaux usées ménagères ou à l'érosion et lessivage des sols agricoles.

Les valeurs d'ammonium ne dépassent pas la norme 0.5 mg/l, la plus forte valeur observée est de 0.02 mg/l au forage D41F83 et d'EL Meghaier (Février 2008), et de 0.05 mg/l au forage D41F83 (Juin 2008) Fig. N°82.

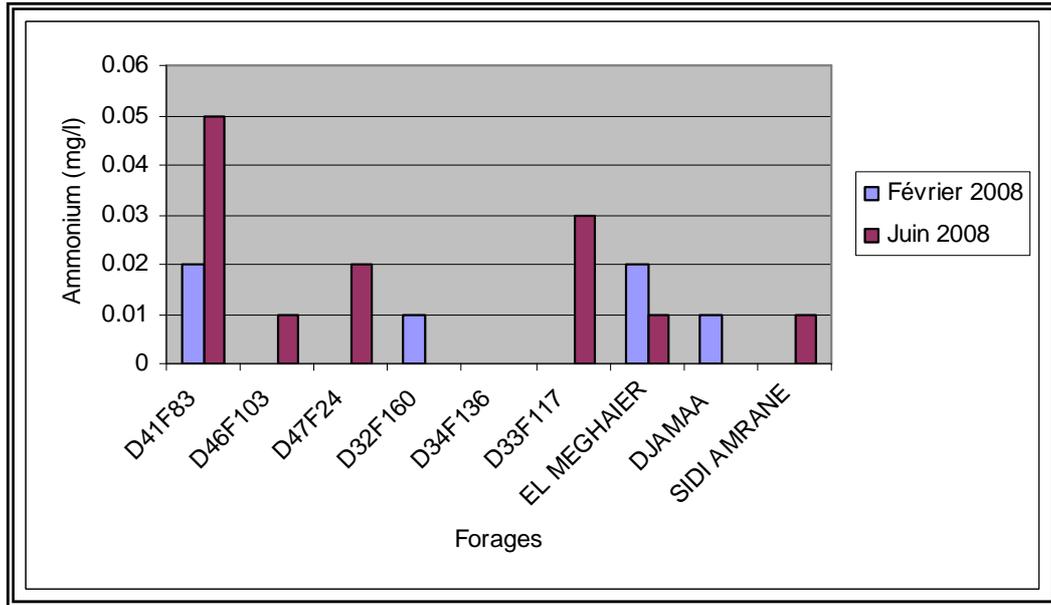
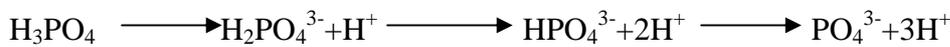


Fig. N°82 : le concentration de l'ammonium dans les eaux de la nappe du CT (Fév et Juin 2008).

2.2.4.5. Les phosphates (PO_4^{3-}) : Les phosphates peuvent se trouver sous différentes formes oxydées, méta HPO_3 , pyro $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ et ortho H_3PO_4 en milieux aqueux. Les formes méta et pyro tendent vers la forme ortho pour des pH de 5 à 8. Les réactions chimiques entre les différentes formes des phosphates sont données par :



Les fortes concentrations sont observées aux forages D47F24 et El Meghaier (0.17 mg/l en PO_4^{3-}) (Février 2008) et D32F160 (0.36 mg/l), (Juin 2008).

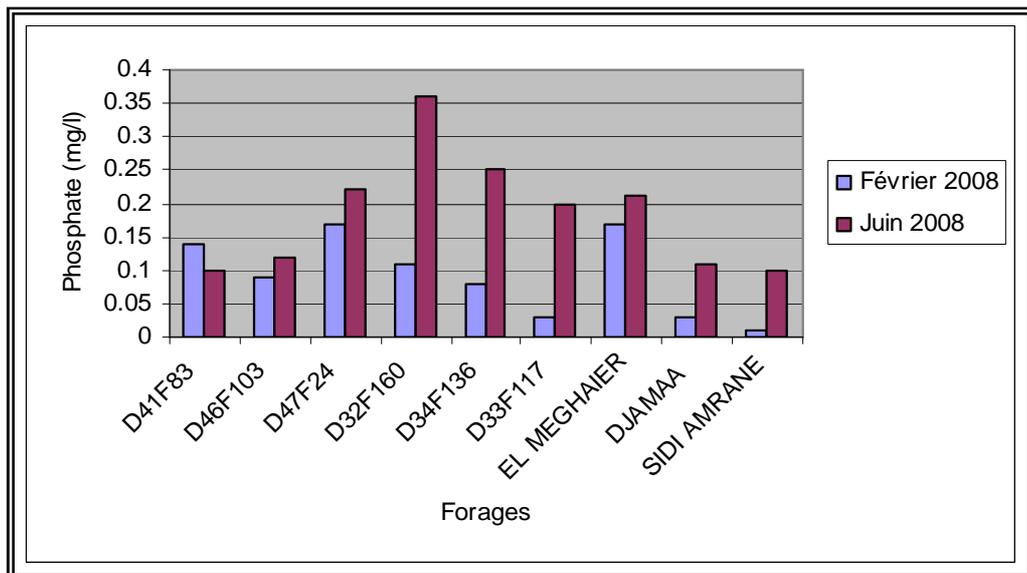


Fig. N°83 : la concentration des phosphates dans les eaux de la nappe du CT (Fév et Juin 2008).

2.2.5. Eléments métalliques en traces :

2.2.5.1. Fer total (Fe) : cet élément chimique est souvent rencontré dans la nature. La présence du fer dans l'eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, artificielle par les industries (métallurgiques, sidérurgique). Dans le cas de la vallée de l'oued Righ les concentrations en fer dans les eaux souterraines sont souvent faibles et ne dépassent pas la norme (0.3 mg/l) dans plusieurs forages (Février 2008) sauf le forage D32F160 (1.15 mg/l). Elle varient entre 0.08 mg/l à 1.15 mg/l (Février 2008). Par contre elles dépassent la norme dans les forages D41F24 (0.31 mg/l) et D32F160 (0.51 mg/l) pour la campagne de Juin 2008 Fig. N°84.

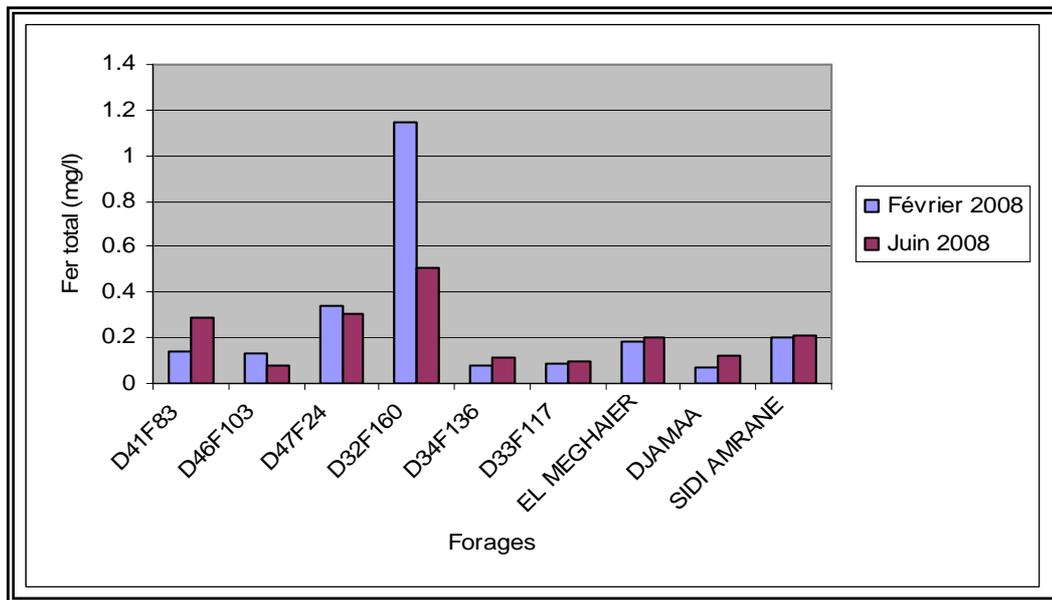


Fig. N°84 : la concentration du Fer total dans les eaux de la nappe du CT (Fév et Juin 2008).

2.2.5.2. Le Fluor (F⁻) : Cet élément dépasse la norme (2 mg/l) dans les forages de Djamaa (2.05 mg/l) et D34F136 (2.02 mg/l) en Février 2008, par contre en Juin 2008 on remarque la plus forte valeur qui dépasse la norme au forage D3F117 avec une valeur de 2.25 mg/l.

Et pour les autres forages la concentration du Fluor ne dépasse pas les normes (Février 2008 et Juin 2008).

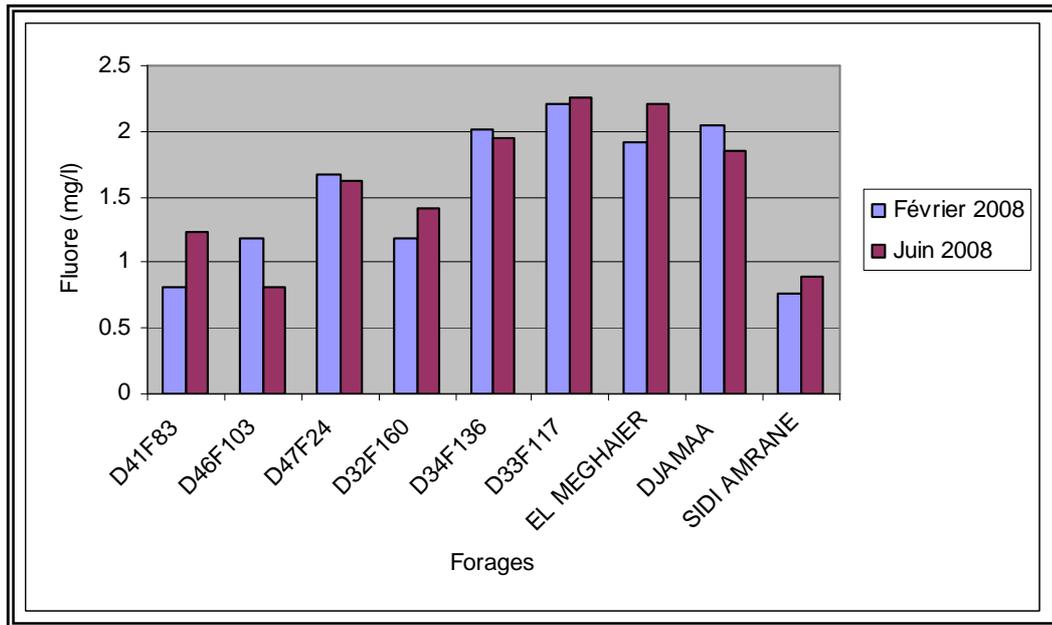


Fig. N°85 : la concentration du Fluor dans les eaux de la nappe du CT (Fév et Juin 2008).

2.3. Nappe Continental Intercalaire (CI) :

2.3.1. Paramètres physiques :

2.3.1.1. La Température: La température moyenne des eaux de la nappe phréatique est de l'ordre de 30°C, et celle de l'air est de 30°C.

2.3.1.2. pH : Les résultats des analyses sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau N°41 : Les valeurs du pH dans la nappe du CI.

Forages	Février 2008	Juin 2008
D34FA3	7.32	7.31
D34FA2	7.33	7.94
AIN SAHRA	7.24	7.45
D30F1	7.31	7.45
D46FA1	7.34	7.15
D25F1	7.36	7.59
EL MEGHAIER	7.8	7.7
DJAMAA	7.7	7.9
SIDI AMRANE	7.9	8.3
Moyen	7.47	7.64

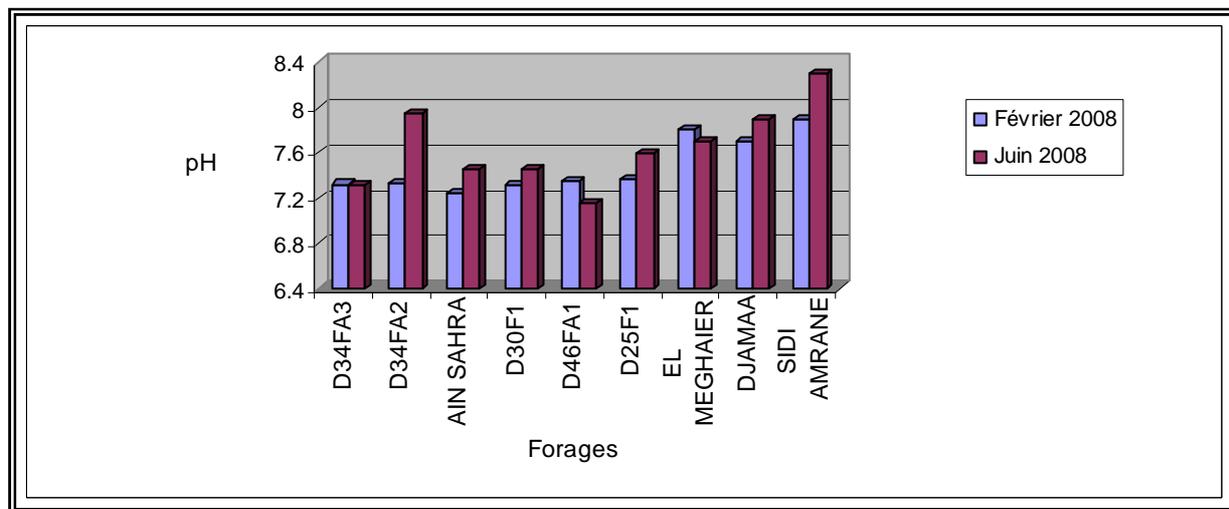


Fig.N°86: Histogramme des valeurs du pH de la nappe du CI.

2.3.1.3. Le potentiel d'oxydo réduction (Eh) :

Eh négatif presque dans toute la nappe du CI, ce qui indique un milieu réducteur due probablement à la présence des bactéries réductrices.

2.3.1.4. Conductivité électrique : Les mesures de la conductivité électrique sont présentées dans le tableau suivant :



Tableau N°42: Les valeurs de conductivité électrique dans la nappe du CI.

Forages	Février 2008	Juin 2008
D34FA3	2760	2420
D34FA2	2980	2800
AIN SAHRA	2910	2800
D30F1	3030	2850
D46FA1	2340	2800
D25F1	2730	2800
EL MEGHAIER	3110	3990
DJAMAA	2930	3100
SIDI AMRANE	2875	2950
Moyen	2851.66	2945.55

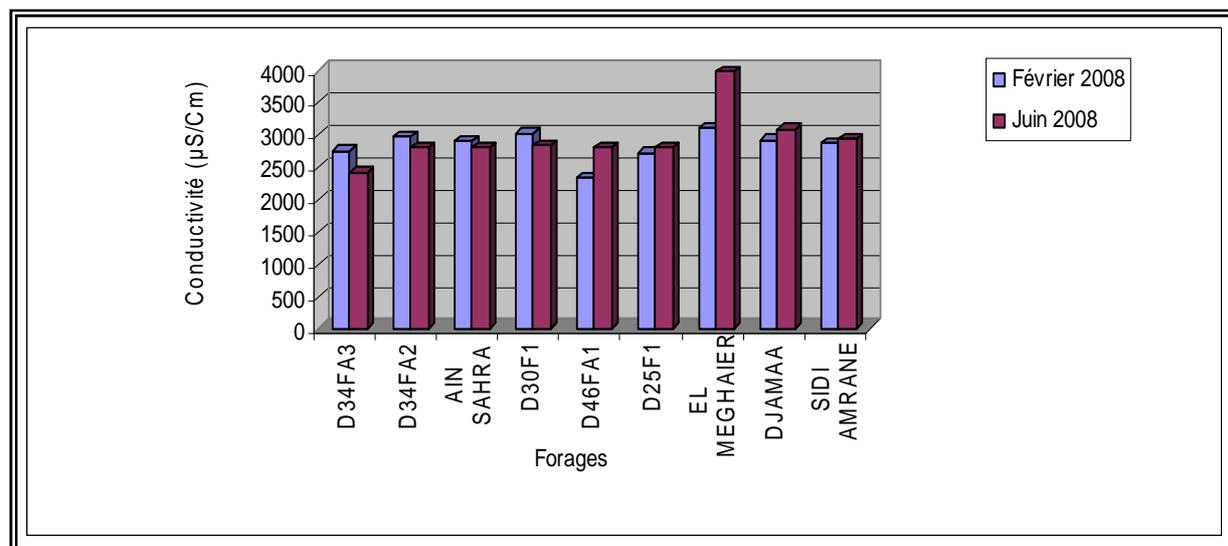


Fig.N°87: Histogramme de la conductivité électrique de la nappe du CI.

D'après la fig.n° 86 la valeur de la conductivité électrique dans la nappe du CI comprise entre 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.3.1.5. Dureté totale :

Dans la nappe du CI les eaux analysées présentent un $\text{Th} > 100^\circ\text{f}$.

2.3.2. Interprétations des analyses chimiques:

2.3.2.1. Détermination des faciès chimiques : Diagramme de Piper.

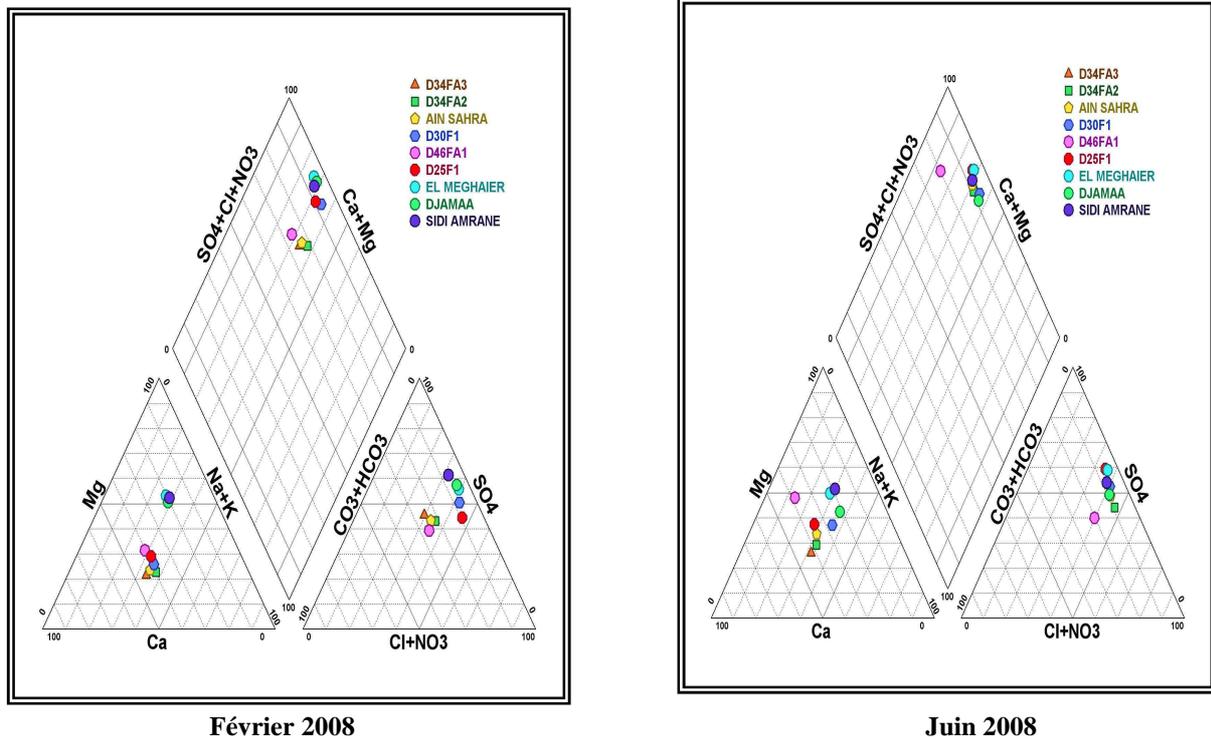


Fig. N°88 : Diagramme de Piper pour les eaux de nappe du CI.

La représentation de la concentration des éléments chimiques des différents points d'eau dans nappe du CI sur le diagramme de Piper (fig.n°88) pour la période Février 2008 et Juin 2008 montre que la majorité des échantillons sont sulfatés calciques.

2.3.2.2. Cartographie hydro chimique :

2.3.2.2.1. Carte du calcium Ca^{2+} : D'après la carte de la concentration du Ca^{2+} , de fortes teneurs qui dépassent la norme de l'OMS (50 mg/l), sont observées dans toute la région d'étude. Ces teneurs varient de 232 à 268 mg/l (Février 2008) et de 224 à 276 mg/l (Juin 2008) en raison des engrais agricoles (fig.n°89 et 97).

2.3.2.2.2. Magnésium (Mg^{2+}): Ses origines sont comparables à celles du Calcium, il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en Mg^{2+} (magnésite, dolomite,...). Les teneurs oscillent entre 75 et 109 mg/l (Février 2008) et de 102 mg/l à 369 mg/l (fig.n°91 et 99).

2.3.2.2.3. Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+) : D'après les cartes des valeurs de Na^+ et K^+ on remarque que les teneurs varient entre 170 et 260 mg/l (Février 2008) par contre en Juin 2008, elles sont comprises entre 175 et 320 mg/l (fig.n°90 et 98).

2.3.2.2.4. Chlorures (Cl^-) : La région est caractérisée par des concentrations fortes entre 345 à 541 mg/l (Février 2008) et 417 et 1191 mg/l (Juin 2008) (fig.n°92 et 100).

2.3.2.2.5. Sulfates (SO_4^{2-}) : Les valeurs des Sulfates varient entre 625 à 875 mg/l (Février 2008) et 450 à 1625 mg/l pour Juin 2008. Ces très fortes teneurs par rapport à la norme (250 mg/l) peuvent avoir comme origine la légère solubilité des Sulfates des roches gypseuses. (fig.n°93 et 101).

2.3.2.2.6. Les bicarbonates HCO_3^- : On remarque des concentrations allant de 161 à 602 mg/l (Février 2008) et de 140 à 172 mg/l (Juin 2008) (fig.n°94 et 102).

2.3.2.2.7. La conductivité électrique (CE) : Elle est fonction de la nature et de la concentration des ions en solution. La variabilité de ce paramètre est un signe primordial donnant de précieux renseignements sur l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau, elle permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau, elle est en générale supérieure à 2200 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ pour les deux compagnes (Février et Juin 2008) (fig. n°95 et 103)

2.3.2.2.8. Le résidu sec : Le résidu sec correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau après évaporation à 110 °C. Elle donne une idée sur la minéralisation globale de l'eau. D'après les cartes de variation du résidu sec on a de fortes valeurs pour les deux compagnes et qui varient entre 1.9 et 2.5 g/l (fig.n°96 et 104).

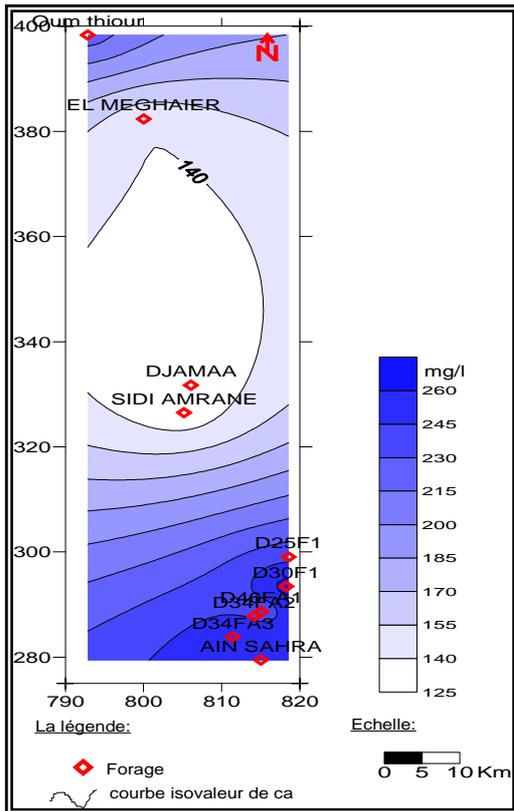


Fig. N°89 : Carte des valeurs de Ca (Février 2008)

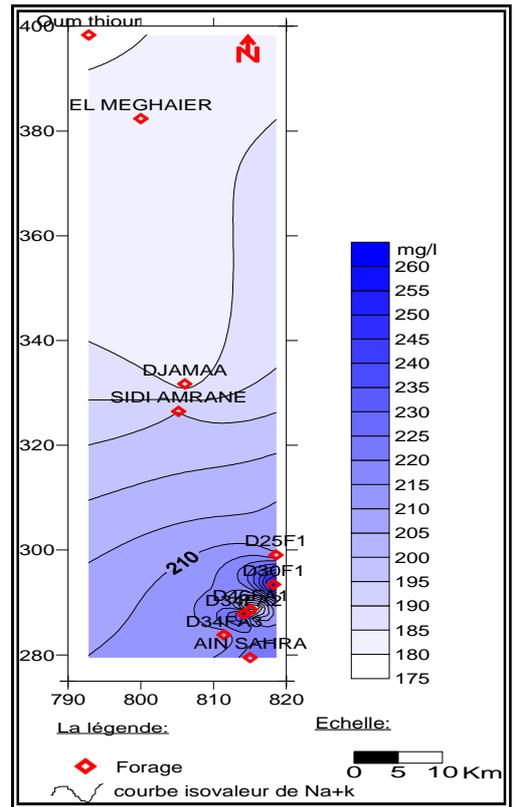


Fig. N°90 : Carte des valeurs de (Na+K) (Février 2008)

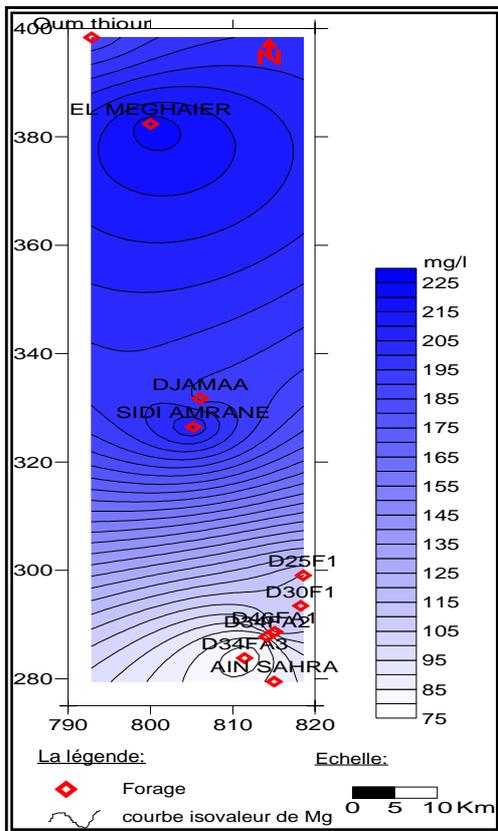


Fig. N°91 : Carte des valeurs de Mg (Février 2008)

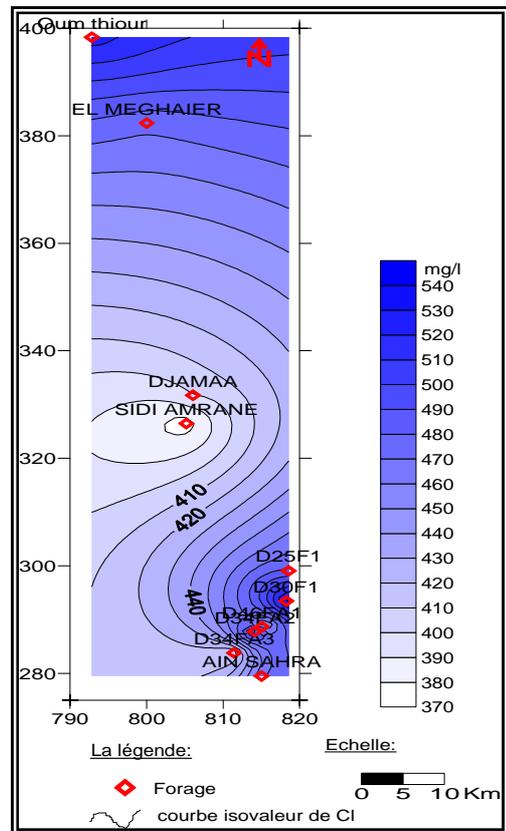


Fig. N°92 : Carte des valeurs de Cl (Février 2008)

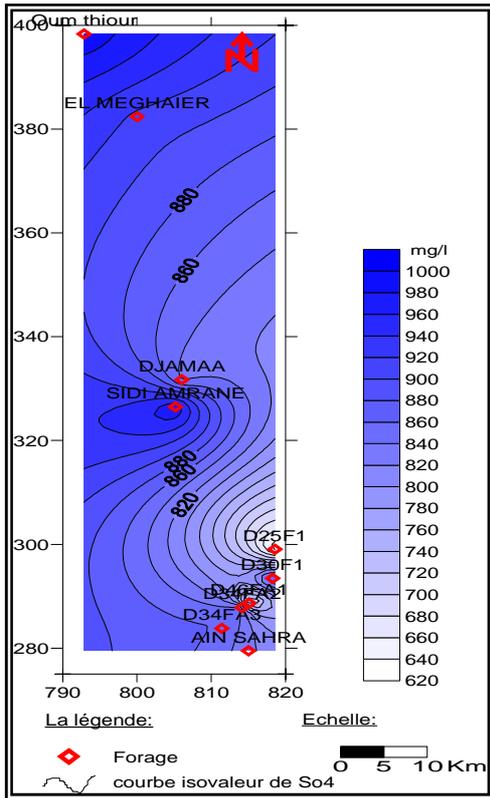
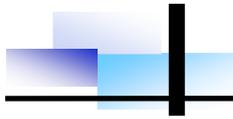


Fig. N°93 : Carte des valeurs de So_4 (Février 2008)

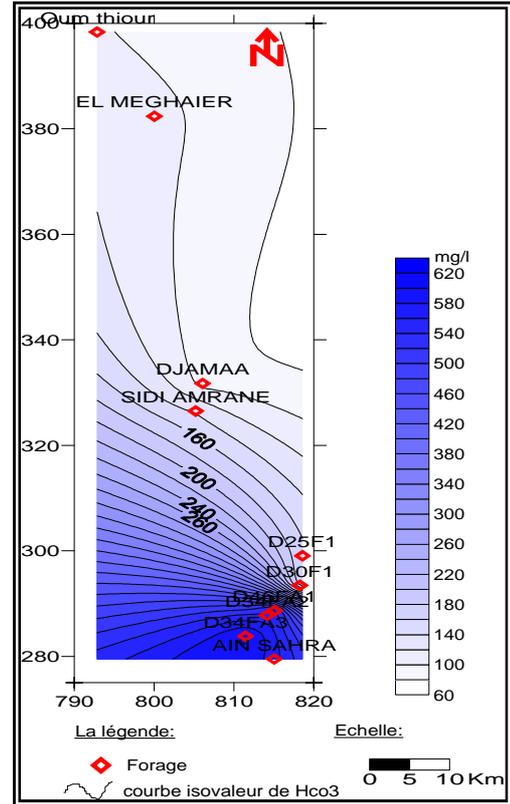


Fig. N°94 : Carte des valeurs de Hco_3 (Février 2008)

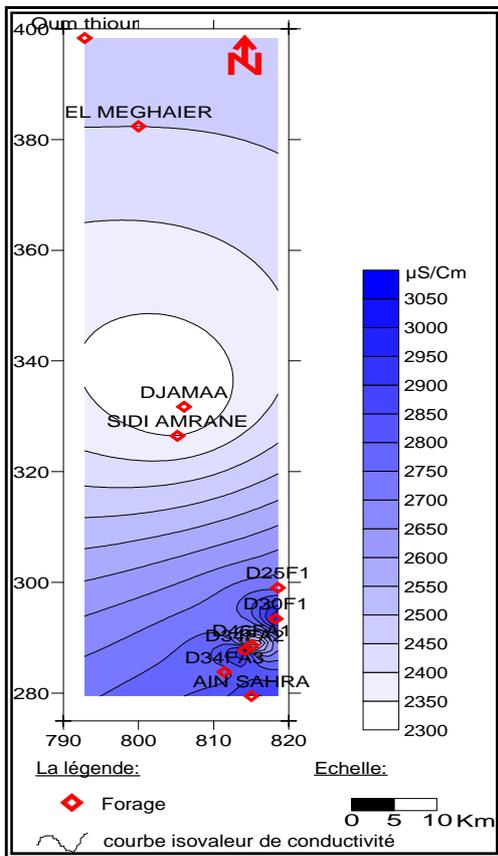


Fig. N°95 : Carte des valeurs de CE (Février 2008)

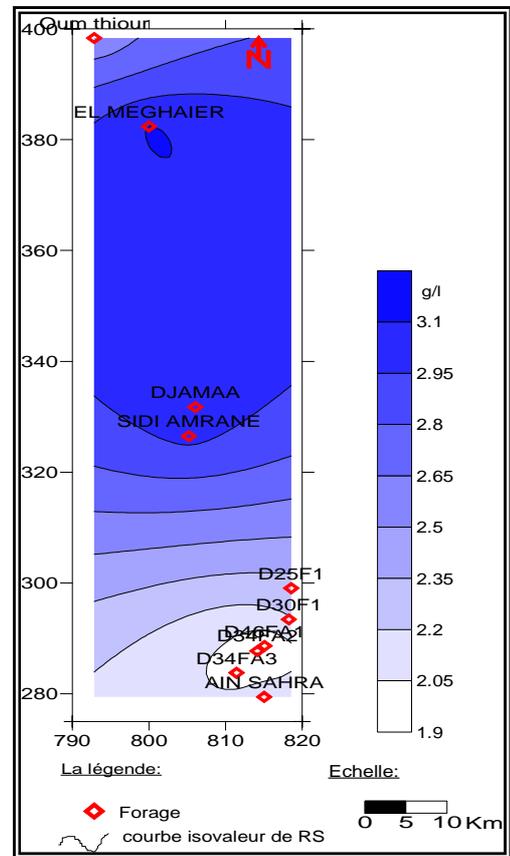


Fig. N°96 : Carte des valeurs de RS (Février 2008)

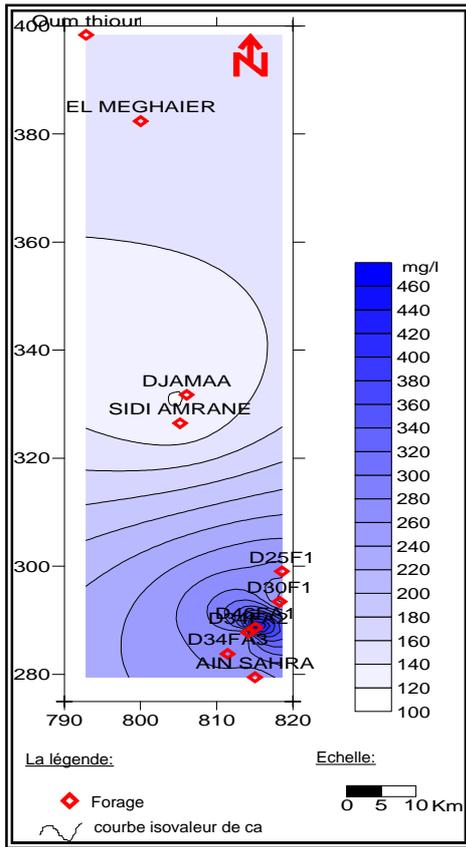


Fig. N°97 : Carte des valeurs de Ca (Juin 2008)

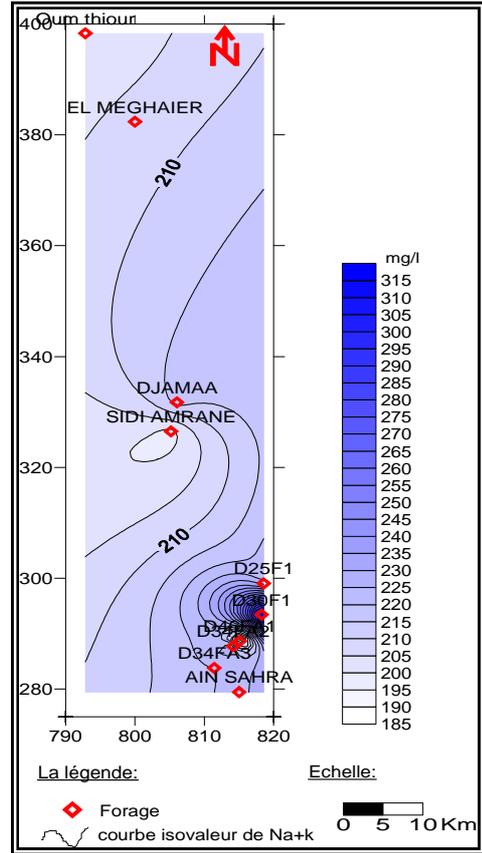


Fig. N°98 : Carte des valeurs de (Na+K) (Juin 2008)

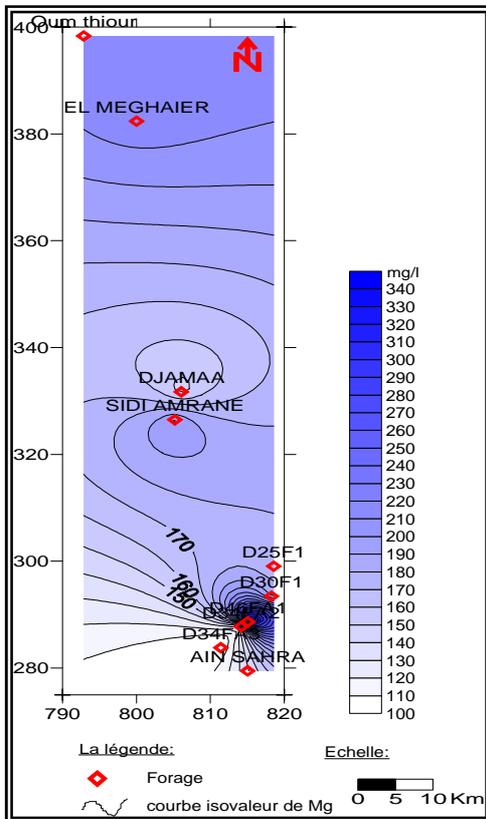


Fig. N°99 : Carte des valeurs de Mg (Juin 2008)

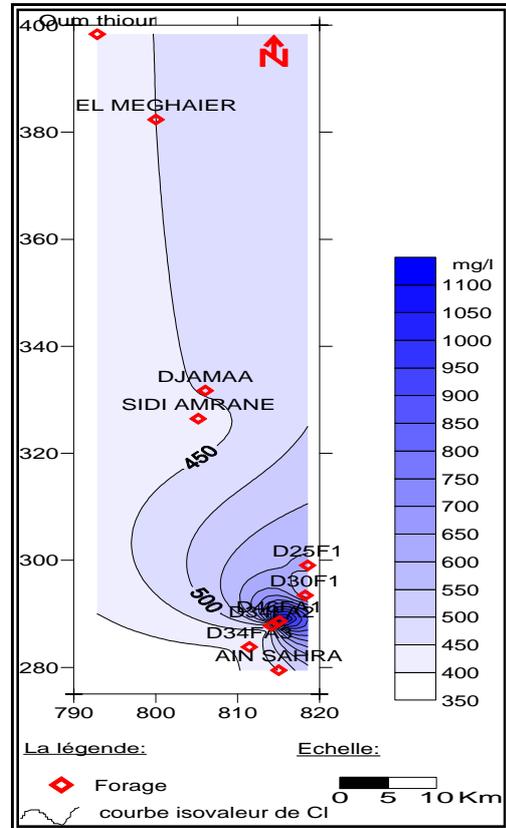


Fig. N°100 : Carte des valeurs de Cl (Juin 2008)

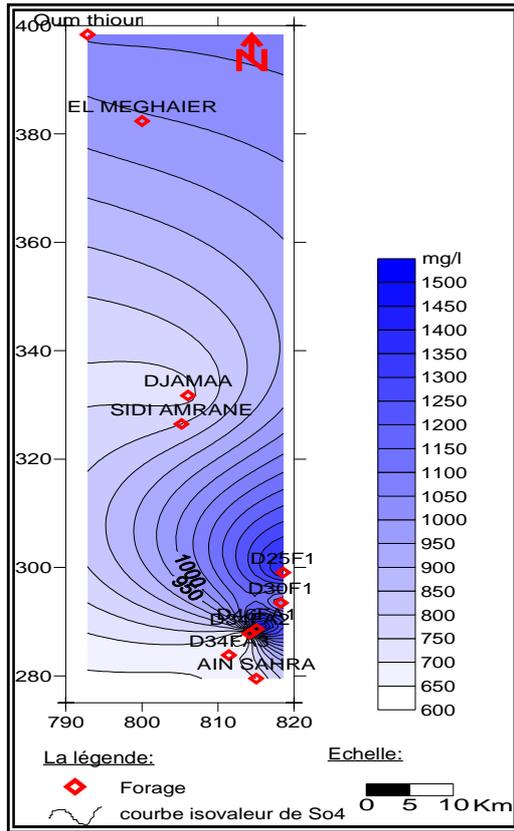


Fig. N°101 : Carte des valeurs de So_4 (Juin 2008)

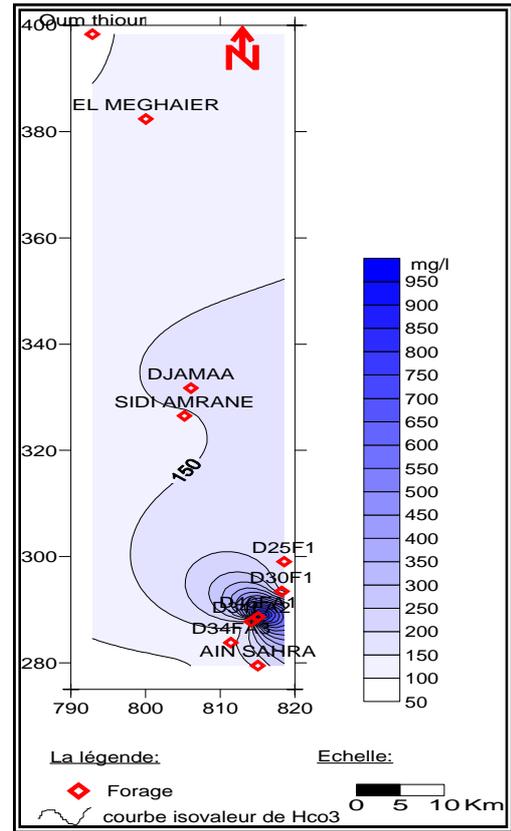


Fig. N°102 : Carte des valeurs de Hco_3 (Juin 2008)

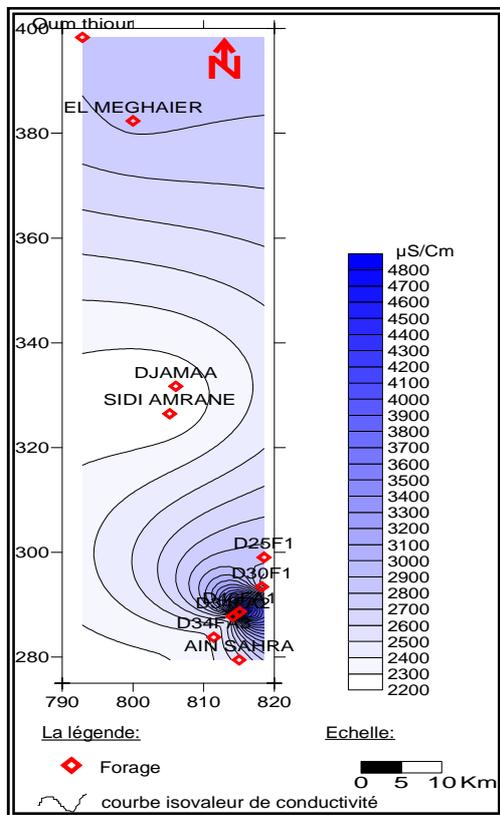


Fig. N°103 : Carte des valeurs de CE (Juin 2008)

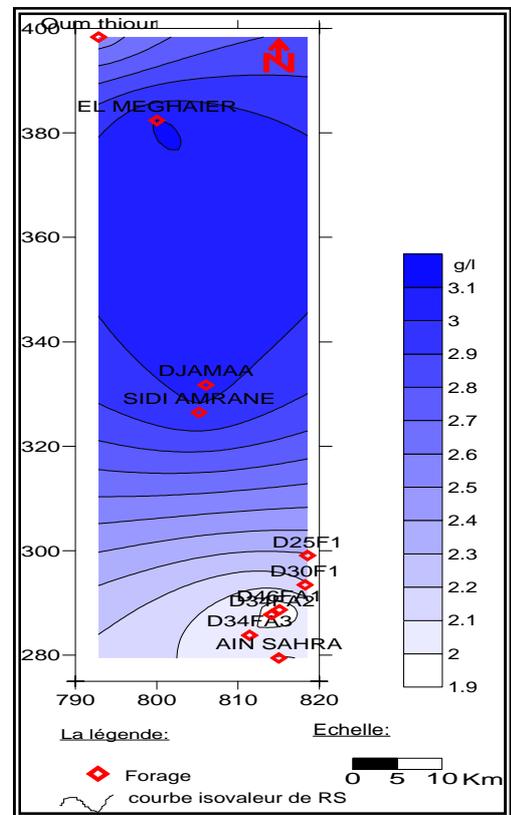


Fig. N°104 : Carte des valeurs de RS (Juin 2008)

2.3.3. Aptitude des eaux à l'irrigation :

Comme les plantes sont très susceptibles aux éléments qui se trouvent dissous dans l'eau et permettent leur croissance, l'excès de ces mêmes éléments peut à leur croissance. Donc l'évaluation du taux du sodium est important fait appel à deux méthodes (Riverside et Wilcox).

Les deux diagrammes de Riverside et de Wilcox montrent que La classe de ces eaux est C4 S1 donc ces eaux pour être utilisées pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées à très forte dose.

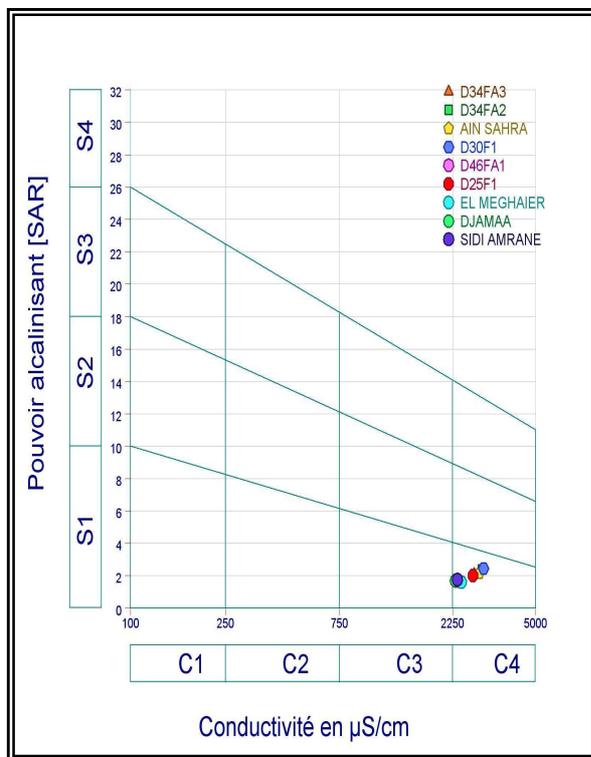


Diagramme Wilcox

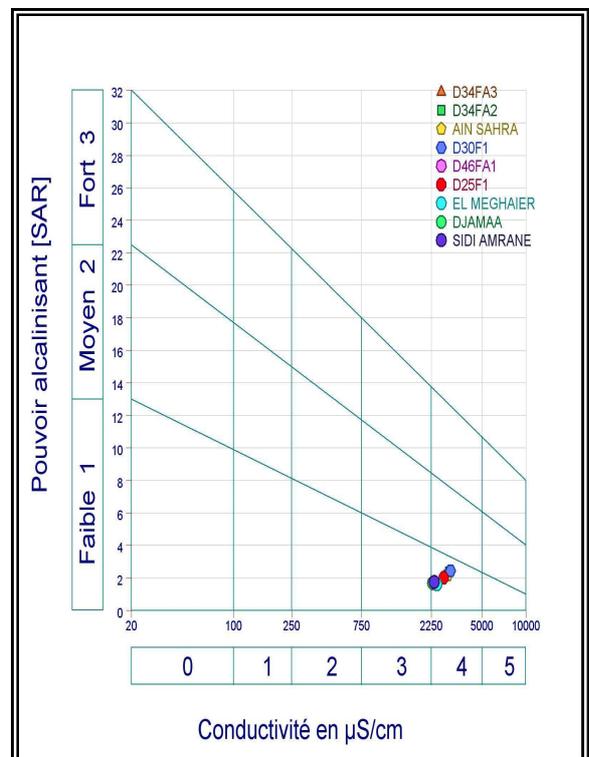


Diagramme Riverside

Fig. N°105 : Diagramme de Riverside et de Wilcox pour la nappe du CI (Février 2008).

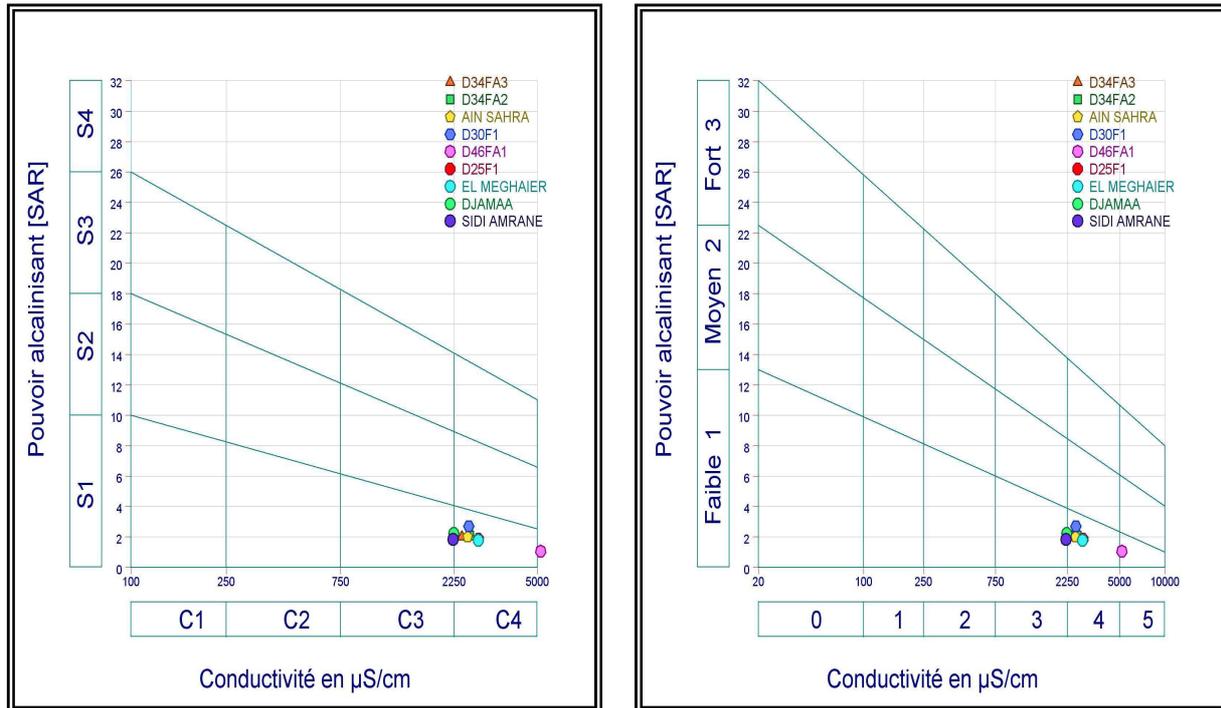


Diagramme Wilcox

Diagramme Riverside

Fig. N°106 : Diagramme de Riverside et de Wilcox pour la nappe du CI (Juin 2008).

2.3.4. Les paramètres de pollution :

2.3.4.1. Les nitrates NO₃⁻ : La teneur maximale est enregistrée dans le forage de Djamaa avec 1.2 mg/l (Février 2008), et pour la campagne de Juin 2008, dans le forage D25F1 avec une concentration de 5.1 mg/l.

En générale les teneurs des nitrates sont faibles et inférieures aux normes (50 mg/l) (fig.n°107).

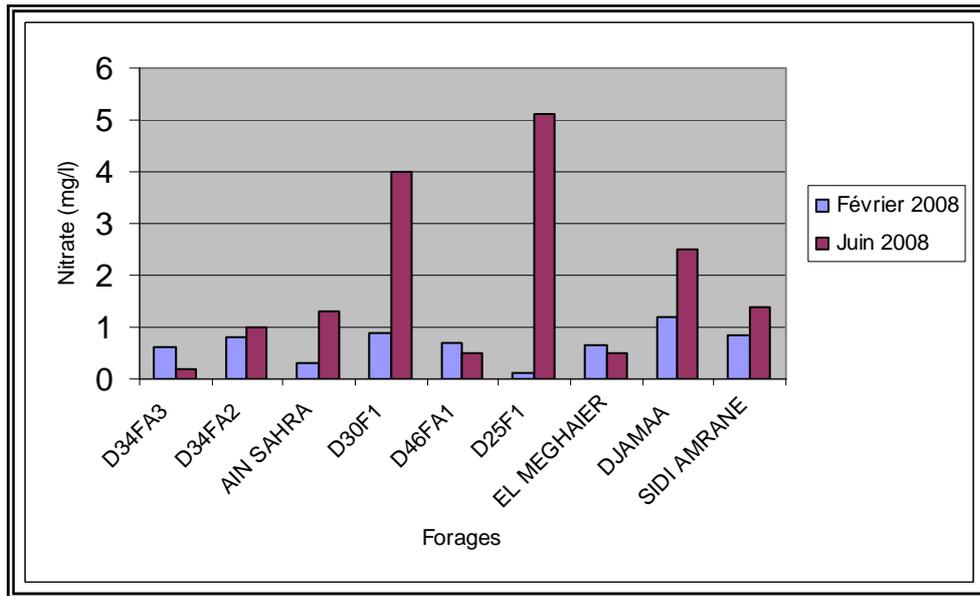


Fig. N°107 : la concentration des nitrates dans les eaux de la nappe du CI (Fév et Juin 2008).

2.3.4.2. les nitrites NO₂⁻: les valeurs de nitrites sont supérieures aux normes dans toute la nappe CI (0.1 mg/l), et la plus forte se trouve au niveau du forage d’Ain Sahara (4 mg/l, Février 2008), et de 8 mg/l au forage D34FA2 5 Juin 2008) (fig.n°108).

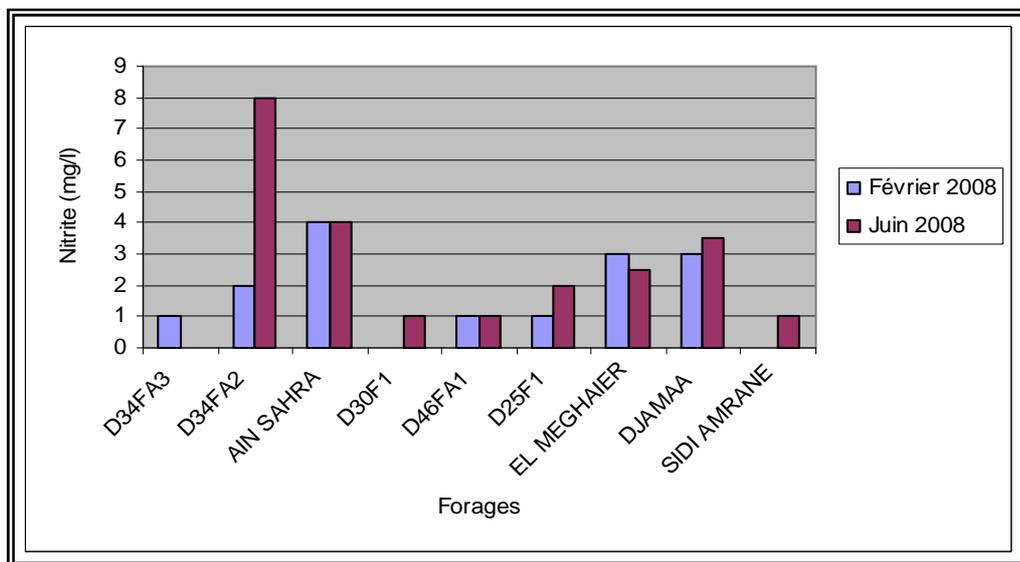


Fig. N°108 : la concentration des nitrites dans les eaux de la nappe du CI (Fév et Juin 2008).



2.3.4.3. L'ammonium NH_4^+ : D'après le diagramme fig n° les plus élevées valeurs sont inférieurs aux normes (0.5 mg/l) à les deux compagnes Février et Juin 2008 (fig.n°109).

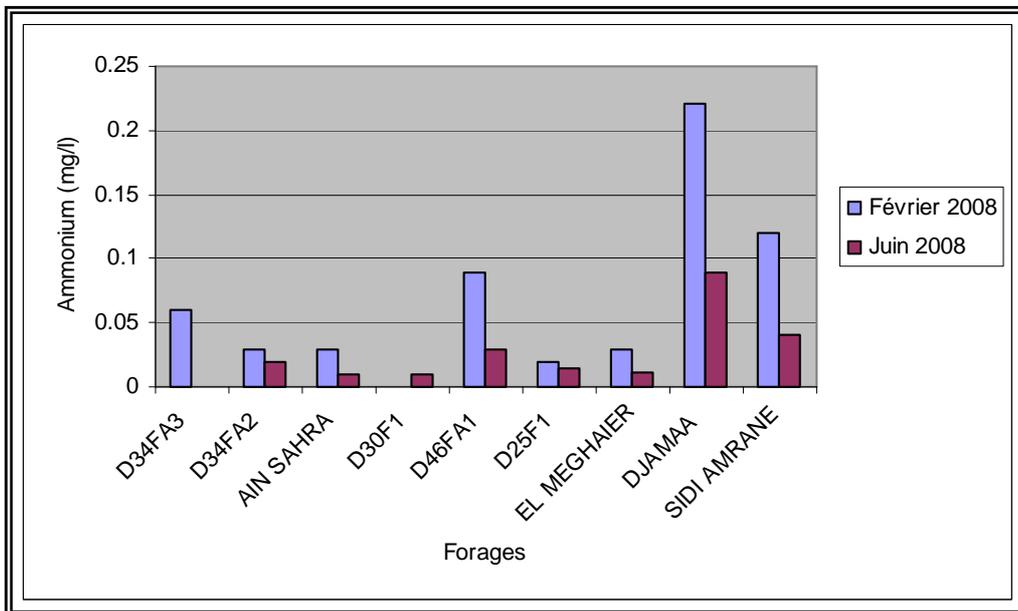


Fig. N°109 : la concentration d'ammonium dans les eaux de la nappe du CI (Fév et Juin 2008).

2.3.4.4. Les phosphates (PO_4^{3-}) : le diagramme montre que la concentration des phosphates ne dépasse pas les normes (0.5mg/l) pour les deux compagnes Février et Juin 2008(fig 110).

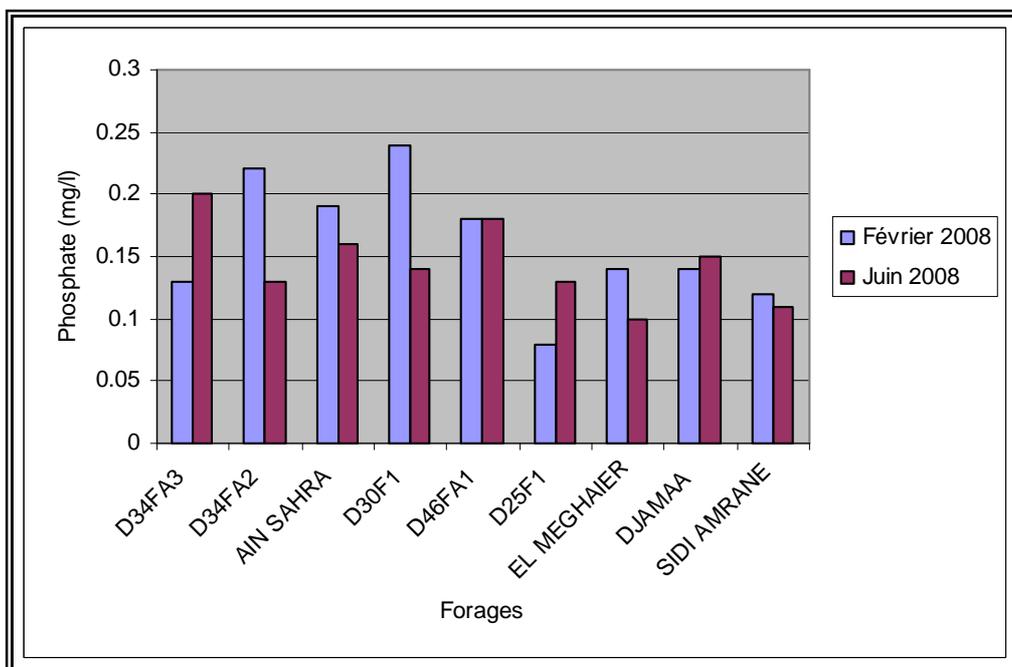


Fig. N°110 : la concentration des phosphates dans les eaux de la nappe du CI (Fév et Juin 2008).



2.3.5. Eléments métalliques en traces :

2.3.5.1. Fer total (Fe) : la concentration du fer dans les eaux de la nappe du CI est souvent forte et dépasse la norme (0.3 mg/l) dans plusieurs forages, elle varie entre 0.14 mg/l à 0.7 mg/l (Février 2008) et 0.2 mg/l à 0.37 mg/l (Juin 2008) Fig. N°111.

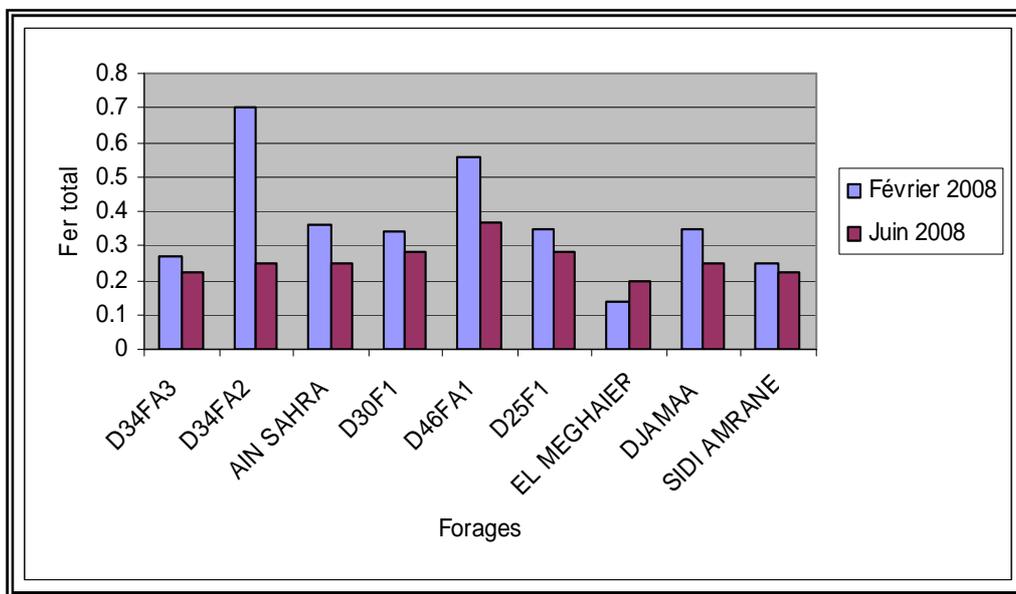


Fig. N°111 : la concentration du Fer total dans les eaux de la nappe du CI (Fév et Juin 2008).

2.2.5.2. Le Fluor (F⁻) : Cet élément ne dépasse pas la norme (2 mg/l) dans tous les forages, on remarque que la plus forte valeur se trouve au forage D30F1 avec valeur de 1.43 mg/l (Février 2008), et au forage D46FA1 (1.83 mg/l), (Juin 2008) (fig.n°112).

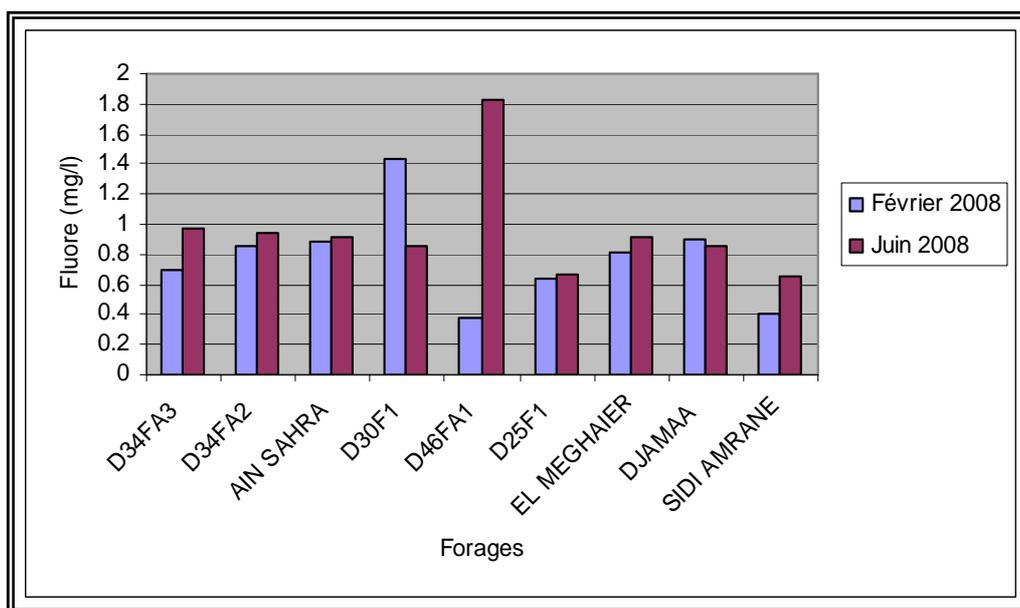


Fig. N°112 : la concentration du Fluor dans les eaux de la nappe du CI (Fév et Juin 2008).

3. Transfert des nappes profondes :

L'apport des eaux à partir des nappes profondes contribue énormément à la remontée de la nappe phréatique, un important volume pompé vient s'ajouter à celui de la nappe phréatique, ainsi des fuites provenant des conduites anciennes (réseau d'A.E.P détérioré), de rejets (absence de réseau d'assainissement et même exutoire), le plus important le gaspillage considérable d'eau (manque de sensibilisation chez les habitants).fig.n°112.

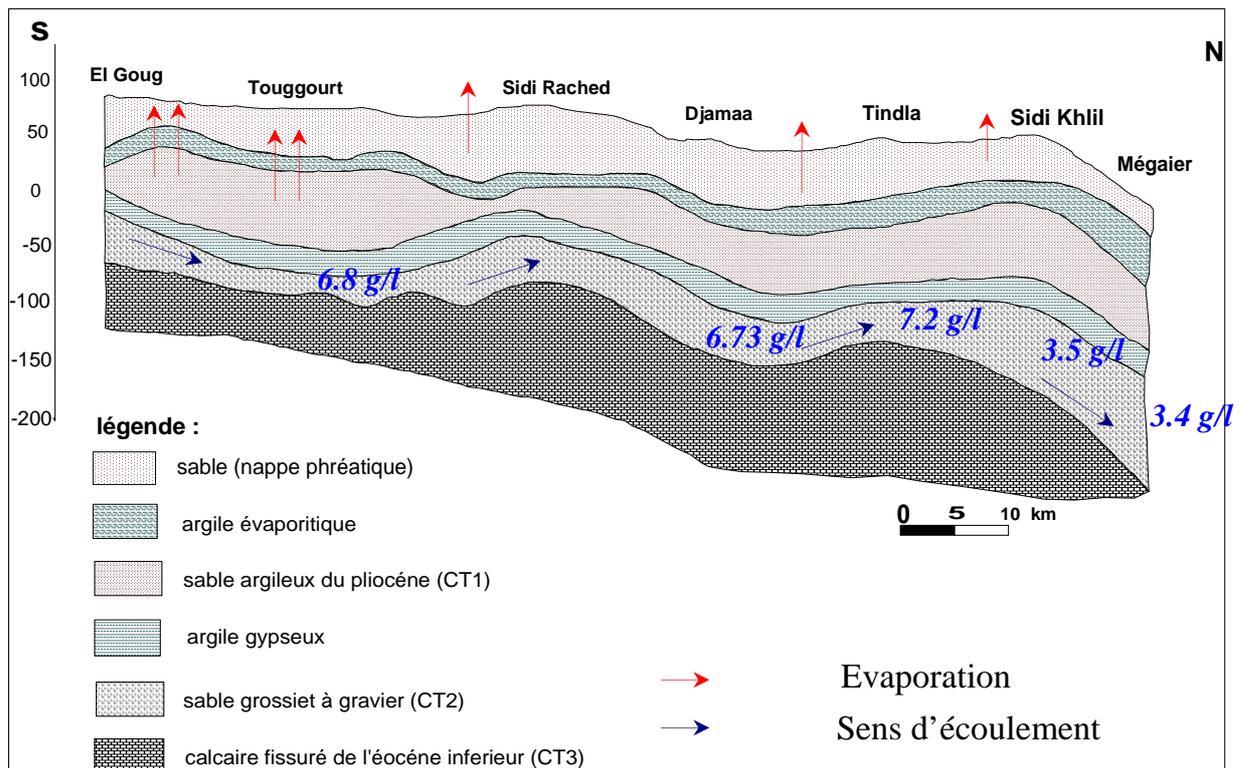


Fig.N°113 : Schéma représentant la communication entre les différentes nappes (ANRH) (modifié 2009).

4. Conclusion :

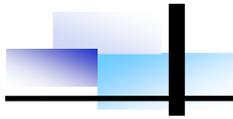
Les eaux de la nappe phréatique de la région de l'Oued Righ sont caractérisées par des valeurs élevées de la conductivité électrique.

L'utilisation de ces eaux pour l'AEP sans traitement préalable est déconseillée.

Du point de vue agricole, les eaux de la région ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisées sous certaines conditions, pour certaines cultures dans certains sols.



Dans cette région, il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, le traitement (dessalement) des eaux pourrait améliorer la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique pour une plus large utilisation.



1. Les chotts :

1.1. Description du chott Merouane:

1.1.1. Caractéristiques topographiques :

Contrairement aux chotts Chergui, Zehrez, Hodna...etc. qui caractérisent les régions steppiques, semi arides et arides des hauts plateaux [400-900 m d'altitude], le chott Merouane se situe dans les régions sahariennes ayant l'altitude la plus basse du Sahara [-35 m d'altitude]. Il représente un déversoir naturel vers le Nord de la nappe phréatique dans la région de l'Oued Righ.

1.1.2. Origine du chott :

La constitution naturelle du chott est directement liée à l'histoire géologique des hauts plateaux algériens.

Toute cette région est marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du Secondaire et du Tertiaire.

Selon gaucher (1970), la salinité du chott peut avoir deux origines :

- ◆ Origine de salinisation primaire : selon les critères d'origine géologique.
- ◆ Origine de salinisation secondaire : selon les critères d'origine hydrogéologiques (l'eau qui s'écoule dans les couches profondes).

1.1.3. Situation écologique :

Le chott comme n'importe quel écosystème réunit toute une interaction entre les biocénose, sol et climat dans un environnement saharien.

D'une part il a un rôle important dans l'équilibre biologique, d'autre part on peut le considérer comme un déversoir naturel ou le chott draine toutes les eaux des régions avoisinantes et les eaux superficielles.

1.1.4. Situation socio-économique :

Le sel est considéré comme l'or blanc (en particulier dans les temps anciens), le sel brut des chotts est également utilisé pour extraire plusieurs éléments minéraux tel que [chlore, sodium, potassium, magnésium et lithium] pour les industries modernes.

Le sel est exploité par l'entreprise ENASEL (1996) avec une capacité de production d'environ 130000 tonnes/an dans les marchés régionales, nationales (secteur pétrolier) et même à l'exportation.



Fig.N°114 : Vue par satellite de chott Merouane (exutoire naturel) ANRH Ouargla.

1.2. L'impact des chotts sur l'environnement:

1.2.1. Origine du chott :

La constitution naturelle du chott est directement liée à l'histoire géologique des hauts plateaux algériens.

Toute cette région est marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du Secondaire et du Tertiaire.



Fig. N°115 : Photo du Chott Sidi Slimane à Touggourt (Février 2008)

1.2.2. Impacts des chotts sur l'environnement:

1.2.2.1. Le rejet des eaux usées, drainage et les problèmes d'environnement :

Ce problème non moins important se situe à l'aval de l'utilisation des eaux. Il s'agit du rejet de cet énorme excédent d'eaux usées et de drainage introduit dans un milieu non préparé à le recevoir.

Un volume estimé à $5 m^3/s$ est évacué par le canal de l'Oued Righ , long de 150 km .vers chott Merouane , il se crée un déséquilibre lourd de conséquence , malgré le fait que ce problème à quelque peu été momentanément atténué par :

- La réalisation d'un drainage urbain généralisé.
- Une campagne du bouchage des puits détériorés. (518 puits bouchés en 1998).

Depuis des siècles, le chott reçoit des effluents liquides ou solides.

A un moment donné cet exutoire deviendra saturé, de plus la décantation et l'évaporation laissent des quantités solides importantes.

2. le canal :

2.1. Etude historique du canal d'Oued Righ :

L'irrigation de la palmeraie de la vallée de l'Oued Righ est le principe pratiqué depuis des millénaires. Les eaux d'irrigation proviennent des sources naturelles par des puits exploités par pompage et par des puits artésiens.

Avant 1910, ces eaux d'irrigation ont provoqué la remontée des eaux en surface créant une stagnation des eaux. Cette situation a engendré l'apparition de plusieurs maladies à transmission hydrique.

Pour résoudre ces problèmes épineux, la population de la vallée de l'Oued Righ a créé un canal déversant ces eaux le long de cette vallée au niveau du Chott Mérouane.

Le canal d'Oued Righ est passé par deux étapes avant d'aboutir à l'état actuel :

- 1- réalisation pendant la colonisation.
- 2- réalisation après l'indépendance.

2.2. Réalisation du canal pendant la colonisation :

Initialement, l'étude du canal collecteur de l'Oued Righ a été lancée avant 1910 après l'apparition de la remontée des eaux de la nappe phréatique.

À partir du village de Temacine jusqu'à la zone des lacs de Sidi Slimane a été réalisé en tronçon manuellement par les fellahs en 1912.

Les eaux de drainage de la région de Djamaa étaient versées vers le Sud dans la zone des lacs de Sidi Slimane.

Les eaux de drainage de la région d'El Meghaïer sont versées au Nord vers le chott Merouane, et cela à travers l'Oued El Khrouf (sur une longueur d'environ 12 km).

Avec la multiplication du nombre de forages pour satisfaire l'extension des cultures irriguées, les problèmes de drainage commencent à s'aggraver:

- ♦ remontée des eaux de la nappe phréatique à la surface;
- ♦ apparition des eaux stagnantes;
- ♦ apparition de maladies;
- ♦ accumulation des sels nuisibles dans les parcelles irriguées;
- ♦ suffocation des palmiers dattiers.

En 1926 il a été remarqué que la région présente une dénivelée naturelle moyenne de 1⁰/₀₀ à partir de la commune de Blidet Amor (Daïra de Temacine wilaya de Ouargla) jusqu'à Dendouga (daïra d'El Meghaïer wilaya d'El-Oued) sur une longueur d'environ 136 km.

Sur la base de cette dénivelée des travaux manuels ont été lancés pour le creusement de l'actuel Oued Righ représentant le début de ce canal collecteur.

Une deuxième opération de raccordement des tronçons a été entamée par la population de la région durant cette même année (1926) avec des méthodes traditionnelles dans le but de faire drainer les eaux en excès d'irrigation des palmeraies vers le Chott Mérouane.

Le canal est resté dans cet état de bon fonctionnement grâce au nettoyage périodique assuré par les autorités de cette époque jusqu'à l'indépendance.

2.3. Réalisation du canal après l'indépendance :

Dans cette étape, l'efficacité de canal était très faible à cause du manque de nettoyage et curage, avec la croissance du nombre de forages créés dans les nouveaux périmètres irrigués ou même dans les anciennes palmeraies, sans oublier le débit d'assainissement provoqué par les agglomérations urbaines.

C'est pour cela que l'Etat a proposé plusieurs études d'aménagement dans la région à savoir:

a)- Le projet ERESS (Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional) en 1972 concernant les nappes souterraines.

b)- l'étude de bureau TESCO (HONGRIE).

Pour le canal collecteur les travaux d'aménagement ont commencé en 1980, et pour les canaux secondaires en 1984.

Le canal de l'Oued Righ joue un rôle très important dans :

- ◆ Le rabattement de la nappe phréatique ;
- ◆ L'assèchement des sols de la vallée par l'évacuation des eaux d'irrigation
- ◆ L'évacuation des eaux d'assainissement des zones urbaines qui sont situées de part et d'autre du canal.

2.4. Caractéristiques du canal :

- ◆ Longueur totale 136 km.
- ◆ Largeur moyenne 10 m.
- ◆ Profondeur moyenne 4 m.
- ◆ Vitesse moyenne d'écoulement 0,7 m/s.
- ◆ Débit moyen max $4m^3/s$.
- ◆ Salinité moyenne 15 g/l.
- ◆ Pente d'écoulement moyenne 1‰.

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



Fig. N°116 : Canal de Oued Righ dans la région de Touggourt (2009).

2.5. Les problèmes qui affectent le canal :

Le canal collecteur tend vers une dégradation importante à cause:

Des végétations (roseau) sur les berges Le long du canal provoquant un obstacle à l'écoulement des eaux et détruit les berges non protégées, ce qui conduit à un comblement de son lit.

Dans quelques zones de la vallée, on observe que certaines parties du canal sont presque détruites par l'érosion ce qui affecte la stabilité des berges.

Des glissements au niveau des berges provoqués par une mauvaise gestion de système de drainage (collecteur principal et canaux secondaires)

Problème de pollution :

Les eaux du collecteur sont polluées par des rejets des habitants qui y vivent à proximité (figures):

- ◆ La présence des algues le long du canal est due à la présence de phosphate (détergent) et qui dégage une mauvaise odeur.

- ♦ Le développement des parasites et prolifération d'insectes dont les larves sont aquatiques, peuvent transmettre des maladies parasitaires parfois mortelles pour l'être humain.

Tableau N° 43 : Débit des eaux usées rejetées dans le canal dans des différentes localités (d'après ANRH, Touggourt, 2006).

Localité	Nombre du point du rejet	Débit des eaux usées l/s
B amor	5	14,16
Temacine	5	10,61
Nezla	4	41,8
Touggourt	0	0
Tebesbest	3	86,66
Zaouia	2	14,33
Mégarine	2	29,44
Sidi Slimane	2	8,33
Sidi Amrane	1	44,33
Djamaa	4	12,74
Tindla	1	0,53
Sidi Khelil	3	16,66
El Meghaier	3	28,16
Oum Thiour	1	12,33

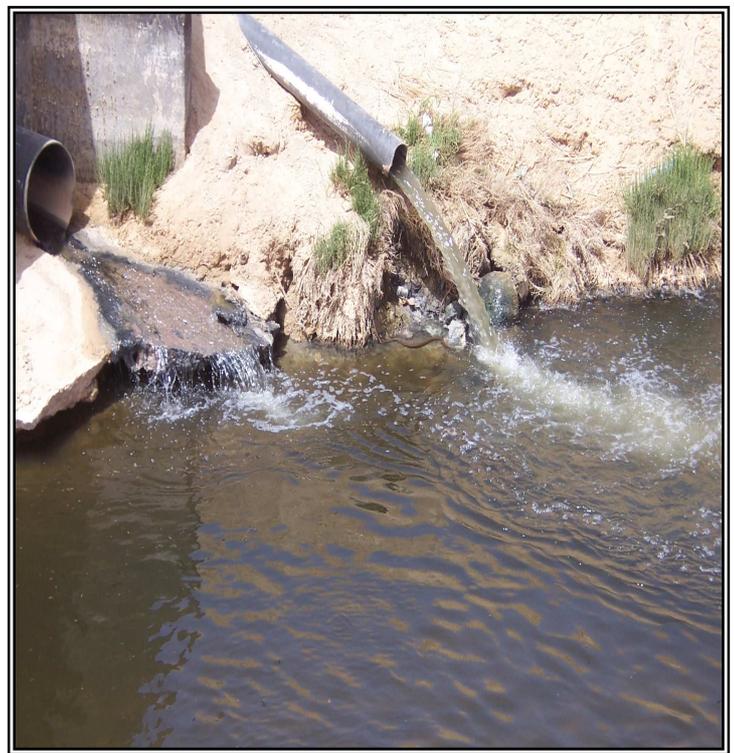


Fig. N°117 : Les rejets des eaux usées dans le canal de l'Oued Righ (2009).

3. Bilan hydrique et bilan du sel :

Le bilan hydrique et salin du chott Mérouane (représenté dans le tableau ci-après) est caractérisé par les apports suivants:

A – les eaux de pluie locales n’ont pas été prises en considération, tenant compte de leur apport insignifiant.

B – la salinité des eaux superficielles alimentant le chott Mérouane est déjà connue (moyenne de 4,5 g/l).

Le Chott Mérouane est alimenté par deux sources principales:

- Les volumes des eaux superficielles (on retient ceux de l’étude du CNTS d’Arzew) soit environ 140 million m³ pour chott Mérouane.
- Déversement des eaux souterraines du complexe terminal. [GUETTICHE S., 2006].

Tableau N°44: Bilan hydrique et salin du chott Merouane.

Source	Volume d’eau m ³ /an	Concentration G/L	Quantité du sel en T/an
Pluie			
Canal	155,52.10 ⁶	4.5	577.365
Eaux souterraines (ANRH)	62,345.10 ⁶	3.5	288.550
total	217,865.10 ⁶		805.915

D’après le tableau, le volume d’eau drainé par le canal représente plus de 70% des volumes drainés.

Tableau N°45: Résultats des analyses hydro chimiques du Chotts et du Canal (méq/l).

paramètres	Ca	Mg	Na	K	Cl	So ₄	Hco ₃	CE (µS/Cm)
Canal	11.42	58.85	8.04	0.6	6.35	1.78	1.32	2457
Chotts	8.07	39.29	4.75	0.12	3.25	1.53	1.24	1435

L’analyse hydro chimique des eaux du canal et du chott révèle un faciès chlorure magnésien dont les concentrations des chlorures sont de 6.35 méq/l pour le canal et 3.25 méq/l pour les

chotts. Par contre le magnésium a une concentration de 58.85 méq/l dans les eaux du canal et de 39.29 méq/l dans celles plus des chotts.

La conductivité est faible dans les eaux des chotts (de l'ordre de 1435 $\mu\text{S}/\text{Cm}$) que dans celle du canal où elle est de 2457 $\mu\text{S}/\text{Cm}$.

4. Pollution éventuelle du CT par les chotts:

Un problème inquiétant est la contamination éventuelle des nappes du complexe terminal depuis la surface.

La principale cause de cette contamination pourrait être les chotts Mérouane et Melghigh qui constituent les exutoires naturels du complexe terminal.

Lorsque les niveaux piézométriques autour des chotts seront suffisamment rabattus par rapport au chott, le sens de percolation va s'inverser et un phénomène de pollution par les eaux salées du chott va s'amorcer. D'après les estimations faites lors du projet ERESS en 1972, ce danger n'est pas pour l'immédiat mais à une échéance comprise entre 100 et 500 ans, la contamination pourra alors se manifester d'une façon brutale et irréversible.

5. Conclusion :

On conclue que notre canal collecteur forme un rein dans cette région .Il draine la nappe phréatique par les deux rives de berges non seulement il collecte l'excès d'irrigation par le biais des canaux secondaires mais aussi il évacue les eaux usées rejetées par les réseaux d'assainissement des agglomérations

Donc la nappe phréatique n'est jamais alimentée par ce canal sauf s'il s'agit un bouchon qui pourrait remonter le niveau.

Malgré la mauvaise gestion des eaux souterrains (méthode empirique d'irrigation, surexploitation, et contamination des nappes ...etc.) le canal joue un rôle important dans la région, il protège l'environnement en évacuant les eaux de drainage et d'assainissement.

Parmi les conséquences de l'anarchie d'exploitation de cette richesse on constat la remontée des eaux dans la nappe phréatique notamment dans les zones mal drainées.

1. Introduction :

Les cartes de vulnérabilité à la pollution constituent une base d'information essentielle pour la gestion des ressources en eau, pour l'évaluation des risques de pollution des nappes et la mise en place de mesures destinées à la prévention des pollutions accidentelles.

Les caractéristiques à prendre en compte pour l'évaluation de la vulnérabilité sont de deux sortes : données principales et données secondaires.

Une étude bibliographique montre qu'actuellement, il existe plusieurs méthodes pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines. Les méthodes qui sont développées peuvent être classées en trois groupes :

2. Méthodes des systèmes paramétriques : il se compose de trois sous systèmes qui sont :

2.1. Le système matriciel : ce système qui est adapté pour une utilisation locale, se base sur un nombre limité de paramètres, judicieusement choisis. On procède à une combinaison de classes pour définir de façon descriptive le degré de vulnérabilité des aquifères.

2.2. Le système de classe: pour ce groupe on définit un intervalle pour chaque paramètre jugé nécessaire pour l'évaluation de la vulnérabilité, ensuite on subdivise chacun des intervalles retenus en fonction de la variabilité du paramètre en question. Le score final qui résulte de la sommation (ou multiplication) de chaque note attribuée pour les différents paramètres devrait être divisé par le nombre de classes retenues.

2.3. Le système de classes pondérées: ce groupe de méthodes est basé sur l'affectation de notes aux paramètres qui sont retenus jugés nécessaires pour l'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines en définissant des intervalles comme c'est le cas pour les autres méthodes citées auparavant. Par la suite une pondération est attribuée pour chaque paramètre selon son importance dans l'évaluation de la vulnérabilité.

2.4. Méthodes de comparaison : utilisées essentiellement pour des aires d'étude très étendues et prend en considération 2 à 3 paramètres.

2.5. Méthodes des relations analogiques et modèles numériques : basées sur des lois mathématiques simples ou complexes. Conseillées pour l'évaluation de la vulnérabilité des sites radio actifs.

3. Application de la méthode GOD (Foster 1987) :

3.1. Présentation de la méthode :

Ce système a été développé par Foster, il est illustré par la Fig. N°(). Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

Cette méthode est basée sur l'identification de trois critères :

- Type de nappe (Groundwater occurrence) ;
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Overall aquifer class) ;
- Profondeur de la nappe (Depth to groundwater table).

Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.

L'indice de vulnérabilité est obtenu selon l'équation suivante : $I = C_G * C_O * C_D$ où C_G = cote du type d'aquifère, C_O = cote de la lithologie, C_D = cote de la profondeur à la nappe.

La vulnérabilité augmente avec l'indice et la classification, elle se fait en cinq classes allant de 0 à 1.

3.2. Préparation des données :

Les cartes des différents paramètres pris en compte pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité verticale à la pollution de la nappe.

3.3. Digitalisation :

Chaque paramètre a été digitalisé (SURFER 8.01) et sauvegarder, l'ensemble des données digitalisées constitue la base de données nécessaire pour l'élaboration de la carte de vulnérabilité.

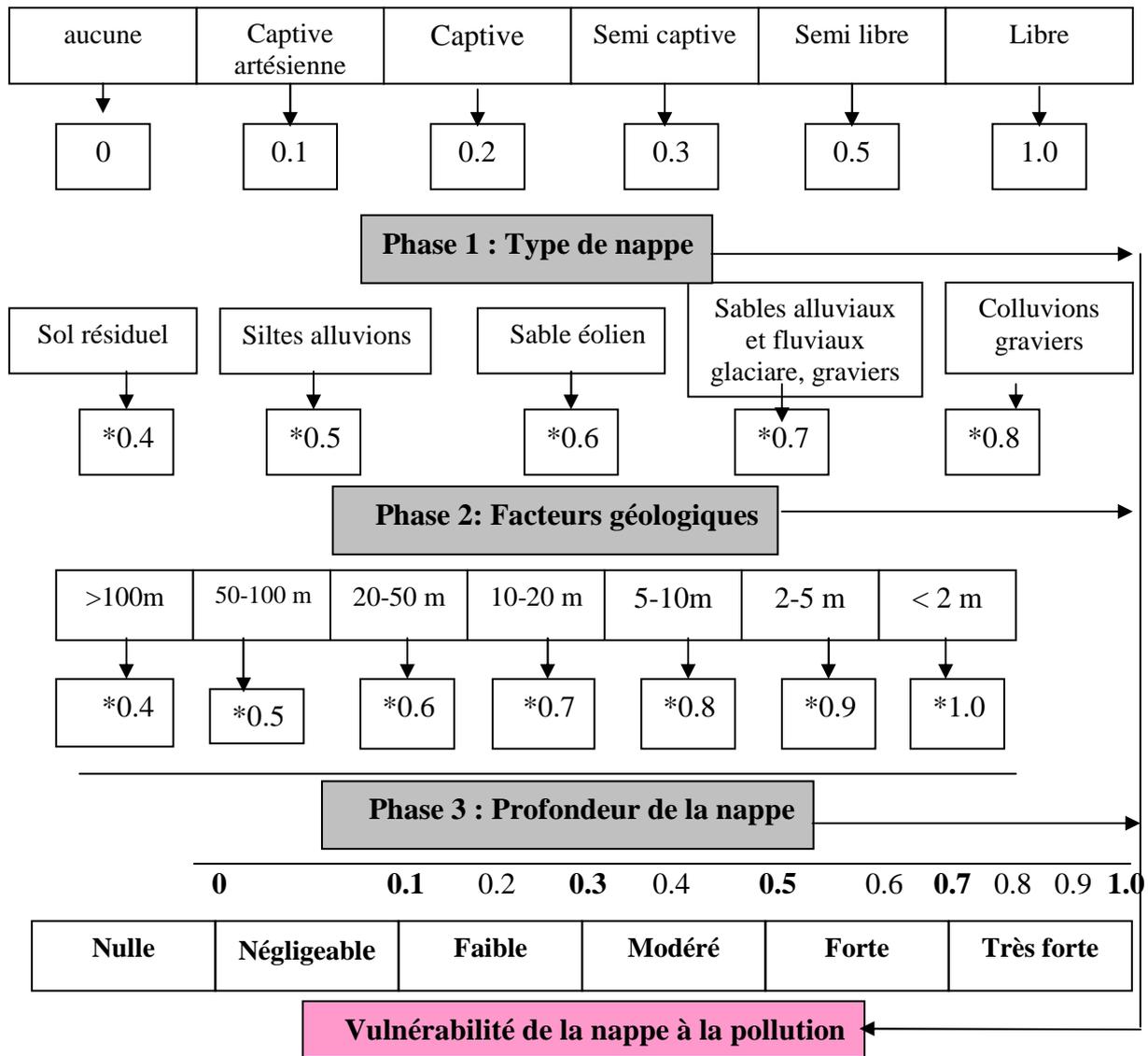


Fig.N°118 : Système empirique GOD pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster, 1987)

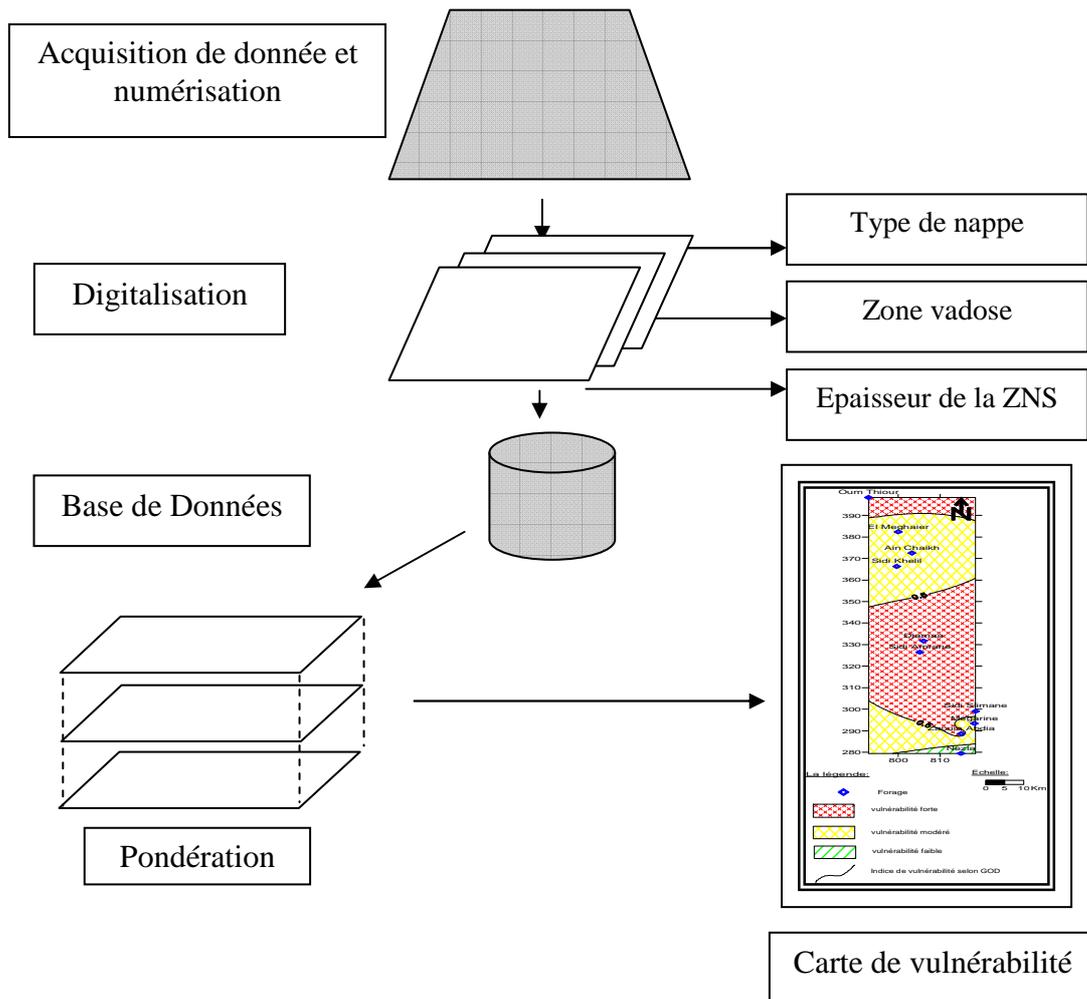


Fig. N°119: méthode utilisée pour la réalisation de la carte de vulnérabilité.

3.4. Description des paramètres GOD:

3.4.1. Profondeur de la nappe (D) :

Ce paramètre est important car le transport des polluants et leur évolution dans le sol et sous-sol. L'observation de la carte de la profondeur de la nappe permet de dégager quatre classes qui varient entre 0 m et 30 m fig. n°120.

Ces profondeurs sont de 0 m à 5 m : Sidi Amrane, Djamaa, Sidi Slimane, Ain Chaikh et Mégarine.

5 m à 10 m : Oum Thiour, El Meghaier, et Zaouai Laabidia.

10 m à 20m : Sidi khelil.

20 m à 30 m : Nezla.

3.4.2. Type de nappe:

Dans la région de l'oued Righ le type de nappe est libre fig. n°122.



3.4.3. Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques :

La nappe phréatique de l'oued Righ est constituée en grande partie de sables fig. n°121.

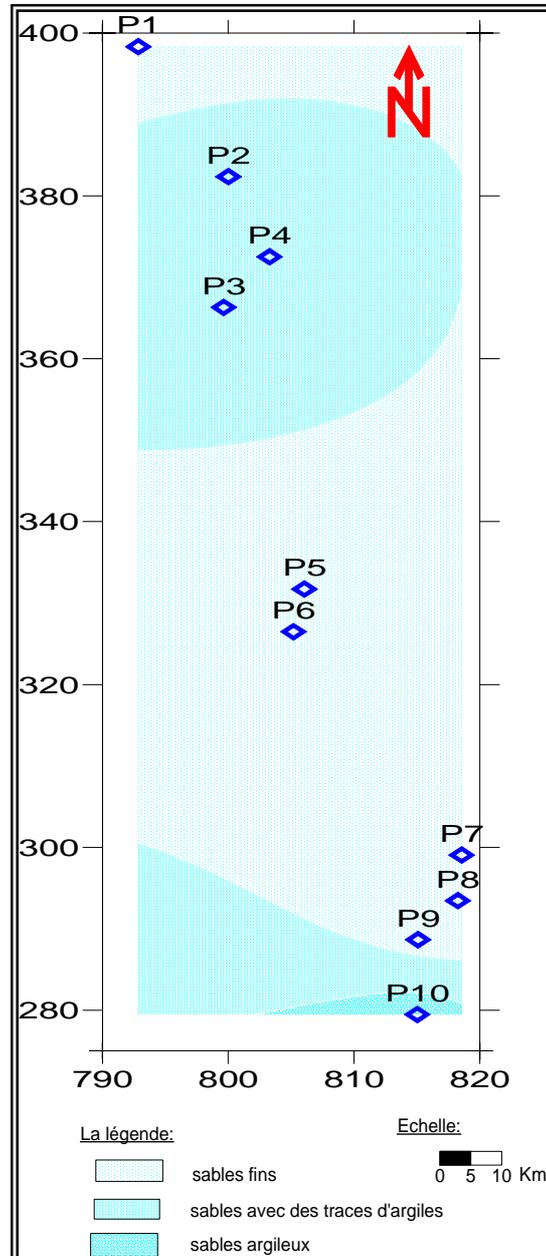
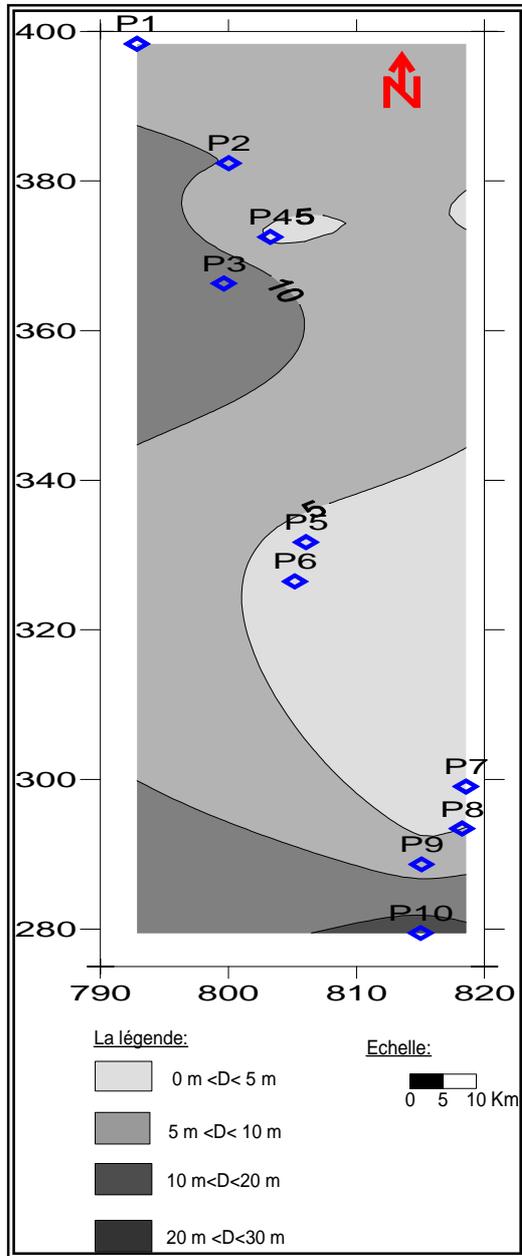


Fig. N°120 : Carte de profondeur de la nappe Fig. N°121 : Carte de la lithologie.

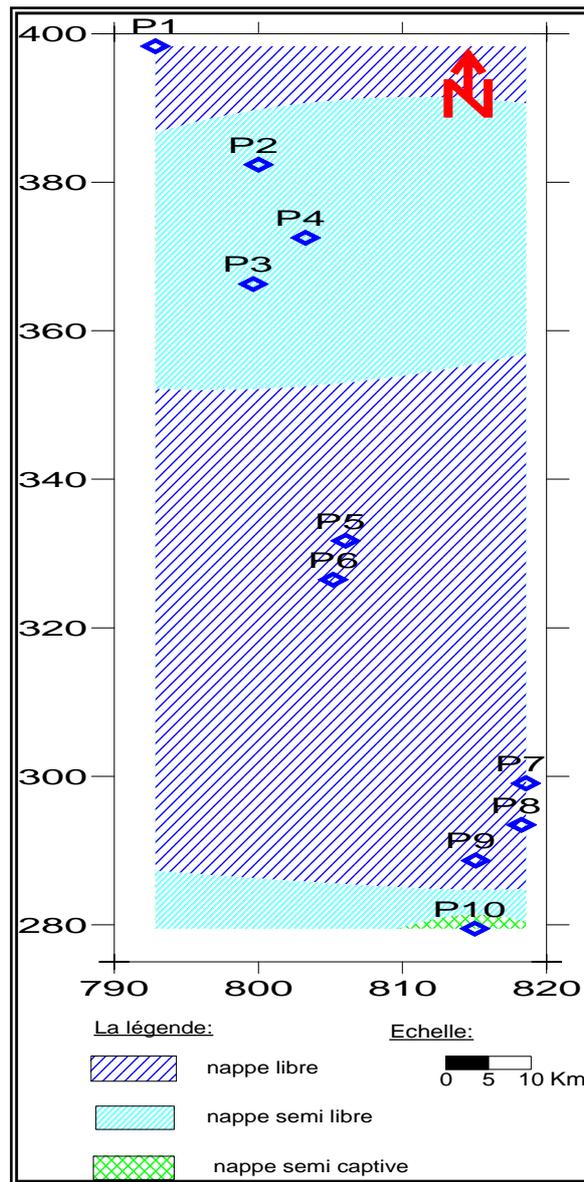


Fig. N°122 : carte représente le type de la nappe.

4. Interprétation de la carte de vulnérabilité de la nappe libre d’Oued Righ :

La nappe libre d’Oued Righ est constituée dans la grande partie des sables, la profondeur de surface piezométrique varie entre 0m et 30m.

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l’eau dans l’aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d’origines superficielles peuvent diffuser librement dans le sol de la zone non saturée.



L'examen de la carte de vulnérabilité montre que la nappe libre de Oued Righ à vulnérabilité forte à modérée. Dans notre cas la nappe superficielle est très vulnérable à la pollution par la migration ou l'infiltration des polluants dans les eaux du canal vers la nappe phréatique.

Les zones urbaines, les chotts et les zones agricoles irriguées à partir des nappes profondes, les parties du canal affectés par un bouchon présentent une vulnérabilité forte à cause de la faible profondeur de la zone non saturé. Le reste de la zone d'étude présente une vulnérabilité modérée avec une vulnérabilité faible à Nezla.

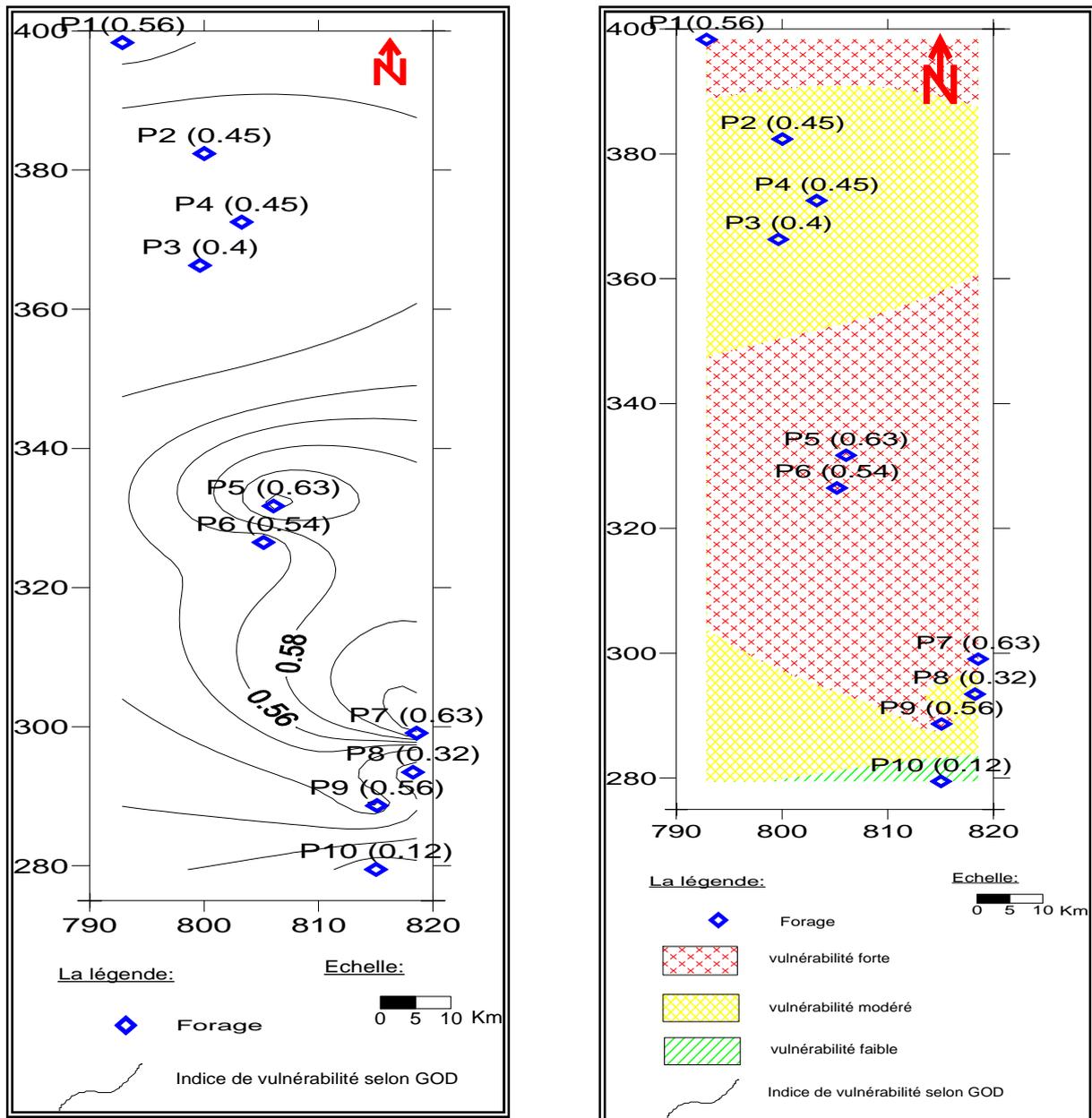


Fig. N°123: cartes de la vulnérabilité de la nappe libre de Oued Righ selon la méthode GOD

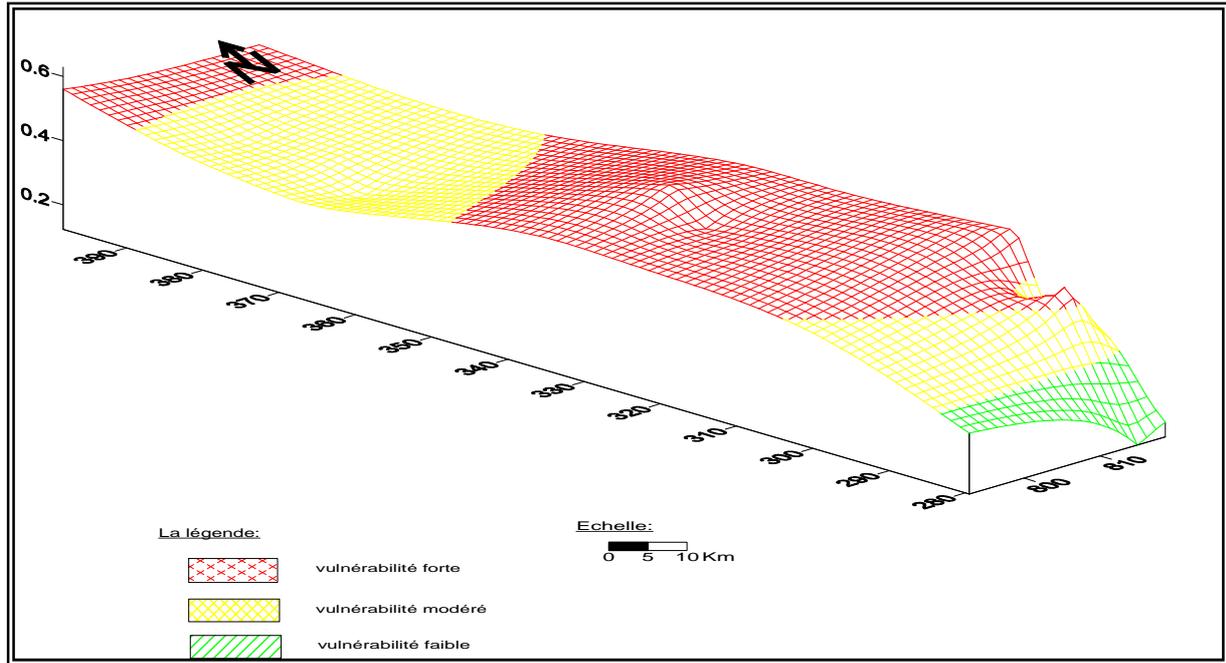


Fig. N°124 : carte de la vulnérabilité de la nappe libre de l'Oued Righ selon la méthode GOD (3D).

5. Conclusion:

Selon la méthode de GOD la vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origine superficielle peuvent repeindre les eaux de la nappe en passant par la zone non saturée.

Dans notre cas la nappe superficielle est très vulnérable à la pollution, soit par l'infiltration des polluants des eaux du canal au niveau des bouchon, soit par les déversement accidentels et ensuit sur le sol.

Conclusion générale :

La région de l'Oued Righ se situe au Sud-est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara. La vallée de l'Oued Righ commence au Sud au voisinage du village d'El Gouge (Touggourt) et se prolonge sur une distance de 150km plus au Nord vers le village d'Oum Thiour [100 km de la wilaya de Biskra].

L'étude géologique montre que la région de l'Oued Righ se présente comme une cuvette synclinale du Bas Sahara qui fait partie d'une large fosse de direction N-S.

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont défini la profondeur du socle précambrien, situé entre 3000 et 5000 m. Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires ont environ 4000 m d'épaisseur.

La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, Post Paléozoïques importants : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

Le climat de la région d'étude est en certains points analogue à celui du reste du Sahara : très chaud et sec l'été, et qui devient assez froid en hiver de 2 à 8 °C voir les gelées la nuit.

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

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

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

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

Les précipitations sont de l'ordre de 76.11mm.

Dans le bassin de l'Oued Righ, il existe deux systèmes aquifères :

Le premier profond étendu, dit le Continental Intercalaire (CI), constitué en grande partie par des sables et des grès d'âge albien

Le deuxième est multicouche, peu profond, moins étendu que le premier dit Le Complexe Terminal (CT).

Les cartes piézométriques sont des documents de base de l'analyse et de la schématisation du comportement hydrodynamique de l'aquifère, et la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique.

D'après la carte piézométrique établie le sens d'écoulement tend vers l'exutoire naturel.

Selon les données, notre étude s'oriente vers l'interprétation des essais du forage à débit constant en régime transitoire.

D'une manière générale, on estime que ces valeurs obtenues sont considérables, de ce fait on peut dire que notre nappe est exploitable du point de vue hydrodynamique.

Les eaux de la nappe phréatique de la région de l'Oued Righ sont caractérisées par des valeurs élevées de la conductivité électrique.

L'utilisation de ces eaux pour l'AEP sans traitement préalable est déconseillée.

Du point de vue agricole, les eaux de la région ne conviennent généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisées sous certaines conditions, pour certaines cultures dans certains sols.

Dans cette région, il n'y a pas un problème de quantité mais plutôt de qualité, le traitement (dessalement) des eaux pourrait améliorer la qualité chimique des eaux de la nappe phréatique pour une plus large utilisation.

Malgré la mauvaise gestion des eaux souterrains (méthode empirique d'irrigation, surexploitation, et contamination des nappes ...etc.) le canal joue un rôle important dans la région, il protège l'environnement en évacuant les eaux de drainage et d'assainissement.

Parmi les conséquences de l'anarchie d'exploitation de cette richesse on constate la remontée des eaux dans la nappe phréatique notamment dans les zones mal drainées.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origine superficielle peuvent repeindre les eaux de la nappe en passant par la zone non saturée.

Dans notre cas la nappe superficielle est très vulnérable à la pollution, soit par l'infiltration des polluants des eaux du canal au niveau du bouchon, soit par les déversements accidentels et ensuit sur le sol.

Recommandations :

Pour une meilleure prise en charge des problèmes qui touchent notre région d'étude de l'Oued Righ, on suggère :

- Réalisations des piézomètres dans la nappe phréatique le long de la vallée pour surveiller la fluctuation de leur niveau.
- Etablir un réseau de surveillance périodique qualitatif et quantitatif de toutes les caractéristiques hydrodynamiques et hydro chimique.
- Penser à l'adoucissement de l'eau dans les régions à forte salinité.
- Rénover les réseaux d'assainissement pour supprimer toute source de pollution de la nappe phréatique.
- La protection des berges du canal ; il faut éliminer les végétaux qui gênent l'écoulement de l'eau du canal.
- Optimiser de forer dans le continentale intercalaire et le complexe terminal.

Bibliographie.

- **ABHS** : Rapport de la salinité de l'eau dans le sol.
- **ABHS** : Rapport de la GIRE Oued Righ.
- **ADE** : les analyses hydrochimiques des eaux des forages (CT et CI).
- **ANRH** : (Ouargla), les log stratigraphiques des forages.
- **ANRH** : (secteur de Touggourt), les données climatiques de la station de Touggourt.
- **ANRH 2006** : Rapport de l'inventaire des forages d'eau de la vallée de l'Oued Righ.
- **Amer Benaza, Benothmane Samia et Kadri Selsabil** 1993 : contribution à la connaissance des propriétés physico-chimiques des sols et des eaux dans la vallée de l'Oued Righ. Possibilités de réutilisation des eaux du canal collecteur.
- **Boulabeiz Mahrez** 2006 : évolution des éléments chimiques et évaluation de risque des eaux souterraines à la pollution : cas de la nappe de Collo, Nord-Est Algérien.
- **Bousbia Brahim Aida et Madi Fella** 2002 : Approche hydrodynamique et hydrochimique de la nappe libre de l'Oued Souf et définition du problème de la remontée des eaux.
- **Bouselsal Boualem** 2006 : Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe phréatique d'Oued.
- **Bouznad Djamel** 2009 : contribution à l'étude hydrochimique et mise en évidence d'une pollution : cas de la plaine alluviale de oued Djendjen (Taher.Jijel, Nord-Est Algérien).

- **Castany G** : hydrogéologie principes et méthodes (édition Dunod).
- **Darouiche Abdelmalak** 2008 : Impact des eaux du rejet sur la qualité des eaux de la nappe libre d'Oued Souf.
- **Guetiche Saliha et Ben Abdasadok Djahida** : Contribution à l'étude de la possibilité de la réutilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation dans la région de l'Oued Righ.
- **Khadraoui Abderrazak** 2005 : Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement.
- **Khechama Salim** 2007 : Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée de l'Oued Souf (Sud-Est Algérien).
- **Sayah Lembarek Mohamed** 2008 : Etude hydraulique du canal Oued Righ et détermination des caractéristiques hydrauliques.

Annexe N° 2 : Inventaire des forages dans la nappe CI

commune	nom	x	y
Sidi Mahdi III	D34FA3	811,43	283,8
Sidi Mahdi II	D34FA2	814,145	287,762
Touggourt	AIN SAHRA	815,025	279,474
Mégarine	D30F1	818,252	293,443
Blidet Amor	D46FA1	815,091	288,657
Sidi Slimane	D25F1	818,56	299,061
El Meghaier	El Meghaier	801,03	380,35
Djamaa	Djamaa	805,145	330,85
Sidi Amrane	Sidi Amrane	804,15	324,95

Annexe N° 3 : Inventaire des forages dans la nappe CT.

commune	Nom	x	y
Temacine	D41F83	806,092	271,975
Blidet Amor	D46F103	806,24	263,7
Blidet Amor	D47F24	807,985	261,78
Zaouia Abidia	D32F160	817,264	255,317
Touggourt	D34F136	813,43	282,8
Tebesbest	D33F117	816,145	283,762
El Meghaier	El Meghaier	801,03	380,35
Djamaa	Djamaa	805,145	330,85
Sidi Amrane	Sidi Amrane	804,15	324,95

Annexe N° 1 : Inventaire des puits dans la nappe libre.

X	Y	Nom	commune
792.857	398.332	P1	Oum Thiour
800.016	382.373	P2	El Meghaier
799.643	366.307	P3	Sidi Khelil
803.278	372.522	P4	Ain Chaikh
806.058	331.719	P5	Djamaa
805.193	326.483	P6	Sidi Amrane
818.56	299.061	P7	Sidi Slimane
818.252	293.443	P8	Mégarine
815.091	288.657	P9	Zaouia Abdia
815.025	279.474	P10	Nezla