

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة-

Faculté des sciences de la Terre
Département de Géologie

Année 2011

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences
Option
Hydrogéologie
Par
SEDRATI Nassima

(Ingénieur d'état en S.T.E, Magister en hydrogéologie)

**ORIGINES ET CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES
DES EAUX DE LA WILAYA DE BISKRA-SUD EST ALGERIEN-**

DEVANT LE JURY

**PRESIDENT :
RAPPORTEUR :**

**MC. Alayat .H
Pr. Djabri L**

**Université d'El Taref
Université d'Annaba**

EXAMINATEURS:

**Pr .Hani A
MC. Rouabhia A K
MC. Maoui. A**

**Université d'Annaba
Université de Tébessa
Université de Guelma**

Remerciements:

Arrivé au terme de ce travail, je veux remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidée dans la réalisation de cette thèse.

Ce travail n'aurait pas pu être ce qu'il est sans le soutien et l'aide de Mr Djabri. L, professeur à l'université de Annaba et directeur de cette thèse et cela pour sa disponibilité et sa patience. Pour son aide, son soutien et ses idées scientifiques, même dans les conditions les plus difficiles, m'ont été très précieux.

Je tiens également à remercier, Mr Alayat .H maître de conférence à l'université d'El Taref. De m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse, ainsi que Mrs, Hani .A Professeur à l'université d'Annaba, Rouabhia .A K maître de conférence à l'université Tebéssa, et Maoui. A maître de conférence à l'université de Guelma trouvent mes vifs remerciements de juger ce travail.

Je suis très reconnaissante à l'ensemble des chercheurs du Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les régions arides (CRSTRA) de Biskra.

Mes remerciements vont également à Mme Lakhdari. F la directrice générale du CRSTRA de Biskra. Sans oublier le personnels de l'Agence nationale des ressources hydraulique (ANRH) de Biskra et de Ouargla. Pour ses aides documentaires utiles, pour leurs accueils, et pour la mise à disposition de la bibliothèque et leurs archives des travaux réalisés dans la région.

Je remercie Melle Chaib. W attachée de recherche au CRSTRA de Biskra en qualité d'une sœur attentive, gentille, tendre avec sa disponibilité réconfortante et chaleureuse. A toi je dis merci du fond du cœur Warda.

Je remercie tous mes collègues et amies qui m'ont soutenue et m'ont encouragée pour accomplir ce travail

Je suis enfin reconnaissant envers tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu tout au long de mes études.

ملخص:

تقع منطقة بسكرة في الشمال الشرقي من الصحراء الشمالية ويحتوي على كمية هائلة من الموارد المائية الأحفوري. وترد هذه المياه في طبقات مختلفة من المحطة الطرفية البنية المعقدة والقاري. في السنوات الأخيرة ، حدث اقتصاد مزدهر ، ولا سيما الزراعة ، مما أدى ، أولاً ، الحاجة المتزايدة للمياه وتسبب من جهة أخرى ، واختلال التوازن الهيدروليكي لطبقة المياه الجوفية. ان اختيار هذا النوع من البحوث من الرغبة في فهم أفضل للآليات تشغيل الطبقة البنية المعقدة ، لأن الظروف حدودها لخصائصها الفيزيائية والكيميائية الهيدروجيولوجية، فضلا عن القضايا البيئية، وهي وجود الملوثات وأصولهم.

بعد تحليل الوضع الحالي للمياه والبيئة، تم تصميم برنامج عمل لإجراء متابعة الاختلافات ، واعتمادا على الخصائص الصخرية والعوامل المناخية. كنا قادرين على دراسة تطور المعلمات الهيدروديناميكية والفيزيائية خلال عدة حملات، على أساس العمل السابق الذي يمثل الدولة الأولى في المنطقة ومواجهة الحاضر عن طريق استخدام وسائل وأساليب متقدمة في هذا المجال. وكشفت تفسير هذه البيانات ما يلي:

-يحتوي الطابق السفلي لمنطقة الدراسة على ثلاث طبقات المياه الجوفية (الرباعية، العصر الحديث والعصر الفجري)، التي تقع على أعماق مختلفة، مع التراكيب الصخرية المختلفة التي تعقد في تحديد العلاقات الهيدروليكي. هذه الخزانات هي في ارتفاع الطلب على الزراعة. -النوعية الكيميائية للمياه رديئة، مما أدى إلى ارتفاع الملوحة تتأثر الخصائص الصخرية للمياه والعوامل البشرية (المكثفة). لاحظ وجود بعض الملوثات، تستمد أصولها من الزراعة والنفايات في المناطق الحضرية. كما نذكر أن هذه النتائج جاءت متوافقة مع إشكالية موضوع البحث..

Abstract:

The region of Biskra is situated in the north-east of the northern Sahara and contains important fossil water resources. These waters are contained in different layers of the Terminal Complex and Continental interlayer. In recent years a high level of water demand was felt due to remarkable increase water for agriculture use. On one hand, this has induced a shortage of water and a disturbance of hydrostatic equilibrium aquifers.

This research project comes to shed more light on the way the aquifer system works, its boundary conditions, influence of the lithological parameters and the hydrogeological and physicochemical parameters. This has been carried out through several field and based on previous work that represents initial state and comparing them to a current situation by using the means and methods best-known in the domain.

Data interpretation and analysis has revealed the following:

- The basement of the study area contains three aquifers (Quaternary, Mio-Pliocene and Eocene), located at various depths, with different lithological compositions that complicate the identification of hydraulic relations. These aquifers are in high demand by agriculture.
- The chemical quality of water is poor resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer and the climatic factors (precipitations and the temperatures). Pollutants originating from agricultural activities and urban wastes are also present.

The results obtained from this study agree perfectly with the questions raised in the proposal.

Résumé:

La région de Biskra se situe dans la zone Nord –Est du Sahara septentrional et recèle d'importantes ressources en eau fossiles. Ces eaux sont contenues dans les différentes nappes du complexe terminal et du continental intercalaire. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la perturbation des équilibres hydrostatiques des aquifères.

Le choix de ce thème de recherche a été guidé par le souci de mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement de la nappe du complexe terminal, depuis ses conditions aux limites jusqu'à ses caractéristiques hydrogéologique et physico-chimiques, ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines.

Suite à l'analyse de la situation actuelle de la nappe et de son environnement, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations, en fonction de la lithologie et des facteurs climatiques. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres hydrodynamiques et physicochimiques au cours de plusieurs campagnes, en se basant sur les travaux antérieurs qui représentent l'état initial de la zone et les confronter à un état actuel par l'utilisation des moyens et méthodes les plus connus en la matière.

L'interprétation de ces données a révélé ce qui suit :

- Le sous sol de la zone d'étude recèle trois réservoirs aquifères (Quaternaire, Mio-Pliocène et Eocène inférieur), situés à diverses profondeurs, aux compositions lithologiques différentes qui compliquent la mise en évidence de leurs relations hydrauliques. Ces aquifères sont très sollicités par l'agriculture.

- La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs anthropiques (exploitation intensive). On note la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles et des rejets urbains.

A la fin, les résultats issus de cette étude concordent donc parfaitement avec les questions évoquées dans la problématique de départ.

Tables des matières

	Page
Remerciements	01
Résumé en arabe	02
Abstract	03
Résumé en français	04
Tables des matières	05
Introduction générale	06
Chapitre 1: Cadre physique et géologique.	
1- Situation Géographique	01
2-Le réseau hydrographique.....	02
3- Contexte socio-économique.....	02
4-Détermination des aquifères et de leur géométrie.....	04
4-1- L'outil géologique.....	04
4-1-1: Quaternaire.....	04
4-1-1-1: Actuel	04
4-1-1-2: Moyen	04
4-1-1-3: Terrasses anciennes.....	04
4-1-2- Miocène.....	04
4-1-2-1- Miocène supérieur (Pontien)	04
4-1-2-2- Pliocène:	05
4-1-3- Paléogène (nummulitique):	05
4-1-3.1. Eocène moyen (Lutétien):	05
4-1-3-2- Eocène inférieur (yprésien) :	05
4-1-4- Crétacé:	05
4-1-4-1- Le Crétacé supérieur.....	05
4-1-4-1-1: Le Cénomaniens supérieur:	05
4-1-4-1-2: Le Cénomaniens inférieur:	05
4-1-4-1-3: Turonien.....	05
4-1-4-1-4: Cénomaniens.....	05
4-1-4-2- Le Crétacé inférieur:	06
4-1-4-2-1: Albien:	06
4-1-4-2-2: Alpien	06
4-1-4-2-3: Barrémien:	06
4-2-L'outil géophysique	06
4.3. L'outil des sondages.....	07
4-4-L'outil hydrogéologique	08
5-Tectonique.....	09
5-1- Stratigraphie.....	09
6-Géomorphologie de la zone d'étude.....	10
6-1-Géomorphologie régionale.....	10
6-2-La structure.....	10
6-3-Les formes d'érosion.....	11
6-3-1:La combe du Djebel Bou Rhezal.....	11
6-3-2: Les chevrons.....	11
6-3-3: Les cônes de déjection.....	11
6-3-4: Les glacis.....	11
6-3-5: Les escarpements d'érosion.....	11
6-3-6:Les accumulations de sable.....	11

7-Relief	11
8-Pédologie.....	12
9-Végétation.....	12
10-Conclusion : Apports des méthodes à la connaissance des réservoirs.....	13

Chapitre II. Caractéristiques climatologiques.

1- Le climat de l'Afrique du Nord	14
2- Le climat de l'Algérie.....	14
3- Définition du Type du climat de la région de Biskra.....	15
3-1- Détermination de l'indice d'aridité.....	15
3-1-1-Diagramme pluviométrique de GAUSSEN (P=2T).....	15
3-1-2-Indice d'aridité d'Emberger.....	16
3-1-3-Indice d'aridité de De Martonne.....	17
3-1-4- Indice de l'UNESCO (1977)	19
4-Etude des paramètres climatiques	20
4-1- la pluviométrie.....	20
4-1-1-Carte des moyennes pluviales.....	20
4-1-2: Les Précipitations annuelles et leurs variabilités	21
4-1-3:Variations temporelles des précipitations annuelles	24
4-1-3-1:Le coefficient d'irrégularité du régime des précipitations annuelles	24
4-1-3-2: Les variabilités inter annuelles des modules pluviométriques	24
4-1-4 : Précipitations mensuelles	26
4-1-4-1:Coefficient pluviométrique mensuel	26
4-1-4-2: Variations mensuelles des maxima, minima et de la moyenne aux stations étudiées.....	27
4-1-4-3:Répartition mensuelle des précipitations	29
4-1-5: Les précipitations saisonnières.....	29
4-1-6:Les précipitations journalières.....	30
4-2:Etude du régime thermique.....	32
4-2-1:Répartition des températures aux stations étudiées	32
4-3: L'Evaporation.....	33
4-3-1:L'Evapotranspiration:	34
4-3-1-1Estimation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP)	35
4-3-1-1-1:Estimation de l'ETP par la formule de Thornthwaite, 1954.....	35
4-3-1-1-2: Estimation de l'ETP par la formule de TURC.....	37
4-3-1-1-3:Estimation de l'ETP par la Formule de Penman- Monteith.....	38
4-3-1-1-4:Estimation de l'ETP par la Formule de Sarlin (1970)	38
4-3-1-2:Variations mensuelles de l'ETP	40
4-4: Bilan hydrique	41
4-4-1: La réserve facilement utilisable (RFU)	42
4-4-2:Le déficit agricole (DA).....	42
4-4-3: L'excédant (Exc):.....	42
4-4-4:Interprétation du bilan hydrologique de Thornthwaite	44
4-5: Calcul de l'Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement	45
4-5-1: Formule de (TURC, 1961)	45
4-5-2: Formule de Coutagne.....	45
4-6:Estimation du ruissellement:	46
4-6-1: Méthode de Thornthwait.....	46
4-6-2: Méthode de Tixeront- Berkaloff:	47
4-7:L'infiltration efficace	47
4-8- Les vents.....	47
4-9-L'humidité relative de l'air.....	48

4-10:L'héliothermie.....	49
5-Le pédoclimat.....	49
5-1:Le régime hydrique.....	49
5-2-Le régime thermique.....	49
6:Conclusion.....	50

Chapitre III: Synthèse géophysique et hydrogéologique.

Première partie: Synthèse géophysique.

1-Introduction:	51
2-Identification des systèmes aquifères de Biskra.....	51
2-1: Apports de la Géophysique.....	51
2-2: Traitement des données.....	52
2-2-1-Interprétation des données des sondages électriques de la nappe des sables.....	52
2-2-2-Interprétation des données des sondages électriques de la nappe des calcaires.....	53
2-3- Interprétation des coupes géo électriques.....	55
2-3-1:Introduction.....	55
2-3-2:Coupe I -Secteur Doucen Ouled Djellal	56
2-3-3: Coupe II-Secteur Chegga.....	57
2-3-4:Coupe III –Secteur de Netine.....	58
2-3-5:Coupe IV- Secteur Ain Daba.....	59
2-3-6:Coupe V –secteur Foum El Gherza.....	60
2-3-7:Coupe VII –Secteur de Gueddacha.....	61
2-3-8:Coupe VIII –Secteur Sarg El Kebir.....	62
2-4 -Carte en isopaches.....	64
2-4-1: Carte égale épaisseur des sables.....	64
2-4-2 : Carte égale épaisseur des calcaires.....	64
3- Conclusion.....	65

2^{ème} partie : Aperçu hydrogéologique

1-Sollicitations des nappes	66
1-1-Quaternaire	66
1-2-Complexe terminal.....	66
1-3-Continental Intercalaire.....	67
2-Localisation des nappes	67
2-1-Nappe du Quaternaire.....	67
2-1-1- Structure de la nappe phréatique d'oued Biskra.....	68
2-1-2-L'Exploitation de la nappe et ses effets.....	69
2-1-2-1- Exploitation de la nappe phréatique en 1980	69
2-1-2-2: Exploitation de la nappe phréatique d'Oued Biskra en 2008.....	70
2-1-3-Les paramètres hydrodynamiques de la nappe phréatique d'Oued Biskra.....	71
2-1-3-1 : Transmissivité.....	71
2-1-3-2 : Perméabilité:	72
2-1-4-Exploitation de la nappe du Quaternaire de Biskra.....	73
2-1-5-Mode d'alimentation de la nappe du quaternaire.....	73
2-1-6- Piézométrie de la nappe du quaternaire:.....	73
2-2-Nappe du complexe terminal.....	74
2-2-1-Nappe des sables.....	74
2-2-1-1-:Localisation de la nappe	74
2-2-1-2-Alimentation.....	76
2-2-1-3:Exutoires.....	77
2-2-1-4:Paramètre hydrodynamique de la nappe.....	77
2-2-1-4-1:Aperçu sur la méthode de Freez and Cherry (1979)	77

a-Principe.....	77
b- Méthodologie	77
c- Application à la région de Biskra.....	78
2-2-1-4-2:Transmissivité et porosité.....	78
2-2-1-5- Piézométrie de la nappe des sables	79
2-2-1-5-1:Carte piézométrique de 1997.....	79
2-2-1-5-2:Carte piézométrique 2008.....	79
2-2-1-5-3: Battement piézométrique de la nappe des Sables.....	80
2-2-1-6-Exploitation.....	81
2-2-2:Nappe des calcaires d'éocène inférieur	81
2-2-2-1:Structure et géométrie.....	81
2-2-2-2:Variations piézométriques de la nappe des calcaires.....	82
2-2-2-2-1:Piézométrie 1980.....	83
2-2-2-2-2-Piézométrie 2008.....	84
2-2-2-3-Paramètre hydrodynamique.....	85
2-2-2-3-1 : Perméabilité de la nappe des calcaires de l'éocène inférieur.....	85
2-2-2-3-2 : Transmissivité.....	86
2-2-2-4: Piézométrie de la nappe de calcaire	86
2-2-2-5-Exploitation de la nappe.....	86
3-Conclusion.....	87

Chapitre IV : Potentialités hydriques.

1:Introduction.....	89
2:Les ressources hydrauliques en Algérie	89
3:La ressource hydrique à Biskra.....	90
4:Les demandes en eau au niveau de la wilaya	90
5:Etats de sollicitation des nappes.....	91
6:Bilan des ressources en eau	93
6-1-Potentiel des ressources en eau souterraines.....	93
6-2: potentiel des eaux de surface.....	94
6-2-1: Barrage de El Gherza	94
6-2-2:Barrage des fontaines des gazelles.....	95
6-3: Estimation des potentialités hydriques de la région d'étude	96
7:Etats de l'exploitation des nappes et leurs variations spatio temporelles	96
8:Une demande en eau accrue.....	98
9:L'état de l'exploitation des nappes (ressource – exploitation).....	99
10-Utilisation des ressources en eau.....	100
10-1-Daïra de Zeribet El-Oued.....	100
10-2-Daïra de Sidi Okba.....	100
10-3-Daïra de Biskra.....	101
10-4-Daïra d'Ourelal.....	101
10-5-Daïra de Tolga et de Foughala.....	102
10-6-Daïra de Sidi Khaled et d'Ouled Djellal.....	102
10-7-Daira d'El-Outaya et M'Chounech.....	103
10-8-Daira de Djemorah et d'El-Kantara.....	104
11:Des ressources en eau surexploitées.....	104
12: Les conséquences directes de la surexploitation.....	105
13:Gestion des ressources en eaux souterraines.....	106
14:Conclusion.....	107

Chapitre V: Besoins en eau

1-Introduction	108
2-Les besoins en eau dans la Wilaya de Biskra	108
2-1-Les besoins en eaux potables	109
2-1-1-Les besoins en eau potable en milieu urbain.....	109
2-1-2-Les besoins futurs en eau dans la wilaya de Biskra.....	112
2-2-Les besoins en eau pour l'agriculture.....	113
2-2-1:Infrastructure de mobilisation	114
2-2-2:Synergie entre agriculture et eau.....	115
2-3-Besoins en eau industrielle.....	116
2-4-Bilan globale des besoins.....	117
3-Taux de satisfaction.....	118
3-1: Taux de satisfaction en eau potable.....	118
3-2-Taux de satisfaction en eau d'irrigation.....	119
4-Comparaison entre l'offre et la demande en eau.....	120
5-Conclusion	120

Chapitre VI : Hydrochimie des eaux
1^{ère} partie: hydrochimie des eaux

1-Introduction	122
2-Fiabilité des analyses.....	122
3-Interprétations des résultats.....	123
3-1:Les principaux paramètres physiques.....	123
3-1-1:La température de l'eau	123
3-1-2:La dureté total : T.H (°F)	124
3-1-3: La conductivité électrique.....	124
3-1-4- Résidus secs.....	125
3-2-Statistique élémentaire	128
4- Faciès chimique des eaux	128
4-1:Utilisation des rapports : $Mg^{++}/Na^{+}-SO_4^{-}/Cl^{-}$	128
4-2:Les faciès secondaires	129
a-nappes des sables.....	129
b-nappe des calcaires	129
4-3-Confirmation par le diagramme de Piper.....	130
5- Teneurs maximales admissible pour l'A.E.P.....	131
5-1-Le calcium Ca^{++}	131
5-2- Le magnésium Mg^{++}	131
5-3-Les Chlorures Cl^{-} et le sodium Na^{+}	131
5-4-Le potassium K^{+}	132
5-5.Les sulfates SO_4^{2-}	132
5-6-Les bicarbonates HCO_3^{-}	132
5-7-Les nitrates NO_3^{-}	132
5-8-Le Fluor F^{-}	133
6: Aptitude des eaux à l'irrigation	134
6-1:Risque de sodicité et de salinité.....	135
6-1-1: risque de Salinité.....	135
6-1-1-1:Conductivité	135
6-1-1-2-Tolérance aux sels	136
6-1-2: risque de sodicité	136
6-1-2-1: Classifications des eaux destinées à l'irrigation.....	136
6-1-2-1-1:Diagramme de Richards	136
a-nappe des sables.....	136
b- nappe des calcaires.....	137

6-1-2-1-2:Diagramme de Wilcox.....	138
a-nappe des sables.....	138
b- nappe des calcaires.....	139
6-1-3-Degré de restriction à l'usage des eaux d'irrigation.....	139
6-1-4-Etude de la toxicité des végétaux.....	140
6-1-4-1:Le Sodium.....	140
6-1-4-2:Les Chlorures.....	140
7-Origines de la minéralisation	141
7-1-Relations $Mg^{2+} - HCO_3^-$	141
a-nappe des sables.....	141
b- nappe des calcaires.....	141
7-2-Les éléments $Na^+ - Cl^-$	142
a-Nappe des sables.....	142
b- nappe des calcaires.....	143
7-3-Détermination de l'indice d'échange de base par le graphe $Mg / (HCO_3 + SO_4) = f (Na/Cl)$	143
a-nappe des sables.....	143
b- nappe des calcaires.....	143
7-4: Les éléments $Cl^- - SO_4^{2-}$	144
a-nappe des sables.....	144
b- nappe des calcaires.....	144
8. Conclusion.....	145

2^{ème} partie: Détermination du degré de vulnérabilité des eaux de la nappe des sables (Biskra) à la pollution.

1-Introduction.....	146
2-Description de la méthode utilisée	146
2-1-Appports de la méthode DRASTIC	147
2-2:Tracé des cartes.....	148
2-3-Etablissement de la carte de vulnérabilité.....	149
2-4:Etablissement de la carte de la sensibilité à la pollution.....	150
2-4-1:Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'irrigation.....	150
2-4-2:Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable.....	150
2-4-3-Carte des conductivités de la nappe des sables	151
3-Conclusion	152

Conclusion générale.....153

Recommandation et perspectives.....

Références bibliographiques.....

Liste des abréviations.....

Liste des figures.....

Liste des tableaux

Annexes.....

Introduction générale

Introduction générale

L'eau étant nécessaire au développement de toutes les formes de vie, animales ou végétales, il faut veiller à la préservation de cette ressource vitale des points de vue qualitatif et quantitatif. Pour cela, il faut assurer une gestion durable de cette ressource et préserver l'environnement dans lequel l'eau se trouve en interaction continue: la biosphère.

Source de vie, elle est aussi source de conflits dans de nombreuses régions du monde. Au début de ce siècle, l'eau est devenue un enjeu de taille et seules les nations qui auront su préserver leur capital hydrique pourront survivre.

Les pays du pourtour méditerranéen, considérés comme semi-aride seront de plus en plus confrontés à des pénuries d'eau, tant les pressions provenant de l'agriculture, de l'industrie et des populations y sont fortes et croissantes.

L'étude des ressources en eau souterraines est axée principalement sur la synthèse des connaissances des ressources en eau souterraines en mettant en évidence, la définition des différents aquifères, l'évaluation et l'importance de la mobilisation de cette ressource pour leur éventuelle utilisation.

Ces dernières années, de nombreuses recherches se sont concentrées sur l'étude de la quantité et qualité des ressources en eaux souterraines ou superficielles dans les zones semi-arides.

La présente thèse vient s'ajouter à d'autres travaux et concerne les caractéristiques des eaux souterraines de Biskra. Cette dernière, région à vocation principalement agricole, est située au Sud Est de l'Algérie.

Pour répondre à la problématique posée, (origines et caractéristiques des eaux souterraines), Dans ce but, plusieurs outils chimiques ont été exploités afin d'interpréter les données obtenues. Ces résultats sont développés dans le présent travail à travers six chapitres:

Le premier chapitre englobe des généralités de la région d'étude et expose les caractéristiques physico-géologiques de cette dernière.

Le deuxième chapitre groupe une étude des différents paramètres climatiques, tels que le type de climat, l'évolution des précipitations, l'évolution des températures et le bilan hydrologique.

Les données, exploitées dans ce chapitre, ont été récoltées auprès de plusieurs directions et agences (DHW DE Biskra, ONM de Ouargla et d'Alger et ABHS de Biskra et Ouargla).

Le troisième chapitre a été consacré à l'étude du contexte géophysique, hydrogéologique, les différents aquifères existants dans la région d'étude: la définition de ces aquifères, la structure et le fonctionnement des systèmes aquifères, la localisation et la définition des zones d'exploitation.

Le quatrième chapitre concerne l'étude des ressources en eaux. Elle a été réalisée à partir des différentes données sur les besoins et les ressources existantes. Ces informations ont été récupérées au niveau des organismes déjà cités et de l'A.N.A.T de Biskra. Ce chapitre comprend Les multiples potentialités hydriques de la zone, l'évaluation des différentes ressources superficielles et souterraines afin d'établir un bilan global (ressources besoins).

Le cinquième chapitre est consacré à l'alimentation en eau potable de Biskra et concerne tout ce qui se rapporte aux besoins et à la mobilisation, l'agriculture et l'inventaire des terres irrigables, et à l'industrie où chaque unité industrielle dans l'aire de l'étude fera l'objet d'une évaluation de ses besoins en eau, les volumes utilisés et de même que la source d'alimentation.

Le sixième et la plus important chapitre concerne l'étude hydro chimique des eaux souterraine de la région de Biskra.

Ce chapitre comporte deux (02) parties:

La première a été menée en vue de faire un état des lieux de la chimie des eaux et ce, en fonction des paramètres physico-chimiques. L'influence de la qualité des eaux peut avoir plusieurs origines, notamment par l'activité agricole, qui se développe dans la zone d'étude. Cette partie traitant :

- l'acquisition du chimisme et genèse des composants chimiques: lieu, matériel, et méthode d'échantillonnage;
- Les différents paramètres physico-chimiques;
- Les faciès chimiques de ces eaux et leurs répartitions, l'origine de la minéralisation ainsi que l'évolution spatio-temporelle de ces paramètres.
- L'aptitude de ces eaux à l'irrigation.

Dans le deuxième partie, La méthode proposée par Tolga.P, 2009 est une nouvelle technique d'indexation de la sensibilité des eaux à la pollution. Elle combine des données issues de la chimie de l'eau et des résultats obtenus par l'application du modèle DRASTIC à la zone d'étude. Les cartes de sensibilité obtenues révèlent des zones qui coïncident presque parfaitement avec celles de forte minéralisation.

Le paramètre salinité, seul accessible actuellement dans la région de Biskra et ce, en terme de qualité des eaux, est un paramètre très contraignant.

Le présent travail se termine par une conclusion générale faisant sortir les résultats de l'étude et par des recommandations et perspectives à prendre en considération.

Chapitre -I-

Cadre Physique et Géologique

2-Le réseau hydrographique:

L'ensemble des Oueds (fig.02) parcourent la région fait partie du grand bassin versant Saharien du chott Melghir:

- L'Oued Djeddi (l'oued le plus important du bassin), présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 9130 Km² ; il constitue un collecteur des eaux de ruissellement d'une superficie importante du flanc Sud de l'Atlas Saharien.

-L' Oued Biskra, son réseau hydrographique est constitué par un grand nombre d'affluent qui collectent les eaux de ruissellement du Sud-Ouest de l'Aurès. Cet Oued a formé une vallée alluviale qui recèle une importante nappe d'inféro-flux actuellement exploitée.

- L'Oued El Arab prend sa source des monts qui constituent la partie Orientale des Aurès et se jette dans la zone dépressionnaire du chott Melghir.

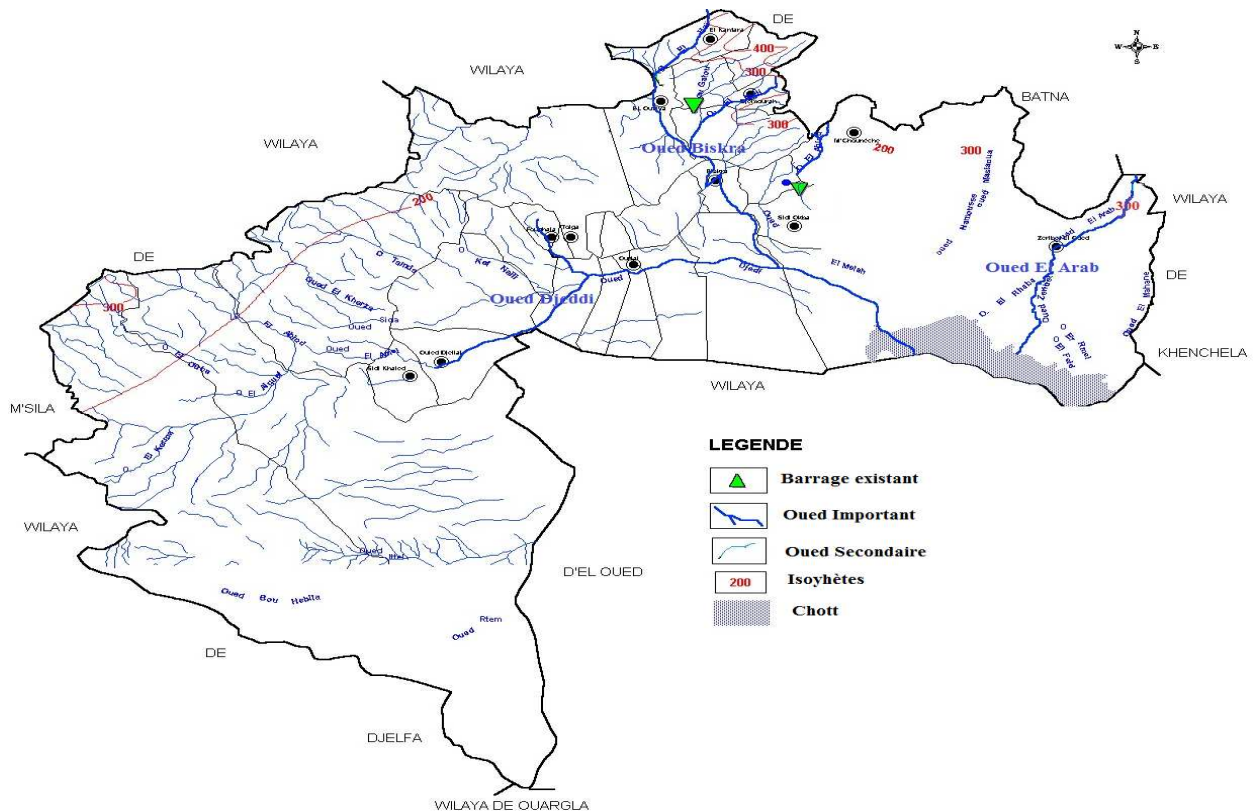


Fig.02 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra

3- Contexte socio-économique:

Du point de vue humain, Biskra représente la ville la plus importante de la région:la population de la commune est de 194516 habitants (Le chef lieu de Biskra contient un plus que 30% de la population générale qui est de l'ordre de 671932 habitants avec un taux de croissance de 2.7%) selon les chiffres de l'office national des statistiques en 2003.

Dans la région de Biskra, comme dans beaucoup d'autres au Sahara les principales activités économiques sont liées aux cultures du palmier dattier et à l'élevage.

L'agriculture est observée sur 175335 ha avec une très grande variété de cultures, Les principaux systèmes de cultures pratiques sont :

- Arboriculture : petites élevages
- Phoeniciculture, Maraîchage, céréaliculture, cultures Industrielles.
- Elevage ovin.

Production végétale:

- Céréales : 6.362.976 Qtx
- Cultures maraîchères : 1.120.890 Qtx
- Les cultures sous serres : 801.825 Qtx

Phoeniciculture:

- Total palmier : 2.474.455 dont Deglet Nour : 1.281.421 Palmiers
- Total palmier productif : 1.906.582 dont : 985.183 Palmier Deglet Nour

Production Animale:

- Ovins : 627.797 Têtes
- Bovins: 3.396 -//-
- Caprins: 154.723 -//-
- Equins : 218 -//-
- Camelin: 1.714 -//-

L'industrie est peu remarquable dans la région, elle se positionne surtout à la bordure de la ville de Biskra. Le nombre d'unité : 43 dont 03 complexes d'envergure nationale (ENICAB, TIFIB (ex ELATEX) et ENASEL Et qui sont respectivement, unité Câblerie Electrique, Tissage Finissage Biskra et Complexe Sel d'El Outaya.

Selon l'office national des statistiques (2007) on note:

- Nombre de zone industrielle :01163,77 ha
- Nombre de zone d'activité :14261,42 ha
- Nombre de zone d'Equipement :03.....74,05 ha
- Nombre de zone des Parcs :01.....115, 00 ha

L'ensemble des rejets industriels se jette directement dans l'oued principal drainant la région de Biskra qui est Oued Biskra et ses affluents.

4-Détermination des aquifères et de leurs géométries: Quatre outils sont utilisés:

4-1- L'outil géologique (L'échelle stratigraphique):

La Région de Biskra a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celle de R.Laffitte (1939), N.Gouskov (1964), Cornée(1989), et les travaux de G.Mauget (1957) qui constituent les références de base utilisées dans la synthèse géologique du Sahara Algérien.

Sur la base de ces études, la région de Biskra représente un pays de transition structurale et sédimentaires, au Nord c'est un pays montagneux, tandis qu'au Sud, c'est un pays effondré, qui fait partie du Sahara Septentrional. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexures, de plis-failles et de failles d'orientation Est Ouest appelé "accident sud atlasique".

La région de Biskra se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Barrémien à la base jusqu'au Quaternaire. L'esquisse géologique (fig.03) et l'échelle stratigraphique ci-dessous citons les principaux stades repérés sur cette région en allant du plus récent vers le plus ancien.

4-1-1: Quaternaire:

4-1-1-1: Actuel :

Ce sont principalement des éboulis et les cailloutis aux pieds des montagnes et sur les pentes, des dunes constamment en mouvement et des alluvions sableuses et caillouteuses dans les lits actuels des oueds.

4-1-1-2: Moyen:

Il se présente sous forme de Croûte dite « deb- deb » dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. C'est une formation calcaire- gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur, Elle occupe les contours des montagnes qui présentent des flancs calcaires (Tolga, Bouchagroun, Lichana, Ain Ben Noui), des travertins de sources anciennes qui datent aux environs des sources Oumach, Mlili et Megloub. Les sources actuelles sondent 4 à 5m au-dessous des anciens dépôts travertineux.

Des alluvions sablonneuses et argileuses dans toutes les grandes plaines sur la rive gauche de l'Oued Djeddi.

4-1-1-3: Terrasses anciennes:

Cette terrasse est bien développée dans la partie Est de la région, vers l'Oued Biskra. Aux environs des régions montagneuses, elle est principalement formée de poudings remplacés progressivement par un dépôt sableux et argileux vers le sud de Biskra.

4-1-2- Miocène:

4-1-2-1- Miocène Supérieur (Pontien):

Il affleure seulement dans la dépression (combe) de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal. Il est représenté par des argiles et des marnes multicolores souvent très sableuses. C'est un dépôt continental détritique : argiles, sables, graviers et marnes.

4-1-2-2- Pliocène:

Il est représenté par des poudings, des bancs de grès et d'argiles sableuses à proximité des massifs (Chetma, Chaïba et Oueled Djellal) passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine. Aussi il est représenté par la croûte calcaire- gypseuse englobant souvent des masses des poudings, des sables et des graviers dans le sud de l'Oued Djeddi.

4-1-3- Paléogène (nummulitique):

4-1-3-1-Eocène moyen (Lutétien):

C'est un dépôt exclusivement lagunaire représenté par des argiles; du gypse en couches épaisses, anhydrites et des calcaires dolomitiques.

Il affleure au Sud du djebel Kahila et au sud du djebel El Ksoum. Les couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région de Ouled Djellel, ou elles forment des niveaux constants d'une extension considérable (rive gauche de l'Oued Djedi).

4-1-3-2- Eocène inférieur :

Sa puissance varie entre 150 et 200 mètres représenté par des calcaires blancs riches en silex noirs, il affleure au nord de Tolga.

4-1-4- Crétacé:

4-1-4-1- Le Crétacé supérieur:

4-1-4-1-1- Le Cénomaniens supérieur:

Il est représenté par des calcaires cristallins et dolomitiques en couches très épaisses, des intercalations lagunaires marneuses et gypseuses très nombreuses à l'Ouest (Djebel Gouara et sur le flanc nord du Djebel Bou Rhzal).

4-1-4-1-2-Le Cénomaniens inférieur:

Il affleure sur le flanc nord de Djebel Bou Ghezel, sa puissance est de 300 à 400 m de calcaires gris ou blanc alternant régulièrement avec des marnes grisâtres, parfois gypseuses.

4-1-4-1-3-Turonien:

Il est représenté uniformément dans toute la zone montagneuse par un niveau massif de 200 à 300m d'épaisseur composé de calcaires cristallins, de calcaires marneux et de calcaire dolomitique.

4-1-4-1-4-Cénomaniens:

Ce terrain affleure aux deux extrémités de la région de Biskra; à la combe de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezel et au Nord - Est du Bordj Chaïba. Sa puissance est de 500m de calcaire marneux avec intercalations marneuses et gypseuses,

4-1-4-2- Le Crétacé inférieur:

4-1-4-2-1-Albien:

Il affleure dans la combe de l'Anticlinal du Djebel Bou Rhezal et au Nord- Est de Chaïba, il est constitué en majeure partie par des grès rouges ou gris avec intercalation d'argiles rouges, sa puissance est d'environ 250m.

4-1-4-2-2-Aptien :

Cette couche est visible seulement vers Chaïba; elle présente un faciès lagunaire avec intercalations marines, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, anhydrites, calcaire dolomitiques et dolomies. Sa puissance est d'environ 60 m.

4-1-4-2-1- Barrémien:

Cette couche affleure uniquement vers Chaïba, elle est constituée par les grès rouges avec quelques intercalations argileuses, le Barrémien est le terme le plus anciens visible dans la région de Biskra.

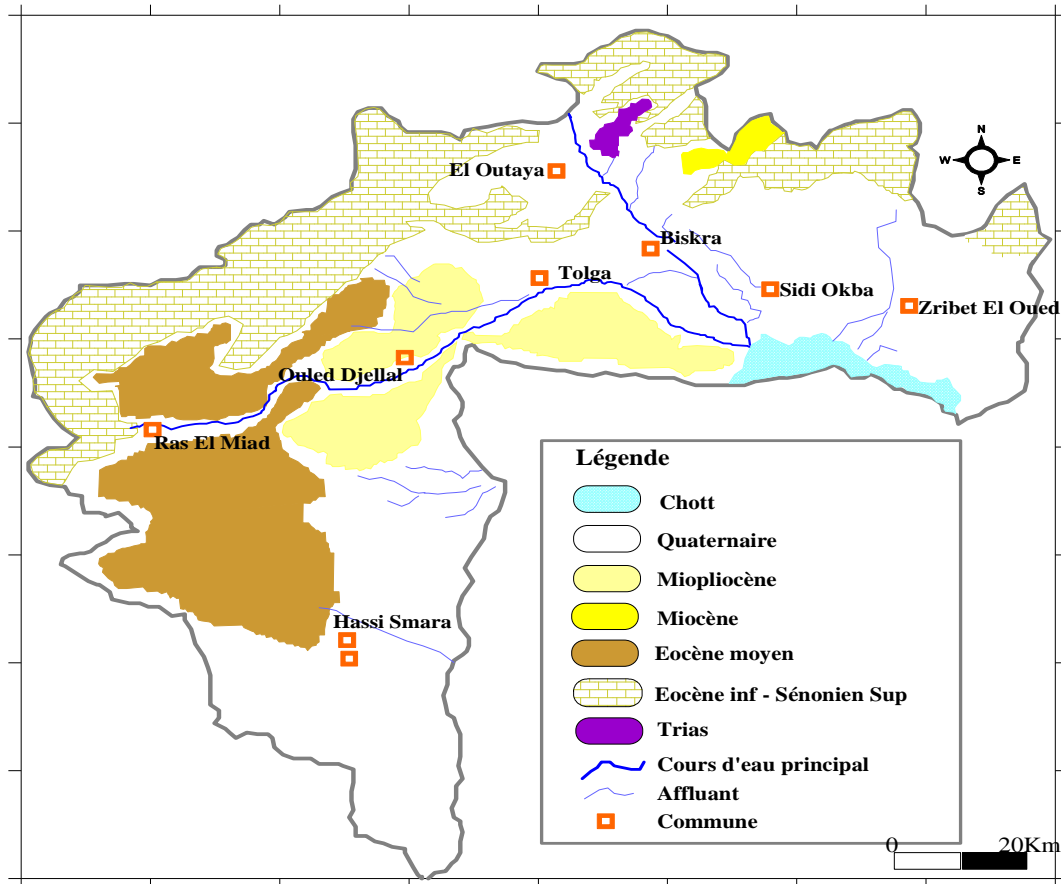


Fig.03 : Carte d'esquisse géologique de la wilaya de Biskra.

4-2-L'outil géophysique :

La région de Biskra a fait l'objet en 2005, d'une étude géophysique réalisée par la compagnie de géophysique I.F.E.S (Icosium forage engineering service) suite à la demande de l'ANRH d'Alger (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). En effet 1430 sondages électriques en ligne AB variant entre 100 et 4000 mètre, ont été réalisés. Dans le but de déterminer l'épaisseur et de l'extension des différentes formations susceptibles d'être aquifères, la détermination de la structure tectonique,

Les sondages réalisés ont permis la détermination des valeurs des résistivités selon des profils, chaque profil va renseigner sur la répartition des formations et des couches de manière verticale et horizontale, la répartition des valeurs des résistivités reste un bon indicateur pour la délimitation des zones aquifères.

Les cartes en isopaches réalisées ont montrés une répartition presque identique des ces nappes, ce qui indique que la région étudiée a été soumise aux mêmes phénomènes tectoniques qui seraient à l'origine des états actuels. Notons également une variation dans les épaisseurs des nappes.

4-3- L'outil des sondages:

Plusieurs sondages de reconnaissance ont été réalisés au niveau de la zone de Biskra par Sonatrach ainsi que les piézomètres et les forages d'exploitation de l'ANRH, ce qui nous a permis de faire une reconnaissance précise concernant la lithologie et la géométrie des dépôts de différentes nappes rencontrées dans la région d'étude. Plusieurs coupes géologiques ont été réalisées à partir des corrélations établies entre les différents forages et sondages existants dans la région exemple : (fig.04).

Ces derniers, nous ont permis de déterminer l'extension des aquifères en profondeur ainsi que l'effet des failles et la flexure Sud atlasique sur la structure des réservoirs.

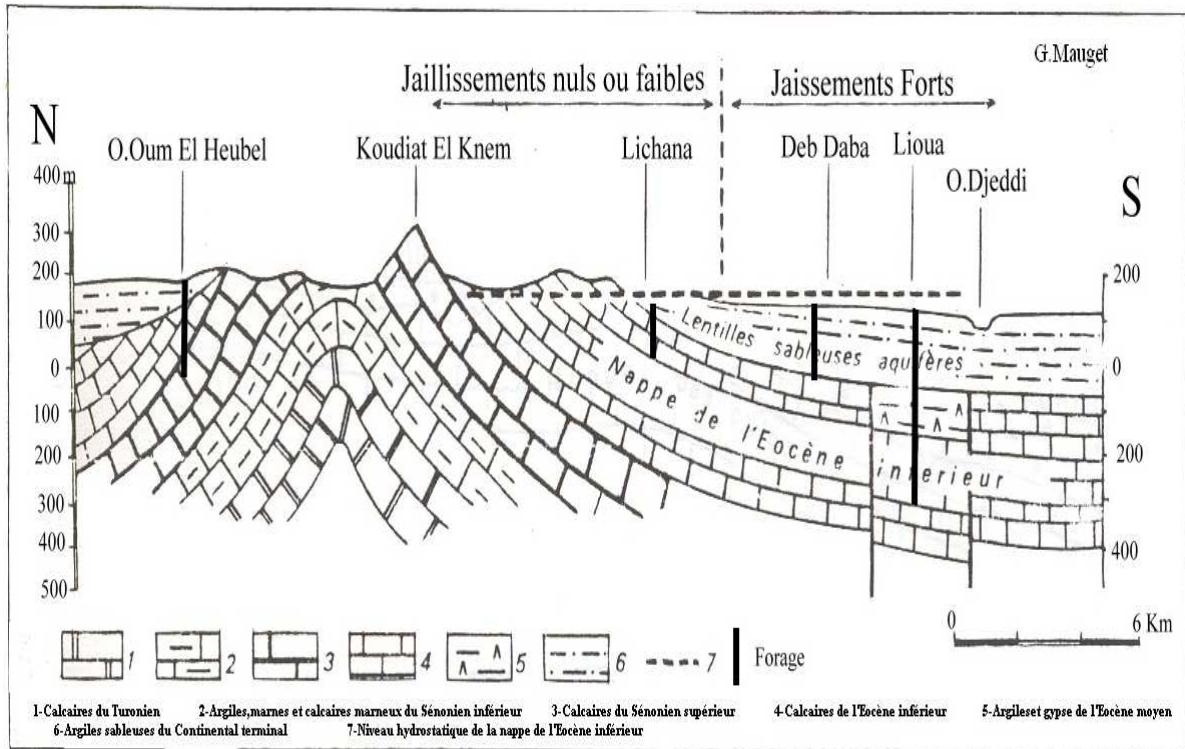


Fig.04: Coupe géologique schématique de la région d'étude.

4-4-L'outil hydrogéologique:

On se basant sur la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, on a pu établir le tableau 01, qui synthétise et combine les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de chaque étage.

Tableau 01 : Description géologique et hydrogéologique du site.

Age	Système	Lithologie	Epaisseur	Hydrogéologie
Quaternaire	Récent	Alluvions sableuses et argileuses		Nappe superficielle (phréatique)
	Moyen	Calcaire gypseux (Deb Deb de 2m).	50 à 70 m	
	Ancien	Dépôts cailloutis +graviers+sable et le lit actuel des Oueds		
	Miocène	Marnes rouges à gypse	100 à 300 m	Imperméable

Tertiaire	inférieur			
	Miopliocène	Alternance argile et sable	80 à 140 m	Nappe des sables
	Eocène moyen	Argile sableuse et marne	5 à 100m 100 à 250 m environ de Lioua et Oumache	Imperméable
	Eocène inférieur	Calcaire (argile)	150m à 250 m	Nappe des calcaires
	Sénonien supérieur	Calcaire	200 m 125m à Oum El Heubel	
	Sénonien inférieur	Argiles, gypses, sels	100 à 200 m	Imperméable
Secondaire	Turonien	Calcaires dolomitiques et dolomie	100 à 200 m	Nappe de turonien (Karst non exploité)
	Cénomaniens	Argile, marnes, marno-calcaires et gypse	200 à 300 m	
	Albien	Calcaire Marne, grés	200 à 300 m	Nappe du continental intercalaire
	Aptien	Grés, dolomies	250 m	
	Barrémien	Grés	250 m	

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations dans le secteur étudié montre que les formations susceptibles d'être aquifères et présentant un intérêt hydrogéologique sont représentées essentiellement par :

- Les sables, argiles et poudingues du Quaternaire correspondant à la nappe superficielle.
- Une alternance d'argiles, de sables et de cailloutis attribuée à la nappe des sables du Continental Terminal correspondant au Miopliocène.
- Les calcaires du Sénonien supérieur et de l'éocène inférieur qui représentent la nappe des calcaires (Nappe de Tolga).
- Les calcaires dolomitiques du Turonien ou « nappe du Turonien ».

- Les grés, marnes, argile et calcaires du Barrémo-Albo-Aptien correspondant à la nappe du Continental Intercalaire.

Les formations aquifères sus citées sont séparées par des horizons imperméables à semi perméables représenté par les marnes gypseuses du miocène inférieur, les argiles gypseuses de l'éocène moyen, les argiles et gypses du sénonien inférieur et les argiles ,marno-calcaires et gypse du Cénomanién.

5-Tectonique:

Après la sédimentation continue, du barrémien jusqu'à l'éocène moyen, les premiers mouvements orogéniques et produisent, ils provoquent d'abord, de faibles ondulations de direction NE – SW fig.05, puis des plissements très accentués de direction ENE - WSW (Anticlinal de Boughzal ou flanc Sud déversé). Une deuxième orogéniques à la fin du pliocène de direction Est Ouest, elle surélève les anticlinaux préexistants et redressent leurs flancs.

5-1- Stratigraphie:

Les différentes coupes géologiques réalisées au Ziban montrent une succession de couches allant de l'albien jusqu'au pliocène. Ces couches sont généralement concordantes. Néanmoins le miocène se dispose en discordance sur les formations sous-jacentes ainsi que le pliocène qui lui est superposé avec légère discordance.

Lors des phases orogéniques post miocène, l'érosion très active affleurant la région a contribué à la formation et la disposition de l'oligocène. De ce fait, il n'apparaît qu'au Nord de Biskra dans la plaine d'El Outaya et au Nord-Est des Ziban.

Le terrain d'étude est recouvert de formations superficiellement récentes (Quaternaire actuel) où on y observe des formations calcaro-gypseuses dans la partie Nord et des alluvions sableuses et argileuses dans la partie Sud.

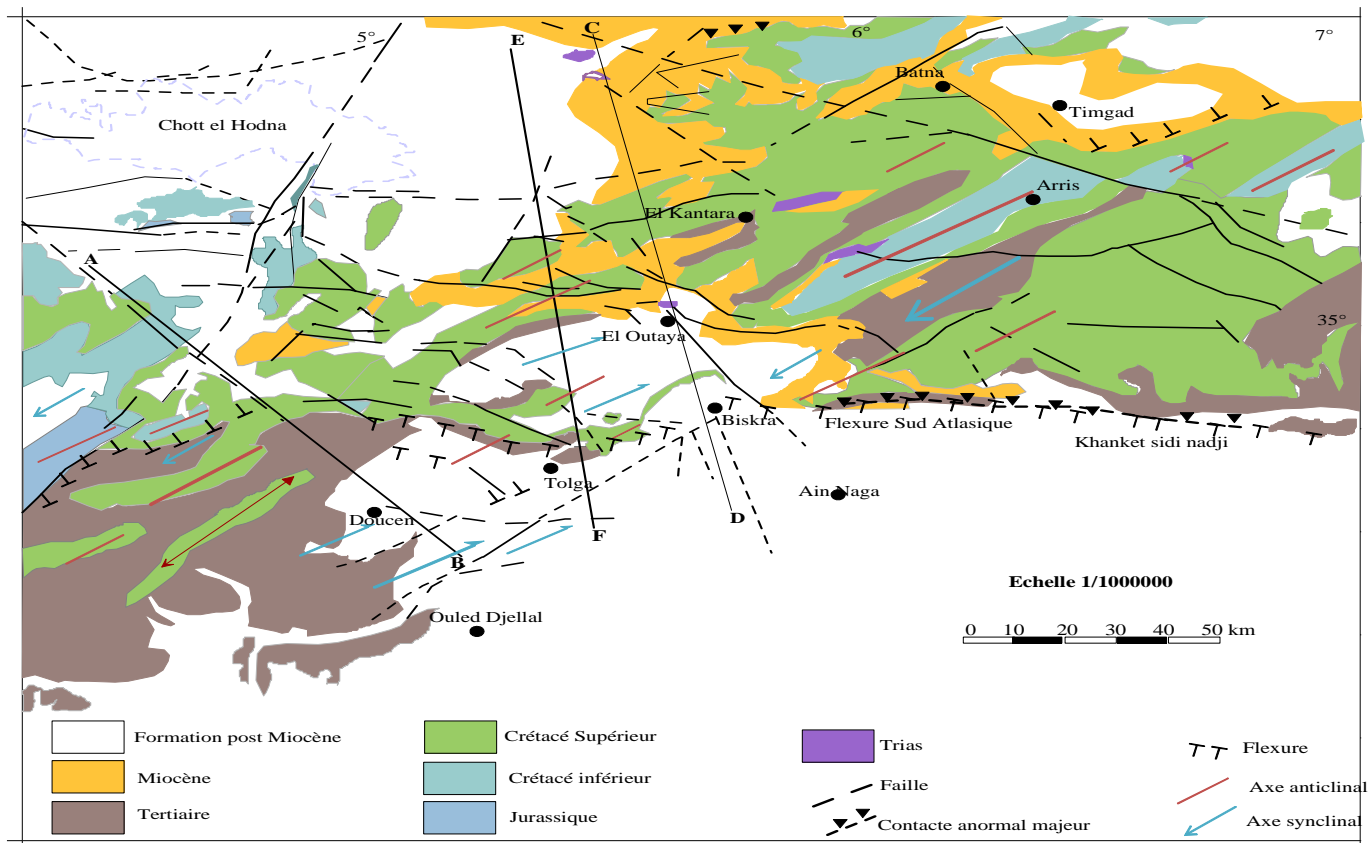


Fig.05: Esquisse tectonique (Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra).

6-Géomorphologie de la zone d'étude:

6-1-Géomorphologie régionale:

La région de Biskra constitue une partie de la transition entre le domaine atlasique plissé du Nord (Atlas Saharien) et les étendues plates et désertiques du Sahara. Ces derniers caractérisés en particulier par les régions très plates correspondant au grand Erg occidental et oriental, au plateau du Mzab, du Tadmait, du Tinrheret ainsi qu'à la région relativement déprimée du Gourara, du Touat, du Tridklet, du sud- Tihert... etc (Busson et Cornée, 1989).

L'ensemble de ces étendues est appelé la plate forme Saharienne qui s'étend jusqu'en Tunisie. Biskra correspond au bassin mésozoïque Saharien. Conventionnellement limité au Nord par la flexure Saharienne, vers le Nord Est par les accidents de Djeffara maritime tunisienne et interrompu vers le Sud et vers l'Ouest par des limites d'érosion qui prouvent que l'extension originelle était plus grande que l'extension résiduelle.

6-2-La structure:

Une seule structure est perceptible, c'est celle de l'anticlinal du Dj. Bou Rhezal.

6-3-Les formes d'érosion:

6-3-1-La combe du Djebel Bou Rhezal:

L'anticlinal du Dj. Bou Rhezal a subi une érosion énergique aboutissant à une inversion totale du relief.

Cette combe a été formée lors de l'érosion oligocène très active qui a affecté le relief montagneux (Fig n°6).

6-3-2- Les chevrons:

Ils sont visibles surtout sur le contour de la combe.

6-3-3- Les cônes de déjection:

La combe constitue un bassin de réception des eaux déversées. Ces derniers se concentrent au noyau pour former des cônes de déjections.

6-3-4- Les glacis:

Ce sont des formations du quaternaire moyen, dites « Deb-Deb » qui représentent une formation calcaro-gypseuses. Ils s'étendent aux pieds des reliefs et se terminent dans les sebkhas, dans l'arrière pays.

6-3-5- Les escarpements d'érosion:

Ils se localisent dans la combe du djebel Bou Rhezal, dans les Oueds. Ils sont réalisés par l'action des eaux, les plus importantes se localisent dans l'Oued Zemor et Oued Ain Oumach.

6-3-6- Les accumulations de sable:

Ce sont les édifices éoliens les plus représentés. Ils sont encroûtés et constituent des étendues le long des glacis. Leur présence rend la mise en valeur des sols difficile.

7-Relief :

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud.

Dans la partie Nord se découpent plusieurs chaînons atlasiques dont l'altitude maximale peut aller de 1500 à 1700 m .alors que la moyenne est de l'ordre de 300m.

Vers le Sud, la plaine saharienne occupe approximativement les deux tiers de la superficie.

Du point de vue morphologique, elle se présente en générale, comme un piémont sans relief marqué, qui relie par une pente douce les chaînes atlasique aux étendues sahariennes du Sud.

En surfaces, les dépôts grossiers que l'on trouve au pied des montagnes passent à des dépôts argilo sableux, vers le Sud.

A l'est, le relief est caractérisé par le développement d'une vaste plaine découpée par lits d'oueds qui s'écoulent des monts de l'atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du Melghir (fig. 06).

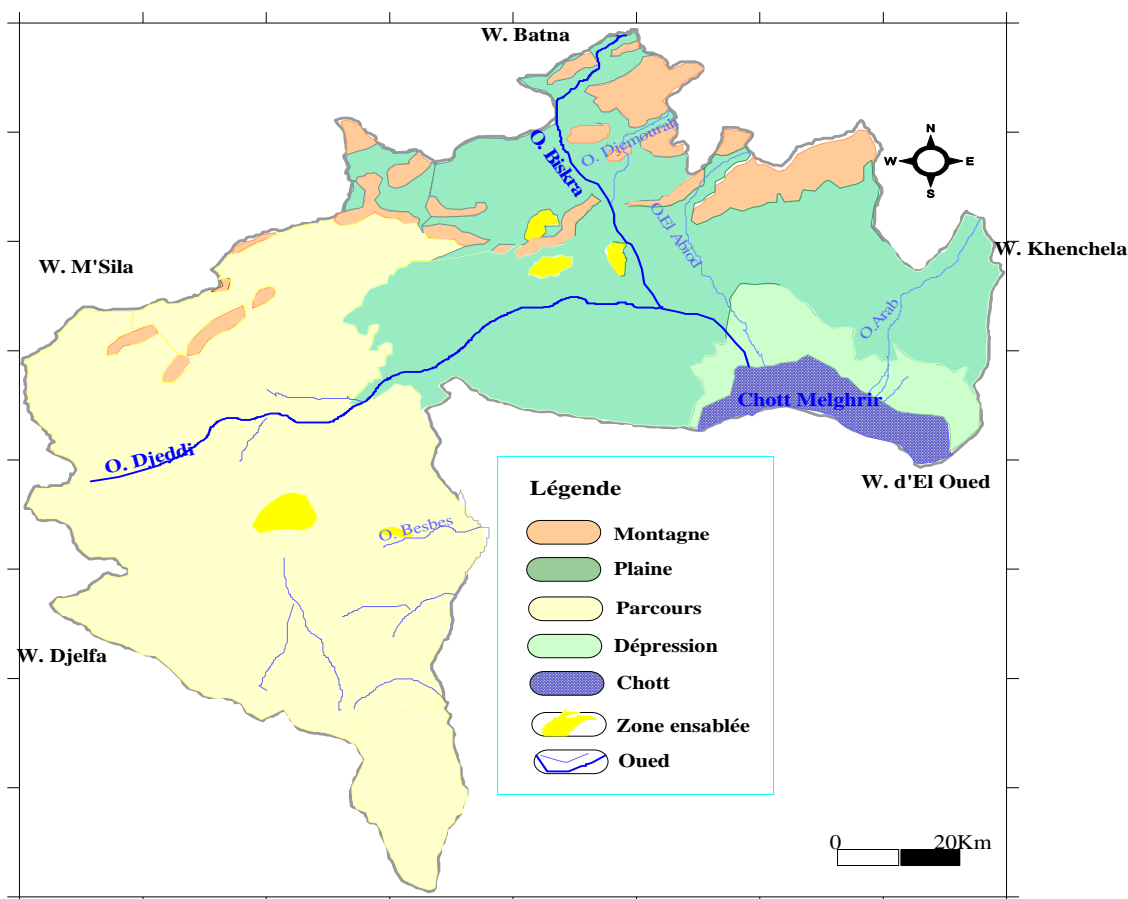


Fig.06: Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra.

8-Pédologie:

Exception faite pour la région d'El Outaya et de Sidi Okba où les sols sont relativement profonds, les sols qui constituent le territoire de la Wilaya de Biskra sont en général pauvres et peu profonds, ce sont des sols éoliens d'ablation et des sols basiques. Il existe cependant en région Nord des zones où le sol est absent, c'est une zone d'affleurements de la roche mère. Au Sud-Est de la Wilaya dans la région des chotts c'est la zone des sols halomorphes.

9-Végétation:

La végétation naturelle dépend en grande partie des conditions hydrologiques et des sols. Il a été constaté que sur le terrain au niveau où la nappe se trouve à une grande profondeur, on rencontre des plantes du type SALSOLA VERMICULATA. SUEDA MOLLIS du type SAREX PACHYSTYLIS. L'état des plantes herbacées est très médiocre et pratiquement toute la surface du sol subit l'action directe des rayons du soleil. La végétation est mieux développée et plus variée là où la profondeur de la nappe est faible.

La phytoflore est représentée essentiellement par SALSOLA VERMICULATA, SALSOLA BARIOSHA, CAREX BACHYSTYLIS et par des graminées (A.N.R. H in Othmane, 1997).

L'exploitation agricole est fortement influencée par les conditions physiques locales, la géomorphologie, la topographie, la circulation de l'eau. Des cultures céréalières, maraîchères et arboricoles sont pratiquées partiellement.

L'existence des nappes artésiennes a favorisé le développement des palmiers dattiers dans de nombreuses Oasis comme Tolga et Biskra.

10-Conclusion : -Apports des méthodes à la connaissance des réservoirs-

La combinaison de l'outil géologique, géophysique, et hydrogéologique a permis de déterminer la lithologie, la géométrie de différents réservoirs dont trois se présentent au niveau de la zone d'étude possédant des potentiels hydrauliques importants dans la région :

- La nappe phréatique du Quaternaire, c'est au niveau des palmeraies que la nappe phréatique est le mieux connue. Cette aquifère se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires. On classe dans cette catégorie la nappe alluviale des Oueds, les plus importantes étant celle de l'Oued Biskra en amont de la ville et celle de l'Oued Djeddi.

-Une série de dépôts alternativement marins et continentaux déposés dans un vaste bassin sédimentaire. Cette série renferme deux grands ensembles séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses soit :

- ✓ L'ensemble inférieur contient de puissantes séries continentales argilo gréseuses d'âge du crétacé inférieur (continental Intercalaire).
- ✓ L'ensemble supérieur contient une série continentale sableuse d'âge Miopliocène (Complexe Terminal), dont l'épaisseur varie entre 80 et 150m. Elle est caractérisée par de bonnes caractéristiques hydrauliques.

Chapitre -II-

Conditions climatiques

Dans les zones arides les facteurs climatiques, jouent un rôle prépondérant dans la disponibilité de la ressource. De ce fait, nous allons mettre en évidence l'influence des facteurs climatiques sur la ressource en eau au niveau de la zone d'étude. Le constat établi a montré que les précipitations dépassent rarement les 200 mm/an, de ce fait la partie infiltrée reste très insuffisante pour assurer un renouvellement durable de la nappe. Ceci se traduit par une contrainte quand à la pérennité de l'exploitation de la nappe.

1- Le climat de l'Afrique du Nord :

De par sa position en Afrique du Nord, l'Algérie correspond à la zone de contact entre les masses d'air d'origine ou d'affinités polaires et arctiques d'une part et les masses tropicales d'autre part. L'avancée des masses d'air froides vers le Sud peut être enregistrée à tout moment de l'année. Mais l'observation a montré qu'elles influent avec efficacité sur l'évolution du temps qu'entre le début de l'automne et la fin du printemps. Les masses d'air tropicales, proviennent soit de l'Atlantique soit du continent Africain par des courants dirigés vers le Nord, le Nord-Ouest ou le Nord-Est.

Les différentes situations météorologiques perturbées qui sont susceptibles d'affecter l'Afrique du Nord correspondent à une circulation des masses d'air orientées d'une manière zonale (approximativement d'Ouest en Est) suivant le flux de Westerlies.

Le climat de la Méditerranée eurafricaine est étroitement bloqué entre un domaine tempéré plus frais au Nord et le désert au Sud. Excepté en bordure même de la mer où l'on n'observe pas un véritable climat maritime, mais plutôt un climat contrasté traduisant plus d'influences continentales qu'océaniques et reflétant avant tout leur double appartenance aux franges de la zone tempérée et de la zone tropicale.

2- Le climat de l'Algérie :

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé. Cette particularité du climat n'est pas générale mais touche plutôt le Nord du pays. La wilaya de Biskra étant située au Sud, son climat présente d'autres caractéristiques que nous allons développer. La région de Biskra se trouve, dans une zone de transition entre deux milieux différents, un climat plus ou moins tempère au nord et le climat tropical (désertique) au sud. Ce climat de transition, se caractérise par un hiver frais et un été très chaud et sec. Les masses d'air doux et humides venant du nord se déversant sur la côte et les chaînes telliennes, arrivent moins chargées en eau sur l'atlas saharien. Cette tendance constitue la première explication de la diminution de la pluie vers le sud, prolongeant ainsi la saison sèche.

D'après la carte climatique de l'Algérie (Fig.7), la région de Biskra se caractérise par un climat désertique, avec des vents de sable parfois très violents.

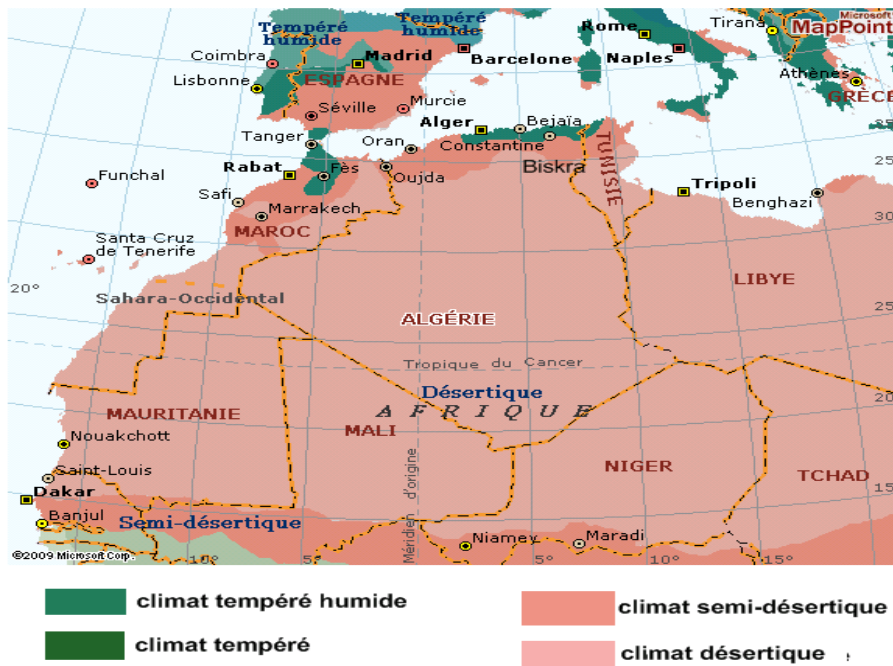


Fig.7: Carte climatique de l'Algérie (Source Encarta, 2008).

Afin de connaître le climat de la région, il est nécessaire d'étudier les paramètres régissant le climat d'une manière générale.

3- Définition du Type du climat de la région de Biskra:

3-1- Détermination de l'indice d'aridité:

L'aridité est une expression qualifiant la sécheresse qualitative ou quantitative d'une région. Sachant que cette dernière se caractérise par des précipitations annuelles faibles, à distribution très irrégulière dans le temps comme dans l'espace, et notablement inférieures à l'évaporation potentielle annuelle (G.Margat, 1985). Les gradients de ces indices servent également à délimiter des zones en fonction de leur pluviométrie. Ces indices peuvent être utilisés, comme facteur pouvant permettre une classification du climat.

3-1-1-Diagramme pluviothermique de GAUSSEN (P=2T):

Les diagrammes pluviothermique établis, pour les stations de Biskra et Ain Touta (fig.8 & 9), montrent : La station de Biskra, se caractérise par une période sèche s'étalant, sur toute l'année.

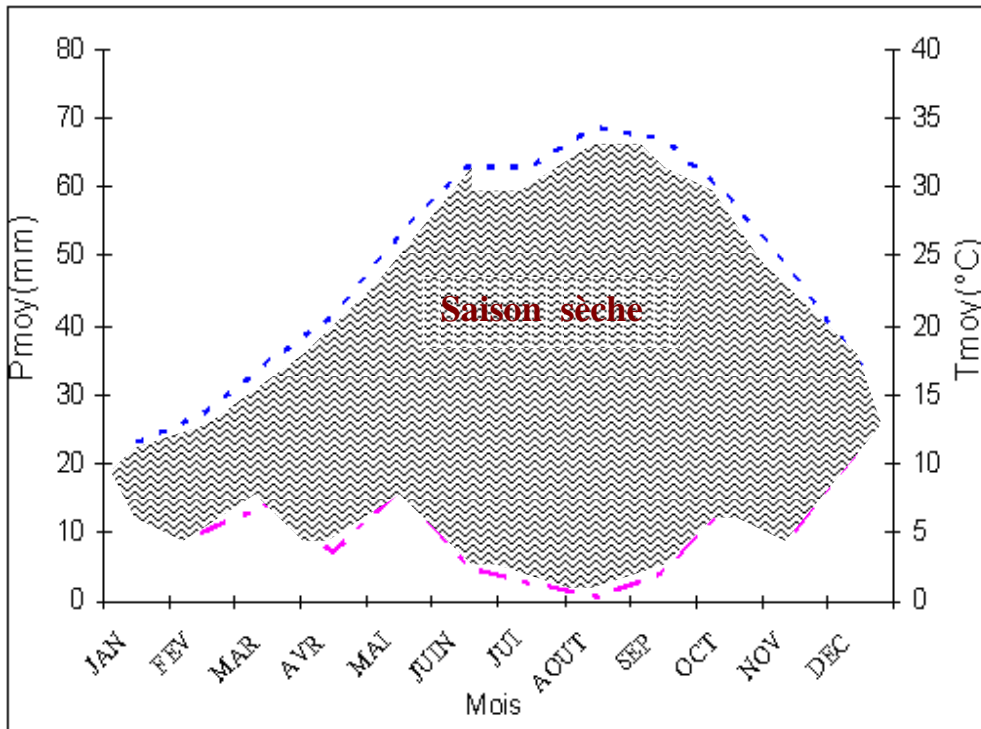


Fig.8 : Courbe pluviothermique de la station de Biskra (1990 -2007).

Au niveau de la station d'Ain Touta, on retrouve deux saisons d'inégales durées :

-L'une humide s'étalant, sur trois mois (Novembre à Février), elle est caractérisée par une précipitation de l'ordre de 34.03mm pendant le mois de Novembre.

-L'autre sèche, s'étalant sur le reste de l'année. La température moyenne maximale de 35,81°C au mois d'Août

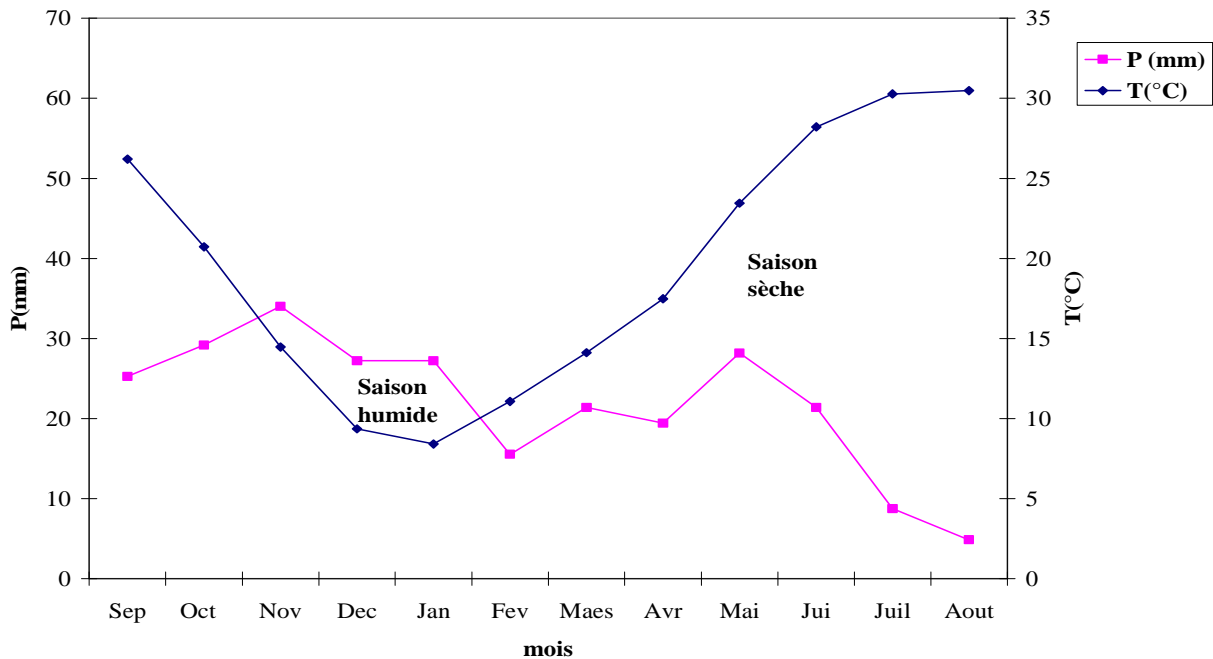


Fig.9: Diagramme pluviothermique de la station de Ain Touta (1989-2004).

3-1-2-Indice d'aridité d'Emberger :

Cette méthode, permet la classification de la région en fonction de son étage bioclimatique. Elle donne un aperçu exact sur le climat de la région ciblée. Elle a été élaboré par d'Emberger. On porte en abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid et en ordonnées le quotient pluviométrique (Q_2) d'Emberger. La formule utilisée dans ce cas est celle de STEWART (1969), car adapté pour l'Algérie.

Avec

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

Q_2 : coefficient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitations moyennes annuelles en (mm).

M : Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud.

m : Températures moyennes des minima du mois le plus froid.

Le Climagramme d'Emberger permet de classer les stations de la méditerranée au sein de cinq (05) étages bioclimatiques : humide, sub-humide, semi-aride, aride et saharien. Le Climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit.

L'indice Q_2 des stations de Biskra et de Ain Touta, a été calculé à partir de cette formule. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 02: Valeurs de l'indice d'aridité de l'Emberger

Station\ Paramètres	T (min) (°C)	T (max) (°C)	P (mm)	Q (indice d'aridité)	Etage bioclimatique
Biskra	9.4	36.3	124.4	15.86	saharien
Ain Touta	4,36	35,81	214.74	23,28	aride

Le report des indices calculés sur le diagramme (fig.10), montre que Biskra se situe dans l'étage Saharien, à hiver doux et Ain Touta dans l'étage Aride, à hiver tempéré.

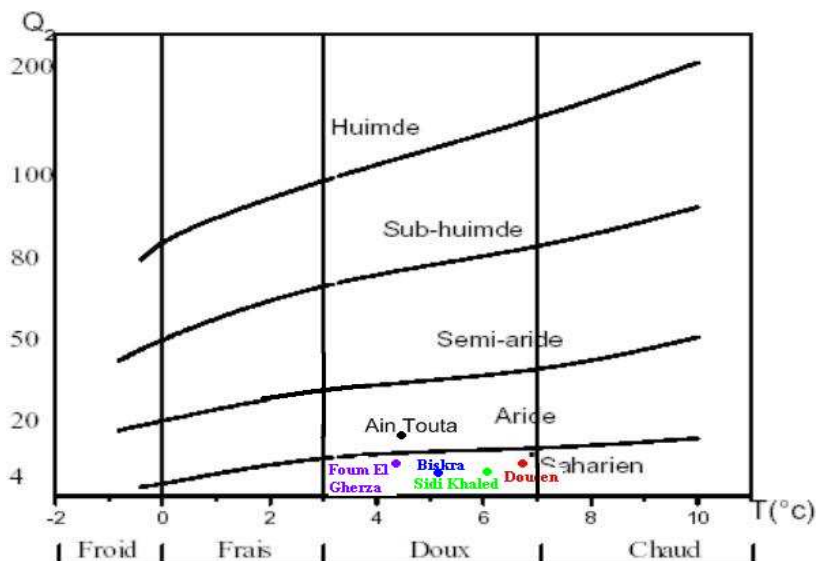


Fig.10 : Diagramme d'Emberger aux différentes stations.

3-1-3-Indice d'aridité de De Martonne:

En 1926, Emmanuel de Martonne élabore un système de classification des climats en utilisant une méthode statistique. Il utilise un indice regroupant des données hydrométriques et thermiques. Cette méthode statistique est caractérisée par la formule suivante:

$$I_M = P / (T + 10) \text{ avec : } I_M: \text{ indice d'aridité annuelle.}$$

P: Précipitations moyennes annuelles (mm), T: Températures moyennes annuelles (°C).

Pour $20 < I_M < 30$: climat tempéré.

$10 < I_M < 20$: climat semi-aride.

$7.5 < I_M < 10$: climat steppique.

$05 < I_M < 7.5$: climat désertique.

$I_M < 5$: climat hyperaride.

L'application de cette formule, donne les résultats récapitulés dans le tableau 03.

Tableau 03: Valeurs de l'indice d'aridité annuel, stations de Biskra et de Ain Touta.

Station	P (mm)	T (°C)	I _M
Biskra	124.4	22.6	3.82
Ain Touta	214.74	19.52	7.27

Selon les valeurs obtenues, nous pouvons affirmer que le climat de Biskra est de type hyperaride ($I_M = 3.82$) par contre celui de Ain Touta est désertique ($I_M = 7.27$). Pour plus de précision, nous allons calculer l'indice d'aridité mensuel. Ce dernier est donné par l'équation suivante :

$$i_M = 12p / (t + 10), \text{ Avec :}$$

i_M : indice d'aridité mensuelle. p : Précipitations mensuelles en mm, T : Températures mensuelles en °C

Les valeurs calculées sont reportées au tableau suivant :

Tableau 04: Indice d'aridité mensuel calculé (Biskra et Ain Touta).

Station\ Mois	Sep	Oct.	Nov.	De.	Jan	F	Mars	Av	Mai	Juin	Juil	Août
Biskra	4.14	3.61	9.77	8.04	9.77	7.99	6.46	6.23	1.63	0.75	0.17	1.12
Ain Touta	8.38	11.39	16.5	16.87	17.73	8.86	10.64	8.49	10.11	6.72	2.6	1.44

Les résultats obtenus, montrent des variations de l'indice mensuel, ainsi au niveau de la station de Biskra l'indice d'aridité oscille entre 0.75 et 10, par contre à Ain Touta, il s'étale entre 1.44 et 17, ce qui laisse supposer une variation mensuel du type de climat. La figure 11, montre, les variations mensuelles du climat

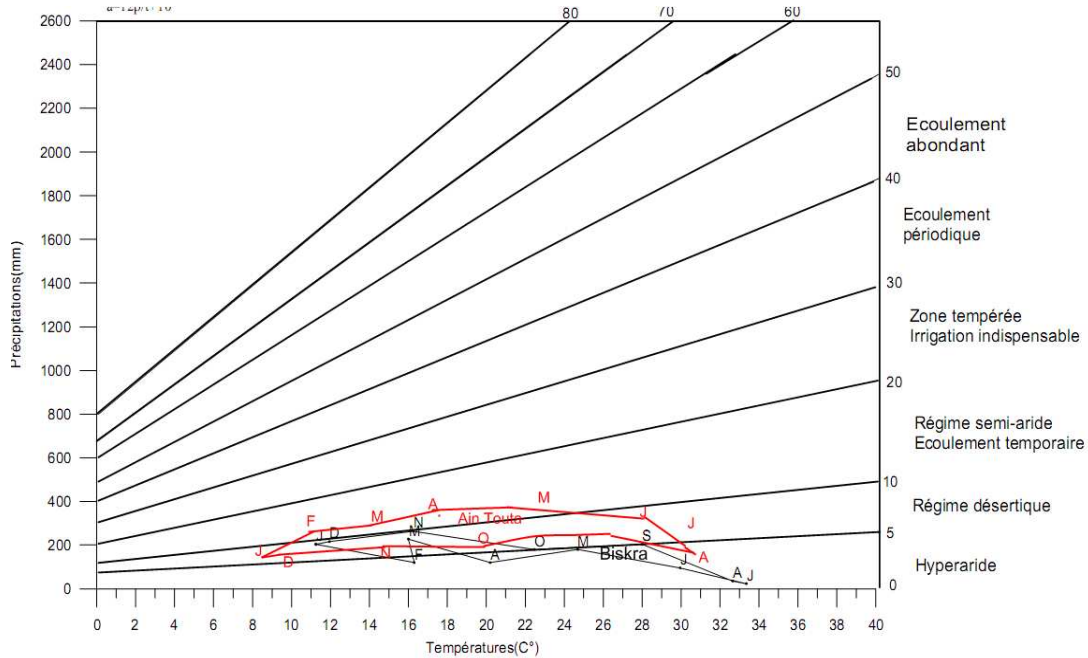


Fig.11: Variations mensuelle du climat aux stations de Biskra et de Ain Touta.

L'indice mensuel d'aridité, montre que le climat régnant à Ain Touta, est de type semi aride aux mois de Février, Mars, Avril et Mai, par contre il est désertique pour le reste des mois de l'année. A Biskra, le climat est hyperaride au cours des mois de Février, Avril, Juin, Juillet et Août, alors qu'il est désertique pour le reste des mois composant l'année. Les deux méthodes utilisées, permettent de dire que le climat de la région d'étude est du type méditerranéen désertique caractérisé par des étés très chauds et secs et des hivers doux (Brinis, 2000).

3-1-4- Indice de l'UNESCO (1977):

En zone aride, l'évaporation peut atteindre 10 à 20 fois, la quantité d'eau qui tombe (Margat, 1985). Aujourd'hui, la classification la plus universelle des régions arides est celle proposée par l'UNESCO en 1977. Cette classification est réalisée sur la base des valeurs du rapport P/ETP (Smith & Koala, 1999), avec P = le total des précipitations moyennes annuelles et ETP l'évapotranspiration potentielle calculée avec la formule de Penman. Ceci a permis de classer les régions arides en zones, ainsi ont été définies les zones suivantes : hyperarides, arides, semi-arides et sub-humides (Tableau.05).

Tableau 05: Classement des zones arides.

Type de climat	Hyperaride	Aride	Semi- aride	Sub-humide
----------------	------------	-------	-------------	------------

P/ETP	<0.03	0.03 à 0.2	0.2 à 0.5	0.5 à 0.75
Pluviométrie (mm/an)	0-50	50-200	200-500	> 500

Appliquée aux stations étudiées, la formule donne les résultats reportés dans le tableau 06.

Tableau 06: Valeurs de l'indice d'aridité d'après l'UNESCO, 1977.

Station	P (mm/an)	ETP (mm/an)	P/ETP	Type de climat
Biskra	124.46	1224.05	0.1	Aride
Ain Touta	262.49	1072.51	0.24	Semi aride

Les résultats obtenus, montrent que le climat régnant à Biskra est aride par contre celui caractérisant Ain Touta est semi aride.

4-Etude des paramètres climatiques :

4-1- la pluviométrie:

La précipitation demeure un facteur primordial, pour la réalisation d'une étude climatique. Le présent travail est réalisé, sur la base des données enregistrées aux stations de Biskra, de Doucen, de Foug El Gherza, de Sidi Khaled et Ain Touta. Notons que la période d'observation varie d'une station à l'autre. Ces informations sont condensées dans le tableau 07 suivant :

Tableau 07: Indications sur les stations pluviométriques de la région.

Station	Coordonnée (Km)			Période d'observation
	X	Y	Z	
Biskra	777	178	120	1974-2007
Doucén	721	149	102	1974-2005
Foug El Gherza	794.94	177.6	100	1971-2005
Sidi Khaled	710.5	124	220	1978-2008
Ain Touta	790	235.9	917	1989-2004

4-1-1-Carte des moyennes pluviales:

La carte des précipitations (fig.12), montre une variation de la répartition des précipitations, allant de 100 à 500 mm, cette répartition se fait selon les régions, ainsi nous distinguons plusieurs zones :

- Une zone au Sud- Est de Biskra (Bordj Chegga), les précipitations sont inférieures à 100mm.

- Une zone de grande extension, englobant entre autre la ville de Biskra, caractérisée par des précipitations comprise entre 100mm-200 mm. Ces précipitations sont également enregistrées à Branis, Sidi Okba, Ain Naga, Tolga, Doucen, Ouled Djellal et Sidi Khaled).
- Au nord de Biskra, se localisent les contrées, dont les précipitations, varient entre 200mm-300 mm, c'est particulièrement le cas d'El Outaya et d'El Kantara.
- Les précipitations allant de 300mm à 500mm, caractérisent les zones des montagnes tel que Dj Houdja, Dj Fouchi, Dj Metlili et Dj El Azreg.

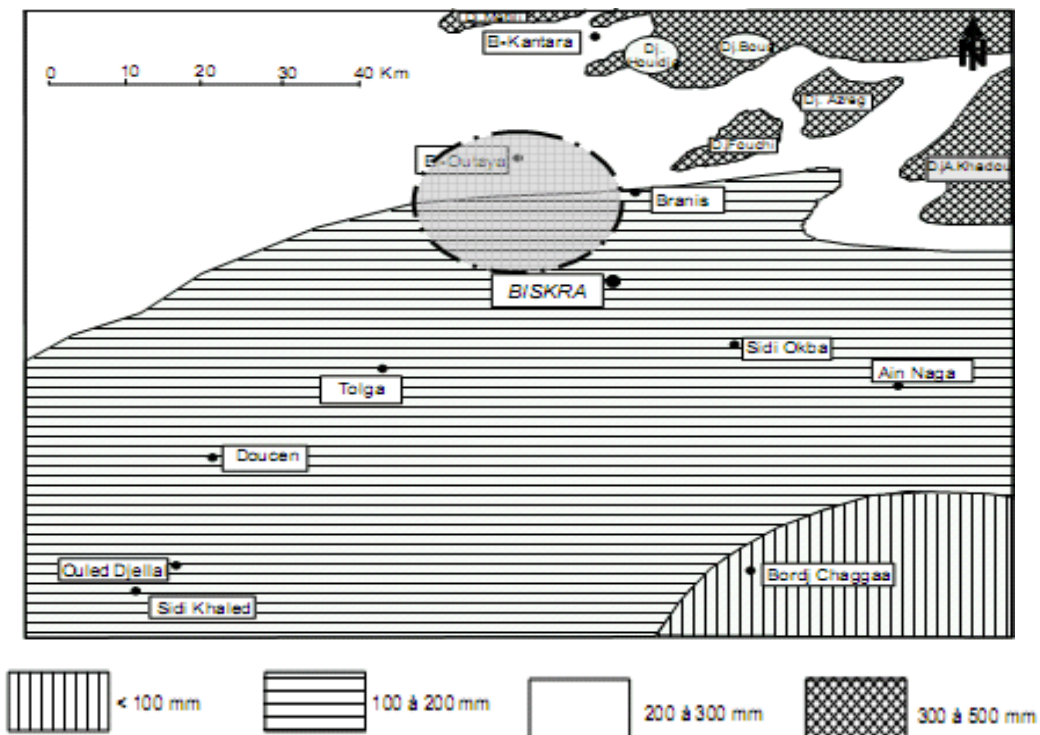


Fig. 12 : Carte pluviométrique de la région de Biskra (extrait de la carte d'Algérie 1/500000, 1971).

4-1-2: Les Précipitations annuelles et leurs variabilités :

Bien que la notion de la moyenne pluviométrique estompe la réalité des faits climatiques, notamment en domaine méditerranéen, sa connaissance demeure nécessaire pour la détermination du bilan moyen annuel de l'écoulement. Elle permet également de cerner la variabilité des pluies sur de longues périodes, néanmoins, cette variabilité doit être précisée par des moyens statistiques qui permettent de lier les hauteurs précipitées à leur durée de récurrence. La station Biskra est implantée au niveau de l'Aéroport distant de 5 kilomètres de la ville. Cette station fonctionne depuis 1913, cependant la chronique des précipitations disponible, débute en 1973. Elle est considérée comme station référence. La station Doucen est située à l'Ouest de Biskra à une altitude de 102m. Elle fonctionne depuis 1972. La station Foum El Gherza, située à l'Est de Biskra et

porte le nom du barrage où elle est implanté, elle se situe à une altitude de 100m. Elle fonction depuis 1954 mais les enregistrements disponibles débutent en 1971.

Tableau 08: Statistiques élémentaires des précipitations annuelles.

Paramètres statistiques	Stations étudiées			
	Doucen	Biskra	Sidi Khaled	Foum El Gherza
Années d'observation.	32	34	31	35
Moyenne (mm)	79	110.55	113.19	98.34
Max (mm)	205	226.87	258.4	213
Min (mm)	2	26	24.7	25
Ecart type (mm)	57.1	50.55	64.46	47.81
Coefficient de Variation	0.72	0.46	0.57	0.49
Coefficient d'asymétrie	0.59	-0.03	0.69	0.35

Le tableau précédent montre, que le coefficient de variation, dépasse 50% pour les stations de Doucen (0.72) et Sidi Khaled (0.57). Les graphes (fig. 13, 14, 15, 16 et 17), montrent la répartition des années par rapport à la moyenne annuelle. Au niveau de la station de Biskra, les dernières années sont considérées comme excédentaires $P_{\text{enr}} > P_{\text{moy}}$.

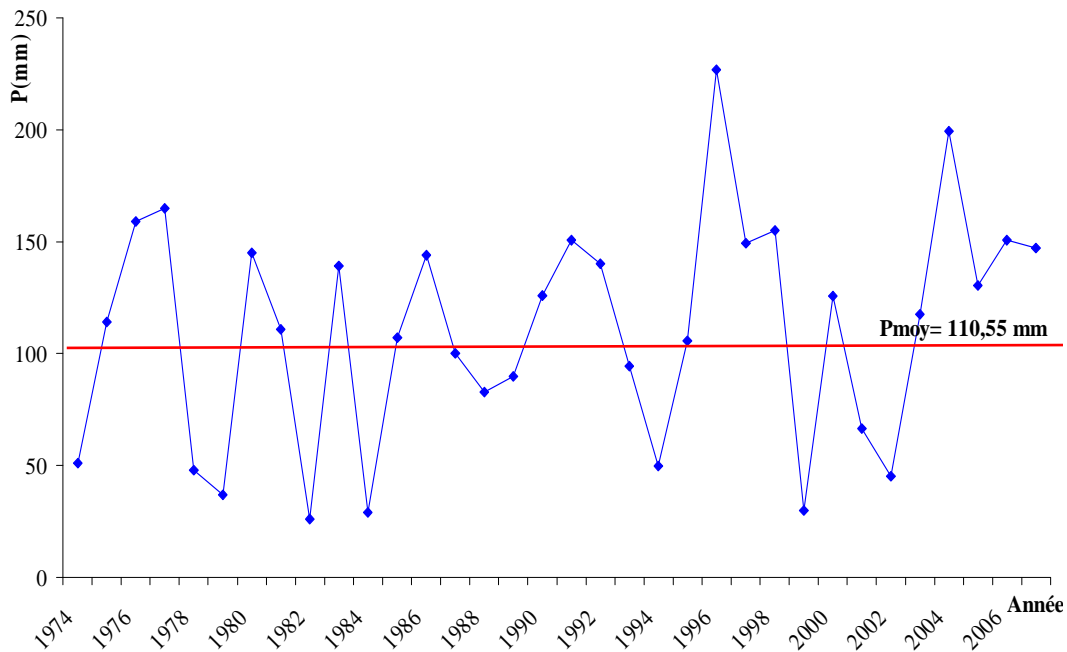


Fig.13: Variations interannuelles des précipitations (station de Biskra).

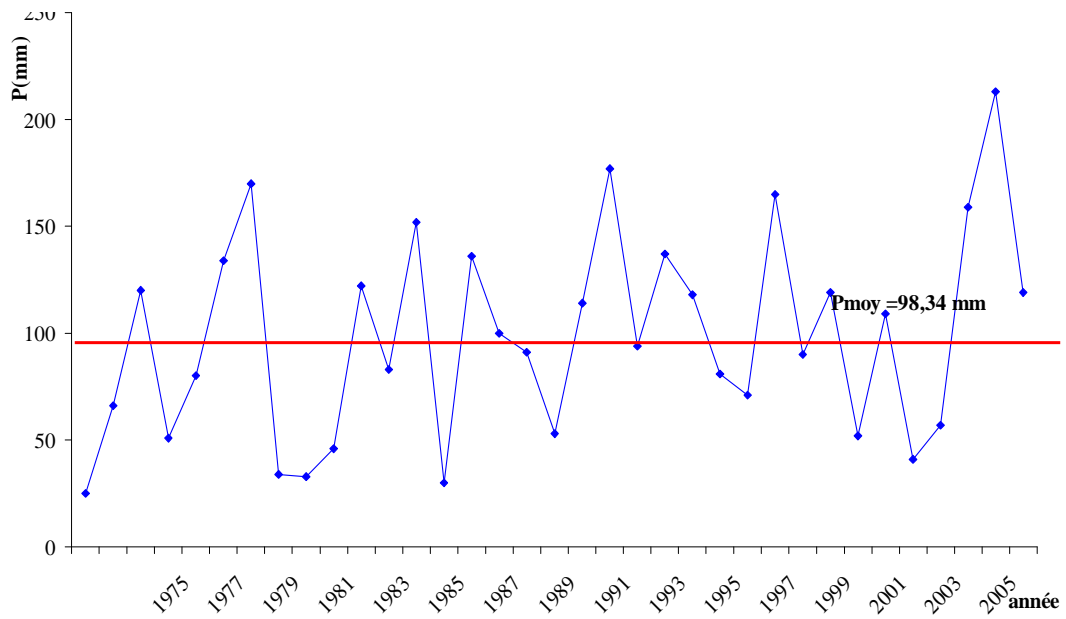


Fig.14: Variations interannuelles des précipitations (station de Fom El Gherza)

On retrouve la même évolution que celle remarquée à Biskra. C'est-à-dire un excédent au niveau de la station de Fom El Gherza

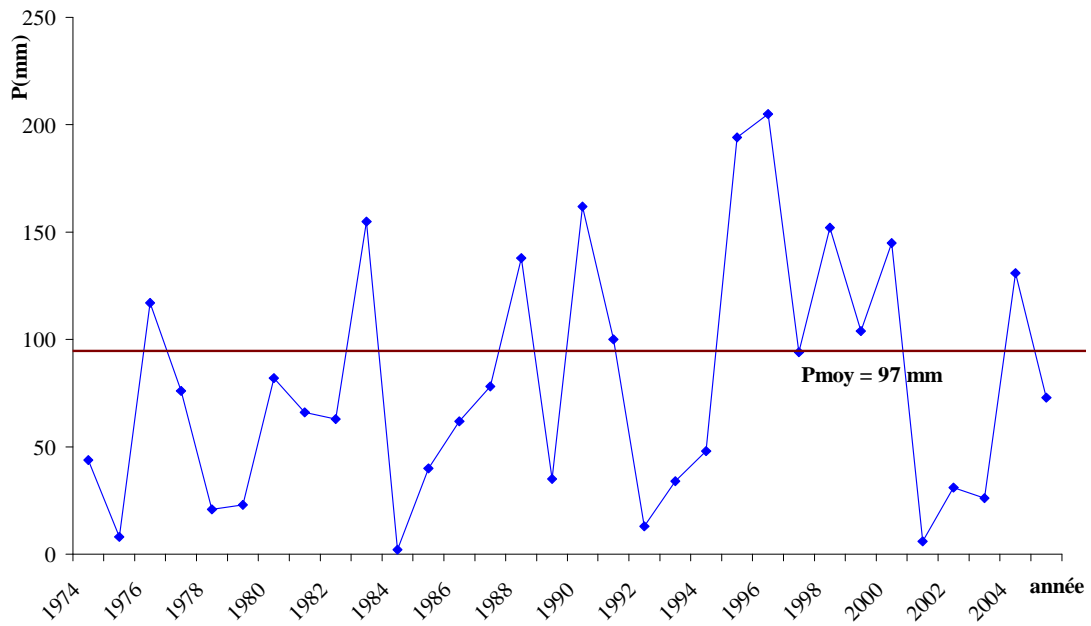


Fig. 15: Variations interannuelles des précipitations (station de Doucen).

La période 1994-2002, est marquée par un excédent. Au-delà le déficit est très prononcé.

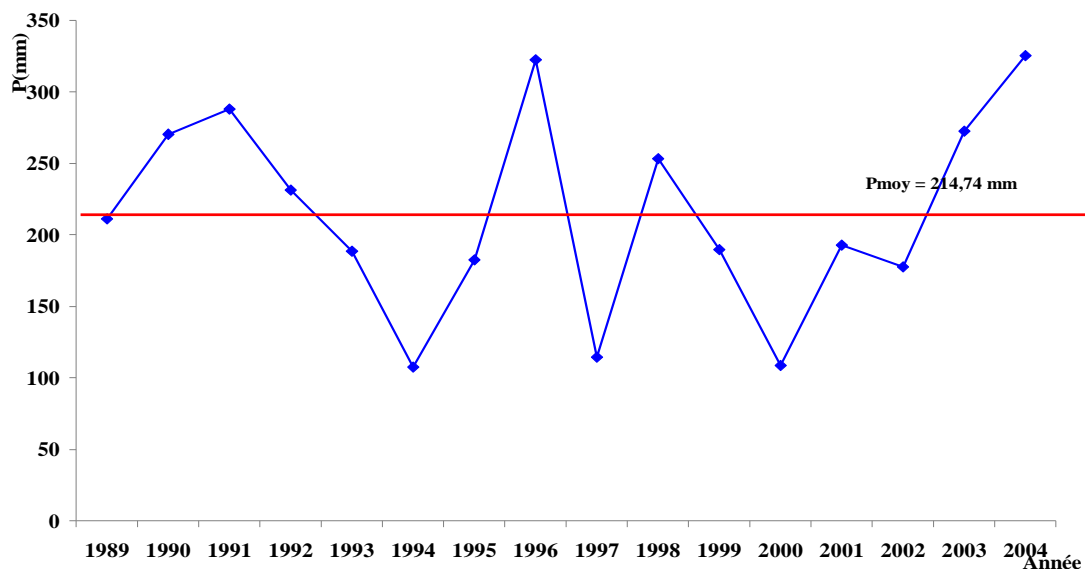


Fig.16: Variations interannuelles des précipitations (station de Ain Touta).

On note un excédent à partir de 2002, il s'étale jusqu'à en 2005.

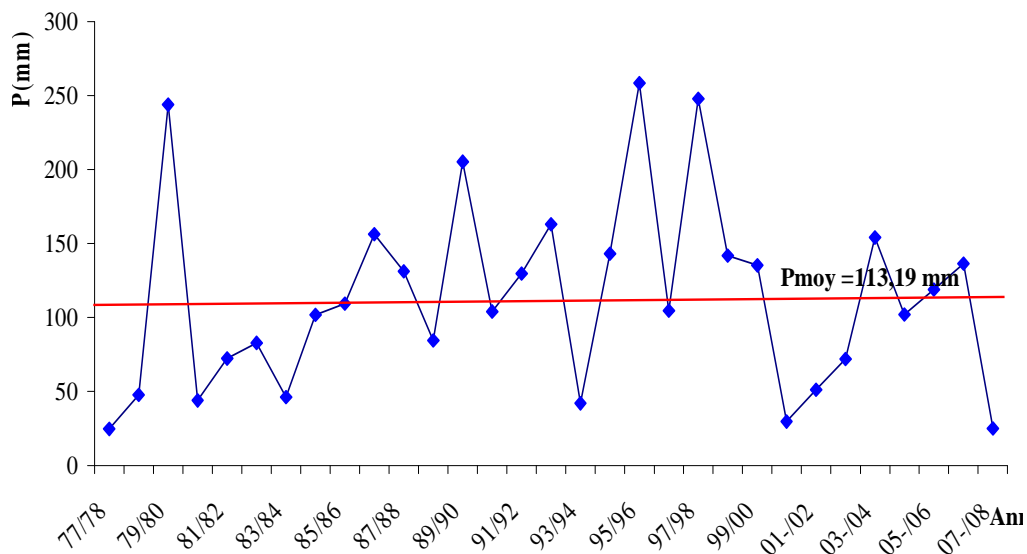


Fig. 17: Variations interannuelles des précipitations (station de Sidi Khaled).

On retrouve une évolution presque identique à celle de Doucen. C'est-à-dire qu'un déficit est enregistré au niveau de cette station au cours de ces dernières années.

Il convient de remarquer, que malgré leur proximité, la variation interannuelle des précipitations, n'est pas la même au niveau des différentes stations. Ce qui revient à dire qu'il ne pleut pas au même moment et de la même manière au niveau des stations étudiées.

4-1-3-Variations temporelles des précipitations annuelles:

Afin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de "L'écart à la moyenne" correspondant à l'excédent ou au déficit des précipitations de l'année considérée. Ce dernier est rapporté au nombre d'années d'observations, c'est-à-dire dans notre cas 32 ans. Cet écart est calculé par :

$$E_i (\%) = (P_i - P_n / P_n) \cdot 100$$

Avec:

E_i = écart à la moyenne, **P_n** = module pluviométrique moyen, **P_i** = total de l'année considérée.

L'écart à la moyenne, calculé (tableau 08), au cours des années pluvieuses varie, entre +159.49% à Doucen et + 0.4% à Biskra, avec une moyenne de +45.31 % pour toute la région d'étude. Pour les années sèches, il s'étale entre -97.46% et -1.26% à Doucen. La valeur moyenne est de -40.87%.

4-1-3-1-Le coefficient d'irrégularité du régime des précipitations annuelles :

C'est le rapport du module de l'année la plus humide P_M à celui de l'année la plus sèche P_m, celui de Biskra a une valeur moyenne de 8.73. Pour Ain Touta il est égal à 3 et atteint plus de 10 Sidi khaled. Cette variation traduit une irrégularité spatiale et temporelle du régime pluviométrique au niveau de la zone étudiée. L'influence du relief (au Nord) et du désert (au Sud), constituent les causes essentielles de ces variations spatiales des précipitations annuelles.

4-1-3-2-Les variabilités inter annuelles des modules pluviométriques :

Elles sont exprimées, par le coefficient de variation (Cv), traduisant ainsi la dispersion relative des pluies. Les valeurs du coefficient de variations calculées au niveau des stations (tableau.09), pour la période (1970-2007), oscillent entre 0.72 et 0.46, ce qui implique une variabilité qui passe du simple au double. Il est à remarquer que la variabilité inter annuelle est légèrement plus forte à la station de Doucen (0.72), autrement dit, l'irrégularité pluviométrique s'accroît là où la hauteur de pluie est la plus faible.

Tableau 09: Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques.

Station	Moyenne (mm)	Max (mm)	Min (mm)	Durée	Ci=P_{max}/P_{min}
Biskra	110,55	226,87 (1997)	26 (1982)	20	8.73
Foum El Ghersa	98,33	213 (2004)	25 (1971)	17	8.52
Doucen	97	205 (1996)	21 (1984)	12	9.76
Sidi Khaled	113.19	258.4 (1996)	24.7 (1978)	14	10.46
Ain Touta	214,74	325,32 (2004)	107,45 (1994)	7	3.02

La variabilité interannuelle des précipitations peut s'exprimer par un coefficient pluviométrique C_{pa} (annexe 01) qui permet de déterminer les années excédentaires des années déficitaires.

Mathématiquement, il est calculé par la formule suivante : $C_{pa} = H_i / \bar{H}$ dont :

C_{pa} : coefficient pluviométrique annuel.

H_i : pluviométrie annuelle d'une année donnée en mm.

\bar{H} : Pluviométrie moyenne annuelle d'une période donnée en mm.

Si $C_{pa} > 1$, l'année correspondante est excédentaire.

Si $C_{pa} < 1$, l'année correspondante est déficitaire.

Les résultats de calcul de coefficient pluviométrique des cinq stations étudiées sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau. 10 : Tableau récapitulatif des années déficitaires et excédentaire de différentes stations.

Station	Années excédentaires	Années Déficitaires	Observation
Ain Touta	7	9	D>E
Biskra	15	19	D>E
Doucen	13	19	D>E
Foum El Gherza	17	18	D>E
Sidi Khaled	14	17	D>E

L'observation du tableau précédent, montre que le nombre d'années sèches est généralement plus élevé que celui des années humides, mais les écarts ne sont pas très importants. Au niveau des stations de Ain Touta et de Foum El Gherza, l'écart maximum est de 2 par contre au niveau des stations de Doucen, de Sidi Khaled et de Biskra, la différence est de 4 au bénéfice des années déficitaires. Ceci, est confirme les résultats obtenus par (Djellouli, Y, 1991, Aziz Hirche, 2007), qui ont montrés une alternance de séquences sèches et pluvieuses non périodiques, qui dépassent rarement trois à quatre ans. Aucune tendance nette n'est observée dans les stations sahariennes et présahariennes. Dans la seconde moitié du siècle.

On remarque également de la fin des années 70 jusqu'à la fin des années 80, l'existence d'une tendance à l'assèchement nette et durable du climat de l'Algérie. Cela est en adéquation avec les travaux de Meddi (2004) qui a démontré une rupture de stationnarité à partir des années 1970. Elle correspond à un déficit pluviométrique particulièrement net durant la période 1980-1990. Cependant à partir de 1997, l'augmentation de la pluviosité est perceptible, mais sans atteindre un excédent conséquent.

4-1-4 Précipitations mensuelles :

Ces dernières agissent directement sur l'écoulement saisonnier des cours d'eau. Elles influencent également l'infiltration, l'érosion des sols et le transport solide. Pour mieux comprendre ces mécanismes,

nous allons, étudier les variations de la moyenne mensuelle des précipitations ainsi que les maxima et les minima mensuels observés.

4-1-4-1: Coefficient pluviométrique mensuel :

Pour mettre en évidence la répartition des pluies mensuelles, indépendamment de leur valeur absolue. On calcul le coefficient pluviométrique mensuel pour chaque mois, il correspond au rapport en % d'une pluie mensuelle à la valeur d'une pluie moyen mensuel fictive égale à la moyenne annuelle (1/12) du module pluviométrique moyenne annuelle.

$$CPm = (Pm / Mp) * 100$$

Avec **Pm**: précipitation du mois considéré en mm;

Mp : Module pluviométrique moyenne.

Le tableau 11, récapitule les résultats obtenus et permet les observations suivantes :

Tableau. 11: Précipitation moyennes mensuelles des stations.

Station	Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
	Valeur												
Biskra	Moy	11.0	8.9	15.4	9.2	15.4	6.7	13.2	12.1	9.6	5.5	1	3.9
	Max	67	41	58	54	82	37	60	89	64	23	5	20
	Min	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
	CP %	9.8	7.9	13.7	8.2	13.7	6.0	11.8	10.8	8.5	4.9	0.9	3.4
Doucen	Moy	10.8	6.2	8.6	9	7.0	4.8	10.2	5.9	6.1	6.0	0.6	2
	Max	86	81	48	77	71	25	78	61	68	109	12	15
	Min	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	0	1
	CP %	13.9	8.0	11.1	11.6	9.0	6.2	13.2	7.5	7.9	7.8	0.8	2.5
Foum El Gherza	Moy	9.1	8.4	15.8	7.8	10.5	8.4	13	10.2	7.1	3.6	0.2	3.3
	Max	40	38	46	46	111	48	88	53	41	35	9	30
	Min	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	0	1
	CP %	9.3	8.6	16.1	8.0	10.7	8.6	13.2	10.4	7.3	3.7	0.2	3.4
Sidi Khaled	Moy	20.1	8.6	12.2	11.9	11.5	6.7	10.0	11.6	9.5	4.4	1.1	3.2
	Max	90	45	55	70.5	87.9	31	48	68.9	62.4	37.1	20.2	15
	Min	1.7	1	1	1	2	2	0.6	0.5	0.2	1	0.5	1
	CP %	17.8	7.5	10.8	10.5	10.2	5.9	8.8	10.2	8.4	3.9	1.0	2.9

- La valeur du coefficient pluviométrique calculée, nous permet de classer les mois en fonction de leur pluviométrie. Un mois sera considéré comme pluvieux, si sa moyenne est supérieure à la moyenne annuelle de 1/12 (c'est-à-dire > 8,3%) ainsi, nous pouvons dire que les mois de septembre (9.8), de novembre (13.7%), de janvier (13.7%), de mars (11.8%), d'avril (10.8%) et mai (8.5%), sont considérés comme pluvieux et ils totalisent 68.5% de la pluie au niveau de la station de Biskra.

- Concernant la station de Doucen, nous remarquons que le mois de septembre (13.9%), de novembre (11.1%), de décembre (11.6%), de janvier (9%) et de mars (13.2%), sont les plus pluvieux, totalisant 59% des pluies totales.
- Au niveau des stations Foug El Gherza, les mois les plus pluvieux sont, le mois de septembre (9.3%), d'octobre (8.6%), de novembre (16.1%), de janvier (10.7%), de février (8.6%), de mars (13.2%) et d'avril (10.4%). Le total atteint 75.9 %.
- A Sidi Khaled, les mois les plus pluvieux, correspondent au mois de septembre (17.8%), de novembre (10.8%), de janvier (10.5%), de mars (8.8%), d'avril (10.2%) et de mai (8.4%), soit un total de 76.7 %.

4-1-4-2: Variations mensuelles des maxima, minima et de la moyenne aux stations étudiées :

Les résultats obtenus, permettent de réaliser les histogrammes (fig.18, 19, 20 et 21). L'observation réalisée, nous permet de déduire les constatations suivantes :

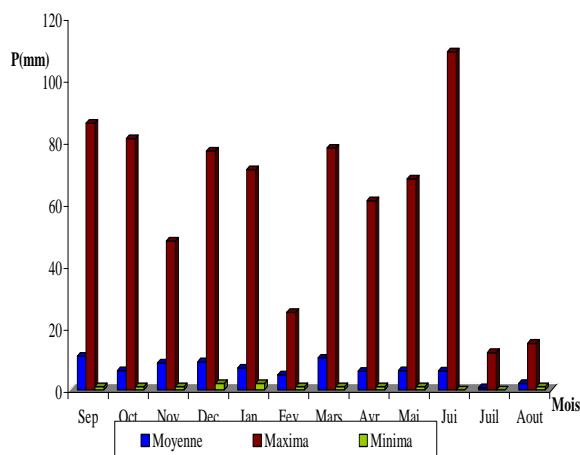
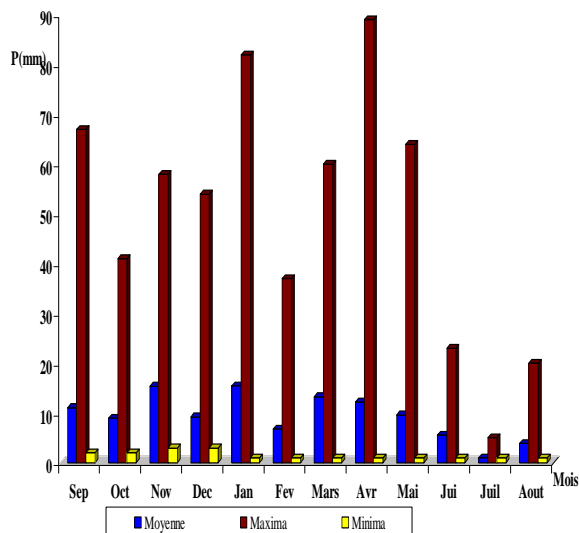


Fig.18 et 19: Variations mensuelles des précipitations, stations Biskra et Doucen

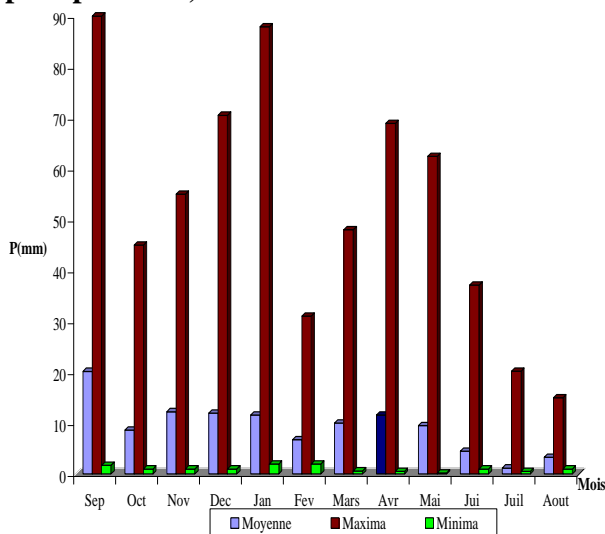
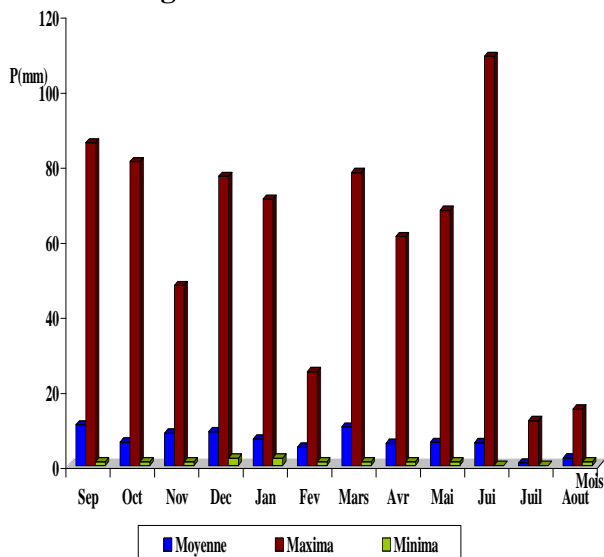


Fig.20 &21 : Variations mensuelles des précipitations, stations Foum El Gherza et Sidi Khaled.

Station Biskra:

- La moyenne maximale ne dépasse pas 90 mm et est enregistrée en février.
- Le minimum en juillet et août

Station Doucen:

- La valeur moyenne maximale ne dépasse pas les 120 mm et est observée en février
- Le minimum en juillet et août

Station Foum el Gherza:

- La moyenne mensuelle maximale ne dépasse pas les 110 mm et est enregistrée en janvier.
- Le minimum en juillet.

Station sidi Khaled:

- Les valeurs maximales sont inférieures à 90 mm et sont enregistrées aux mois de septembre et de janvier.
- Le minimum est enregistré au mois de juillet.

D'après les figures (20 et 21), le mois le plus pluvieux diffère d'une station à l'autre, mais en général il se situe soit en hiver (janvier ou février) ou au automne pendant le mois de septembre.

Les mois les plus secs sont les mois de juillet et Août.

4-1-4-3: Répartition mensuelle des précipitations :

L'observation de la figure 22, montre :

- La station d'Ain Touta, est la plus pluvieuse, ceci est probablement dû à sa position par rapport aux autres stations et à son altitude. En effet, elle se situe au Nord des autres stations et à une altitude de 900m, ce qui explique cette particularité.
- La station de Doucen située au Sud de Biskra, est la moins arrosée. La moyenne maximale ne dépasse pas 10 mm, elle s'observe au mois de septembre par contre le minimum caractérise le mois de juillet.

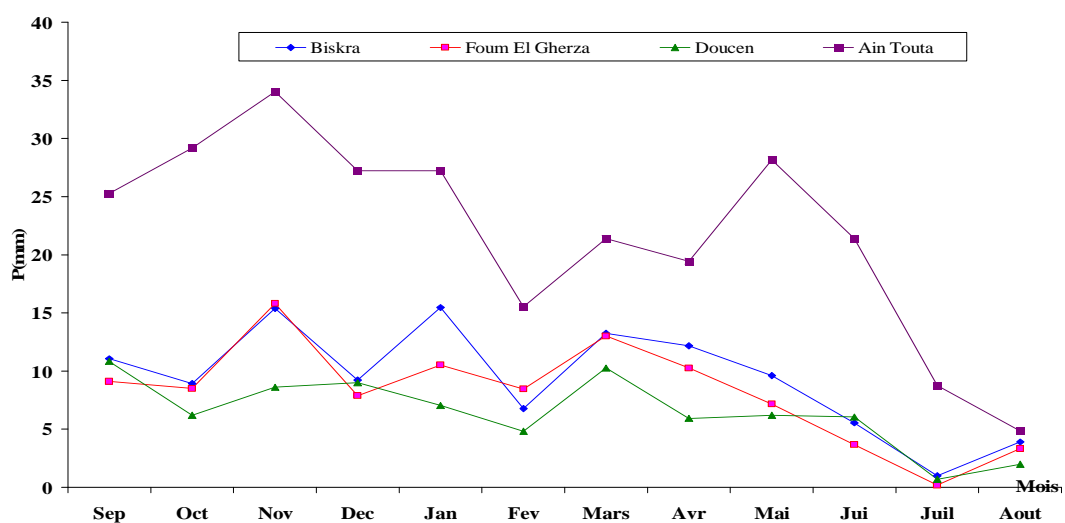


Fig. 22: Variation mensuelles des précipitations aux différentes stations.

4-1-5: Les précipitations saisonnières:

Les précipitations saisonnières pour les différentes stations sont reportées au tableau 12.

Tableau 12: Précipitations moyennes saisonnières.

Station\ Saison	A	H	P	E	Total Annuel	Répartition saisonnière
Doucen	25.67 Soit 33.06%	20.86 Soit 26.86%	22.38 Soit 28.21%	8.74 Soit 12%	77.65 100%	A.P.H.E
Foug El Gherza	33.39 Soit 34.12%	26.85 Soit 27.44%	30.4 Soit 31.07%	7.2 Soit 7.36%	97.84 100%	A.P.H.E
Biskra	35.39 Soit 31.50%	31.45 Soit 28%	35.03 Soit 31.18%	10.46 Soit 9.31%	112.33 100%	A.P.H.E
Sidi Khaled	41.54 Soit 36.75%	30.29 Soit 26.8%	32.13 Soit 28.42%	9.06 Soit 8.02%	113.02 100%	A.P.H.E
Ain Touta	88.5 Soit 33.71%	70 Soit 26.67%	69 Soit 26.29%	35 Soit 13.3%	262.5 100%	A.H.P.E

L'organisation des saisons n'est pas homogène dans la région d'étude, elle dépend du régime pluviométrique propre à chaque secteur géographique.

Ainsi nous avons, deux saisons qui se partagent le maximum, l'Automne où le total de pluie varie entre 88.5 et 25.67 mm, et le printemps avec des valeurs comprises entre 69 et 22.38 mm pour les trois stations

(Biskra, Doucen, Foum El Gherza et Sidi Khaled) et selon la direction Nord -Sud. Néanmoins la différence des totaux pluviométriques est faible sauf que la station de Ain Touta qui représente par un régime saisonnière de type A.H.P.E avec un total pluviométrique annuelle de l'ordre de 262.5 mm..

Pour toute la région de Biskra, (fig. 23), en moyenne, le maximum saisonnier se situ en Automne (35.39mm) suivi par un maximum secondaire (35.03mm) au printemps, l'été (10.46 mm) étant la saison la plus sèche. En outre l'hiver est lui aussi relativement pluvieux avec 31.45 mm en moyenne.

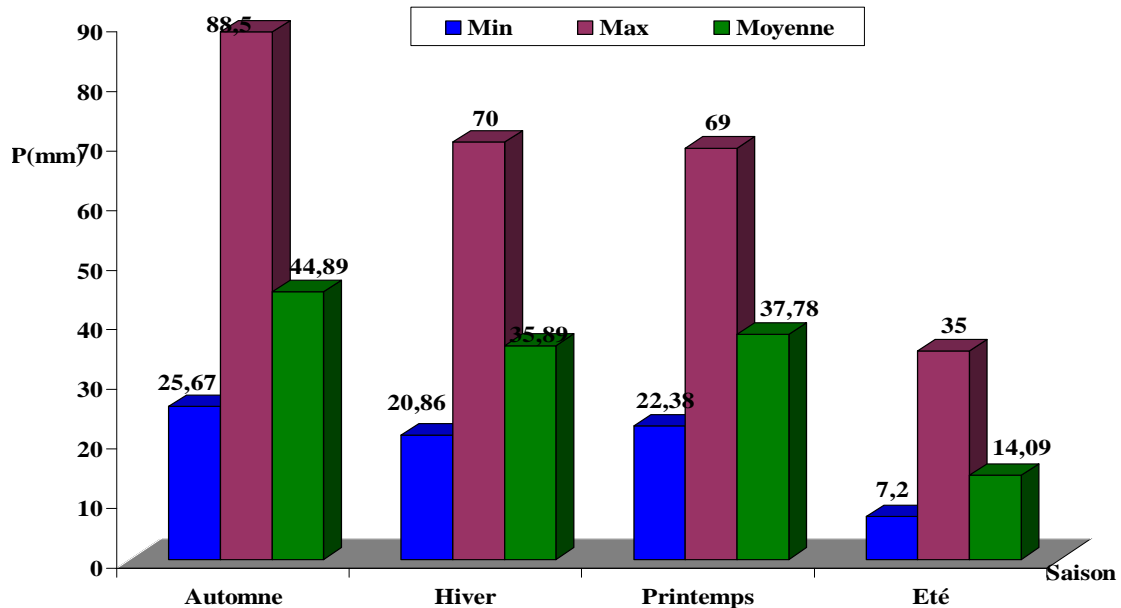


Fig. 23: Variation saisonnière des précipitations dans la région de Biskra.

4-1-6-Les précipitations journalières:

On utilise les données relatives à la période (1913-1938) pour la station de Biskra. Le tableau 13 comporte le nombre moyen de jours de pluies par mois.

Tableau 13 : jours de pluie par mois.

Jour de pluie\Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
Nbr de jours de pluie	4	3	5	2	3	2	2	3	3	3	4	3	37

On définit :

- ✓ Un coefficient de fréquence = jours de pluies pour le mois considéré/ le nombre de jours pendant le même mois : exemple le mois de mars $Cf = 5 / 31$

- ✓ Un coefficient d'intensité = précipitation mensuelle/ nombre de jours de pluie : exemple le mois de janvier $C_i = P_m / 4$ où

P_m : précipitation du mois de janvier

Les résultats sont reportés au tableau 14 :

Tableau 14: coefficient de fréquence et intensité des précipitations au niveau des stations étudiées.

Station \ Coefficients		Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Biskra	Cœf. de fréquence (Cf)	0.13	0.11	0.16	0.07	0.1	0.07	0.06	0.1	0.1	0.1	0.13	0.1
	Coef d'intensité (Ci)	3.6	3.27	2.95	7.98	1.65	1.3	0.32	1.36	4.51	3.36	5.49	3.88
Doucen	Cœf. de fréquence (Cf)	0.13	0.11	0.16	0.07	0.1	0.07	0.06	0.1	0.1	0.1	0.13	0.1
	Coef d'intensité (Ci)	1.78	.61	2.05	2.97	2.06	3.03	0.34	0.67	3.61	2.07	2.16	3
Foum El Gherza	Cœf. de fréquence (Cf)	0.13	0.11	0.16	0.07	0.1	0.07	0.06	0.1	0.1	0.1	0.13	0.1
	Coef d'intensité (Ci)	2.63	2.82	2.6	5.13	2.38	1.83	0.1	1.11	3.03	2.83	3.95	2.63
Sidi Khaled	Cœf. de fréquence (Cf)	0.13	0.11	0.16	0.07	0.1	0.07	0.06	0.1	0.1	0.1	0.13	0.1
	Coef d'intensité (Ci)	2.89	2.24	2.06	5.99	3.27	2.3	0.59	1.09	6.72	2.87	3.18	3.88

L'observation, du précédent tableau, montre que les pluies sont plus fréquentes en mois de Mars et plus intense au mois d'Avril pour la station de Biskra et Foum El Gherza, par contre au niveau des stations de Doucen et Sidi Khaled, les pluies sont plus intenses ont lieu au mois de septembre.

4-2-Etude du régime thermique:

Les températures moyennes annuelles et mensuelles par leurs variations influencent les phénomènes biologiques, tel que l'évaporation et la transpiration. Elles conditionnent le déficit ou l'excédent, qu'il soit annuel ou saisonnier. Pour réaliser notre travail, nous disposons des températures moyennes mensuelles et

annuelles des stations de Biskra et de Ain Touta. Le tableau, 15, donne un aperçu sur les variations des températures.

En effet, les températures moyennes mensuelles diminuent de 34.3°C à Biskra pour atteindre 30.2 °C à Ain Touta. L'amplitude thermique annuelle qui est définie comme étant la différence entre la température du mois le plus chaud et du mois le plus froid évolue, quant à elle, dans le même sens. Ces données mettent la tendance désertique du climat dans la station de Biskra.

Tableau 15: Indications statistiques sur les températures des stations étudiées.

Station	Mois/ Caractéristique	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Ao	Moyenne Annuelle
Biskra	T°C max	33,9	26,9	17,8	13,9	13,8	15,9	21,3	23,4	29,1	33,5	36,7	36,3	25,2
	T°C min	27	20,8	15,5	10,9	9,4	10,8	15,5	18,8	22,5	28,3	32	27,4	19,9
	Amp	6,9	6,1	2,3	3	4,4	5,1	5,8	4,6	6,6	5,2	4,7	8,9	5,3
	T°C moy	29,2	23,4	16,9	12,4	11,5	13,5	17,3	20,7	26,4	31,4	34,3	33,5	22,6
Ain Touta	T°C max	31,1	25,0	18,2	13,1	12,4	15,6	18,9	22,3	28,6	33,9	35,7	35,8	24,2
	T°C min	21,2	16,4	10,6	5,5	4,3	6,4	9,2	12,6	18,2	22,5	24,7	25,1	14,7
	Amp	9,9	8,6	7,6	7,5	8,1	9,2	9,74	9,6	10,3	11,4	10,9	10,6	9,4
	T°C moy	26,2	20,7	14,4	9,3	8,4	11,0	14,1	17,4	23,4	28,2	30,2	30,4	19,5

4-2-1-Répartition des températures aux stations étudiées :

Les résultats obtenus, nous ont permis d'étudier la variation mensuelle sur une année des températures (fig. 24 a & b).

Station de Biskra :

La baisse des températures s'amorce à partir du mois de septembre et se prolonge jusqu'au mois de janvier, à partir du mois de Février, l'augmentation des températures reprend et atteint son maximum au mois d'Août. Ceci met en évidence la succession de deux saisons.

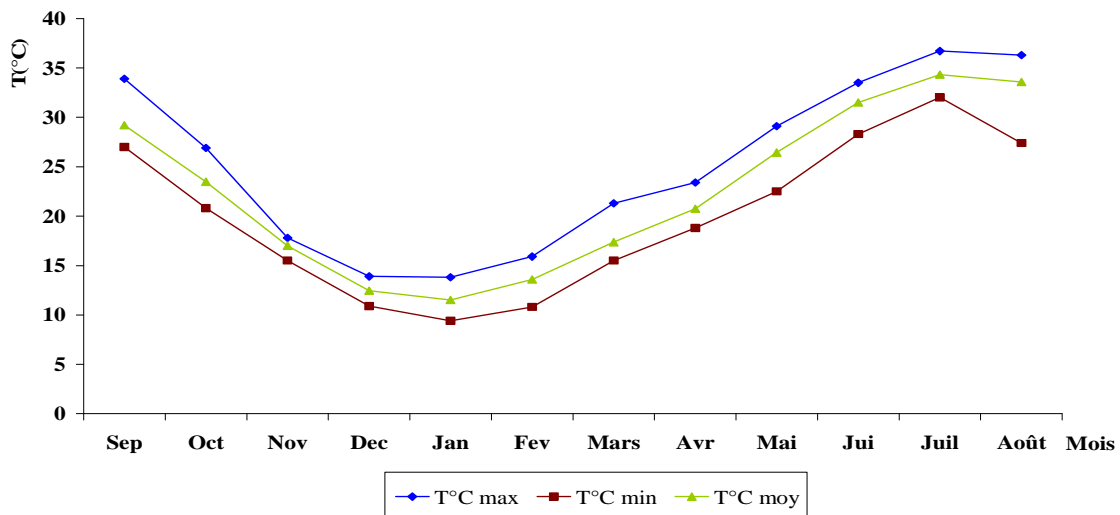


Fig. 24 a: Variations des températures moyennes mensuelles (Biskra).
Station d'Ain Touta : au niveau de cette station (fig.24b), on retrouve une situation analogue à la précédente, cependant les hivers sont plus froids.

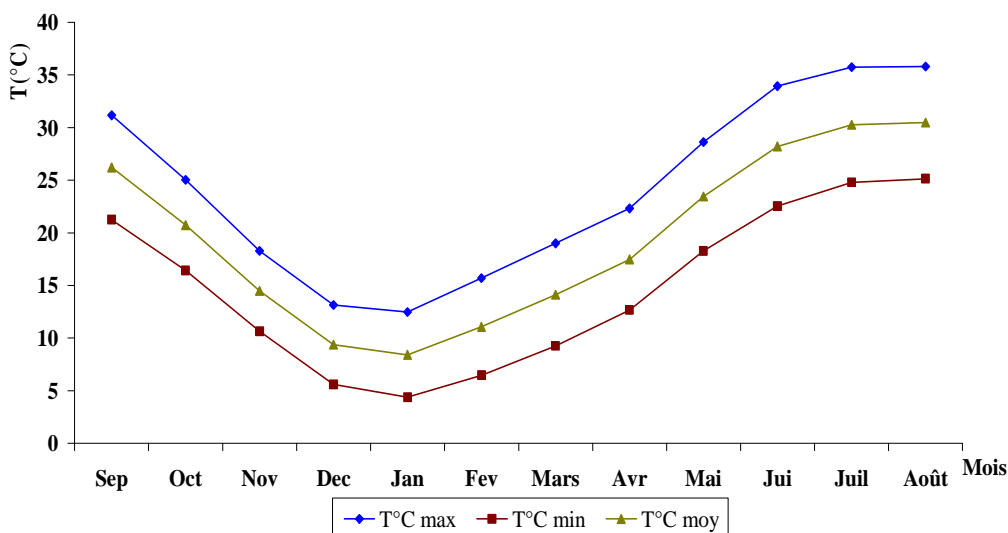


Fig. 24 b: Variations des températures moyennes mensuelles (Ain Touta).

Contrairement aux précipitations, les saisons thermiques semblent bien tranchées. La saison chaude s'étend du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre. Au cours de cette période, les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, on constate une baisse significative des températures, traduisant le passage à une saison froide, du mois de novembre au mois d'avril. Le maximum de température est atteint au cours de la période juillet et Août, il est de 34°C à Biskra et 31 °C à Ain Touta. Le minimum, enregistré est de 11.50°C à Biskra au mois de janvier et il est de 8.4°C au même mois à Ain Touta. Au niveau des deux stations, l'année est divisée, en deux saisons thermiques.

4-3: L'Evaporation :

La région d'étude est à cheval entre deux zones climatiques, pour comprendre les mécanismes d'évaporation, nous avons utilisé les données enregistrées aux stations de Batna et de Biskra. Les données disponibles pour la station de Biskra commencent depuis 1950, par contre ceux de la station de Batna, débutent en 1990 et durent jusqu'à 2005, cf. Tableau 16.

Tableau 16 : Valeurs de l'Evaporation mensuelle (stations Biskra et Batna).

Station \ Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr.	Mai	jui	Juil	Aout	Total annuel
Biskra	285	175	126	103	97	105	159	203	265	243	380	362	2602
Batna	207,18	154,31	95	61,3	57,8	75,87	189,93	150,93	205,57	274	333,31	304,06	2028,77

L'évaporation dans la région d'étude est très importante, elle s'accroît particulièrement quand le sirocco souffle. La figure. 25 indique, une forte évaporation en été, celle-ci provoque un besoin en eau maximum s'étalant du mois de mai jusqu'au mois de juillet. La période s'étalant du mois de novembre jusqu'au mois de février correspond à un demande minimum en eau et correspond à la période de précipitations. Un pic d'évaporation, est enregistré au mois de juillet avec 380 mm à Biskra, il se produit au mois d'Août et atteint 304.06mm à Batna.

La faible évaporation est enregistrée au mois de Janvier, elle est de 97 mm Biskra et de 58 mm à Batna. De ce fait pour compenser ce besoin en eau, il sera nécessaire d'apporter de l'eau pendant la période estivale, ce qui explique l'irrigation intense dans cette zone au cours de cette période. Le taux d'évaporation, est plus élevé à Biskra.

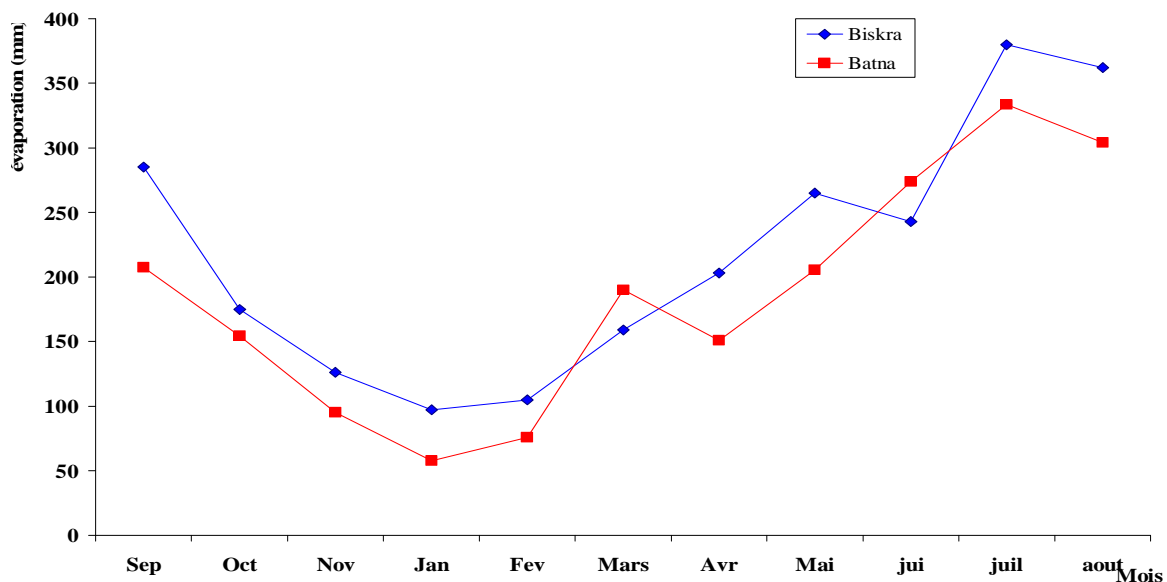


Fig. 25 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle aux deux stations.

4-3-1:L'Evapotranspiration:

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Jacques Baudry et Agnès Jouin.2003). Une grande fraction de cette évaporation (85%) a lieu au dessus des océans, d'autre partie (15%) se produit au dessus des surfaces continentales, où les plantes jouent le rôle de mèche entre le sous sol et l'atmosphère. Dans le bilan hydrique, l'évapotranspiration est le terme le plus important après les précipitations. Elle est aussi difficile à évaluer à cause de sa pluri dépendance avec les facteurs tant biologiques que physiques (Jacob et al, 2002. Olioso et al, 2002; Wassenaar, 2002). L'évapotranspiration peut être potentielle (ETP) en fonction du pouvoir évaporateur de l'atmosphère (Coutagne, 1935; Serra, 1954, Scheoller, 1962) ou réelle (ETR) (Hallaire, 1959, Scheoller, 1962) dite aussi "évapotranspiration réduite"ou effective (Lambert, 1996). Cependant, il est important de faire la distinction entre la notion d'évapotranspiration potentielle (ETP) qui est la quantité d'eau théoriquement évaporable par une surface d'eau libre et l'évapotranspiration réelle (ETR) (Bouchet, 1963; Eric, 2004). La première désigne la quantité d'eau que pourrait consommer un sol recouvert en partie ou en totalité par un couvert végétal, dans les conditions optimales d'alimentation et sans contrainte qui peut la bloquée. Quant à l'évapotranspiration réelle (ETR), elle définit la quantité d'eau réellement évaporée et transpirée.

4-3-1-1-Estimation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP):

Actuellement plusieurs formules sont proposées pour estimer l'évapotranspiration potentielle. Ces formules se basent pour leurs estimations en grande partie sur les données climatiques. Les éléments climatiques les plus utilisés pour le calcul de l'ETP sont les températures maximale et minimale de l'air, les humidités relatives maximale et minimale, la radiation solaire globale et la vitesse du vent; et d'autre part, le calcul de certains paramètres dont en particulier les pressions de vapeur saturante et actuelle et la chaleur latente de vaporisation. Les formules les plus utilisées et retenues pour calculer l'ETP et l'ETR de la région d'étude, sont celle de Thornthwaite, de Turc, de Coutagne et de Penman (Laborde, 2003).

4-3-1-1-1- Estimation de l'ETP par la formule de Thornthwaite, 1954:

Selon Penman (1956), l'évapotranspiration potentielle est définie comme: l'évaporation à partir d'une surface de gazon court, poussant activement, recouvrant totalement le sol de hauteur uniforme et bien pourvue en eau. C'est-à-dire que l'ETP est l'évapotranspiration maximale d'un couvert végétal.

A partir des expériences réalisées sur des lysimètres, Thornthwaite (1954) considère que pour des étendues de surface assez vastes et des pas de temps assez longs, le facteur le plus prépondérant pour l'ETP est la température. La formule qu'il propose s'écrit:

$$ETP = 16 (10 T / I)^a$$

Avec :

I: indice thermique annuel: $I = \sum I$

i : indice thermique mensuel : $i = (T/5)^{1.514}$

T : température moyenne mensuelle en (°C).

a : coefficient, tel que $a = 0.016.I + 0.5$.

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU).

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température (T°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i)) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation ci-dessus.

L'application de la formule donne les résultats des deux stations d'observation récapitulés dans les tableaux 17 et 18 :

Tableau 17: Valeurs de l'ETP, calculées par la méthode de Thornthwaite (Biskra).

Mois	T°C	I (°C)	P (mm)	ETP (mm)	K	ETPc (mm)
Sep	29,2	14,46	13,53	138,16	1.03	142.30
Oct	23,48	10,4	10,07	75,94	0.97	73.66
Nov	16,99	6,37	21,97	30,28	0.86	26.04
Dec	12,44	3,97	11,65	13,85	0.85	11.77
Jan	11,41	3,49	14,35	11,46	0.87	9.97
Fev	13,58	4,54	9,8	17,2	0.85	14.62
Mars	17,36	6,58	14,74	38,24	1.03	39.38
Avr	20,76	8,63	15,96	106,85	1.85	197.67
Mai	26,43	12,44	4,96	126,89	1.21	153.53
Jui	31,49	16,22	2,6	197,19	1.22	240.57
Juil	34,33	18,48	0,63	248,08	1.24	307.62
Août	33,59	17,88	4,07	219,91	1.16	255.10
Total	22,58	123,46	124,33	1224,05	/	1472.23

Tableau 18: Valeurs de l'ETP, calculées par la méthode de Thornthwaite (Ain Touta).

Mois	T°C	I (°C)	P (mm)	ETP (mm)	K	ETPc (mm)
Sep	26.21	12.28	25.28	123.96	1.03	127.68
Oct	20.73	8.61	29.17	71.33	0.97	69.19

Nov	14.74	4.99	34.03	29.72	0.86	25.56
Dec	9.36	2.58	27.22	11.77	0.85	10.00
Jan	8.42	2.20	27.22	9.64	0.87	8.39
Fev	11.07	3.33	15.55	16.74	0.85	14.22
Mars	14.12	4.81	21.39	33.82	1.03	34.83
Avr	17.48	6.65	19.44	95.09	1.85	175.92
Mai	23.46	10.38	28.19	115.38	1.21	139.61
Jui	28.22	13.73	21.39	171.47	1.22	209.19
Juil	30.27	15.27	8.75	201.93	1.24	250.39
Août	30.48	15.44	4.86	191.66	1.16	222.32
Total	19.52	100.27	262.49	1072.51	/	1159.62

4-3-1-1-2- Estimation de l'ETP par la formule de Turc:

Elle permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en tenant de compte de la durée réelle de l'insolation.

$$ETP = 0.4 t/(t+15)[I_g+50]$$

$$I_g = I_{ga} (a+b. h/H)$$

Avec: **ETP** : évapotranspiration potentielle mm/mois

t : moyenne mensuelle de température en C°, **I_g** : moyenne mensuelle de la radiation solaire globale exprimé en colorée/cm²/jour, **H**: durée mensuelle du jour en heures par mois, **h**: humidité relative.

a,b: constantes régionales.

Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 19 : valeur de Constante a et b

Type climat	a	b
Climat aride	0.25	0.45
Climat tropical	0.29	0.42
Climat tempéré	0.18	0.55/0.62

N.B: 0.4 est une constante pour tous les mois (de 30 et 31 jours) sauf pour le mois de février (28 jours) où elle est 0.37.

L'application de la formule a donné les résultats récapitulés dans les tableaux 20 et 21 Pour les deux stations d'observations.

Tableau 20 : ETP, estimée à partir de la formule de Turc (station de Biskra).

Paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	total
P(mm)	13,5	10	21,9	11,6	14,3	9,8	14,7	15,9	4,9	2,6	0,6	4	124,3
T(°C)	29,2	23,4	16,9	12,4	11,5	13,5	17,3	20,7	26,4	31,4	34,3	33,5	/

H	373	354	306	302	311	307	371	391	437	737	444	419	/
Iga	742	354	446	381	422	547	710	853	947	981	957	872	/
Ig	742	318.6	226.6	187.3	201.1	268.5	352.1	441.6	520.3	606.6	644.5	568.9	/
ETP (mm)	209.2	89.9	58.7	43	43.6	56	86	114.2	145.5	177.9	193.3	171.1	1388.8

Tableau 21 : l'ETP, estimée à partir de la formule de Turc (station d'Ain Touta).

Paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	total
P (mm)	25,2	29,1	34	27,2	27,2	15,5	21,3	19,4	28,1	21,3	8,7	4,8	262.5
T (°C)	26,2	20,7	14,4	9,3	8,4	11	14,1	17,4	23,4	28,2	30,2	30,48	/
H	373	354	306	302	311	307	371	391	437	737	444	419	/
Iga	742	354	446	381	422	547	710	853	947	981	957	872	/
Ig	742	318.6	226.6	187.3	201.1	268.5	352.1	441.6	520.3	606.6	644.5	568.9	/
ETP (mm)	201.4	85.5	67.9	36.4	36.1	50	97.5	105.8	139.1	171.5	185.7	165.9	1343.28

4-3-1-1-3- Estimation de l'ETP par la Formule de Penman- Monteith:

Penman (1948) fut le premier à proposer un modèle combinant la théorie aérodynamique et les bilans d'énergie pour le calcul de l'évapotranspiration. Ces modèles, dit combinés, ont une signification physique bien définie puisqu'ils prennent en compte à la fois les propriétés de la canopée et les conditions météorologiques. La formule de Penman-Monteith (1965), dérive de l'équation de Penman originale et forme l'approche la plus complète du processus d'évapotranspiration puisqu'elle a l'avantage d'inclure la physiologie de la plante par l'intermédiaire de la résistance de surface.

La forme générale de l'équation de Penman-Monteith pour l'estimation de l'évapotranspiration préconisée pour les zones arides et semi-arides est:

$$ETP = \frac{R_n \cdot \Delta + \frac{\rho \cdot c_p \cdot \delta e}{r_a}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right]}$$

Avec :

Rn : rayonnement net à la surface de la culture (W/m²/jour).

Δ : pente de la courbe de tension de vapeur à la température moyenne de l'air (Pa/C°).

ρ : densité de l'air à pression constante (kg/m³).

Cp : capacité thermique de l'air humide (J/kg/C°).

δe : différence entre la pression de vapeur saturante (es) et la pression de vapeur effective (ea) dans l'air (Pa).

rs : résistance aérodynamique (s/m).

λ : chaleur latente de vaporisation de l'eau (J/kg).

γ : constante psychométrique (kPa/C°).

r_s : résistance de surface relative au couvert végétal (s/m).

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 22

Tableau.22 : ETP, estimée à partir de la méthode de Penman (stations de Biskra et d'Ain Touta).

Mois\ Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
Biskra	101.6	80.5	76.4	28.6	30	41.5	68.8	101	176.3	208.9	239.9	249.5	1403.4
Ain Touta	103.8	61	29.3	20.2	20.7	30.4	51.4	72.6	118.4	154.8	170.5	162.5	996.1

4-3-1-1-4-Estimation de l'ETP par la Formule de Sarlin (1970):

La formule de Sarlin est donnée par :

$$ETP = \frac{K}{100} \cdot T (100 - e)$$

Avec

ETP= évapotranspiration moyenne mensuelle en mm, T : température moyenne mensuelle en °C;

e: humidité moyenne mensuelle, K : un coefficient variant entre 3 et 12

Tableau. 23 ETP, estimée à partir de la formule de Sarlin (stations de Biskra et de Ain Touta).

Mois\ Station	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Total
K	6	7	8	4	6	6	7	9	9	9	9	10	/
Biskra	106.1	88.7	76.9	20.9	30.4	40.6	68.2	101.6	153.1	200	221.2	238.2	1346.8
Ain Touta	86.4	59.4	38.9	10.8	14.6	24.5	48.4	86.5	124.5	157.4	182.5	201.1	1035.6

Les tableaux 24 & 25, récapitulent, les valeurs de l'ETP calculées par les différentes méthodes pour les deux stations considérées.

A:Station Biskra :

Tableau 24: Valeurs d'ETP, obtenues à partir des différentes méthodes utilisées (Biskra).

Mois	Thornthwaite	Turc	Penman	Sarlin
Sep	142,3	209,29	101,67	106,11
Oct	73,66	89,98	80,58	88,76
Nov	26,04	58,78	76,41	76,96
Dec	11,77	43,05	28,6	20,99

Jan	9,97	43,62	30	30,48
Fev	14,62	56	41,51	40,68
Mars	39,38	86	68,87	68,29
Avr	197,67	114,21	101,07	101,64
Mai	153,53	145,53	176,32	153,18
Jui	240,57	177,91	208,92	200,08
Juil	307,62	193,33	239,9	221,22
Aout	255,1	171,15	249,56	238,29
annuelle	1472,23	1388,85	1403,41	1346,88

B: Station Ain Touta

Tableau 25: Valeurs, de ETP, obtenues à partir des différentes méthodes utilisées (Ain Touta).

Mois	Thorntwaite	Turc	Penman	Sarlin
Sep	127,68	201,49	103,84	86,49
Oct	69,19	85,55	61,01	59,49
Nov	25,56	67,92	29,35	38,91
Dec	10	36,49	20,22	10,86
Jan	8,39	36,11	20,75	14,65
Fev	14,22	50,05	30,41	24,57
Mars	34,82	97,5	54,45	48,43
Avr	175,92	105,83	72,63	86,52
Mai	139,61	139,15	118,47	124,57
Jui	209,19	171,5	154,87	157,46
Juil	250,39	185,76	170,58	182,52
Aout	222,32	165,93	162,54	201,16
Annuelle	1159,62	1343,28	996,12	1035,63

4-3-1-2-Variations mensuelles de l'ETP:

Pour étudier cette variation, nous avons réalisé les graphiques fig. 26 & 27. L'observation du graphique se rapportant la station de Biskra (fig.26) amène aux remarques suivantes :

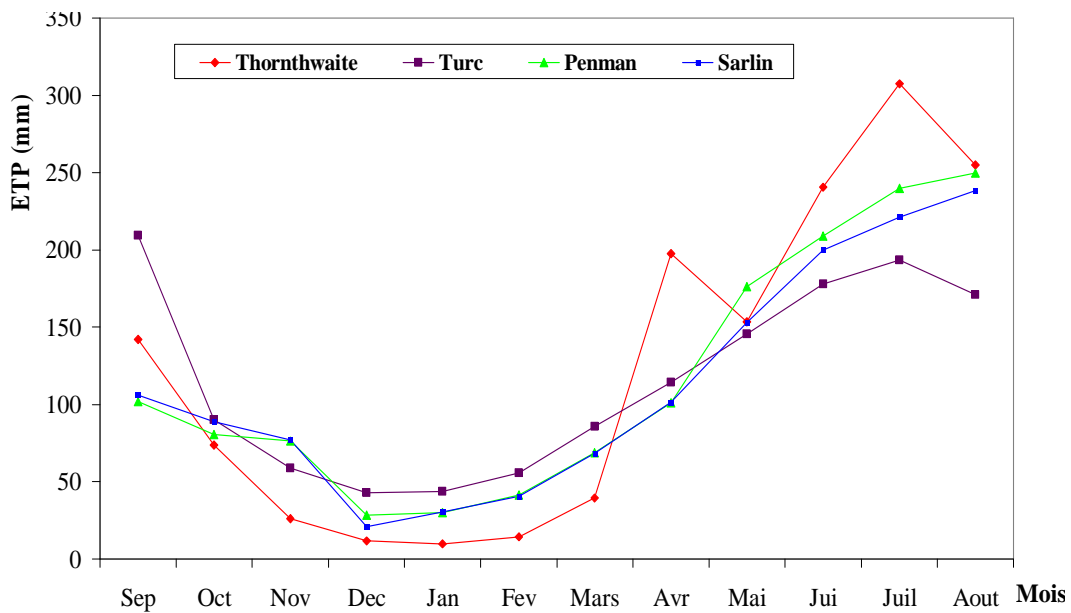


Fig. 26: Variations mensuelles de l'ETP calculée, à la station de Biskra.

L'augmentation des valeurs de l'ETP au printemps et en été pourrait s'expliquer par la faiblesse des précipitations qui s'accompagne d'une élévation des températures conduisant à la baisse de l'humidité (Mohammedou, 2000; Smadhi et al, 2001).

La méthode de Thornthwaite présente une très grande variation annuelle par rapport aux autres (Penman, Sarlin, et Turc). Quand les températures sont élevées et les précipitations rares, elle surestime considérablement l'évaporation. En revanche, on remarque une sous-estime de l'évaporation du mois de Septembre au mois d'Avril. Ces mois sont caractérisés par des précipitations et des températures basses.

La méthode de Thornthwaite est mieux adaptée aux zones tempérées humides ; en climat aride elle a tendance à sous-estimer les valeurs d'évapotranspiration ou elle ne tient pas compte de l'accroissement de l'ETP due aux phénomènes adventifs. Par contre la formule de Turc est applicable dans la plupart des zones climatiques. Elle a une précision de 10% dans la zone sèche et elle surestime la valeur d'évapotranspiration de plus de 20% en zone humide. Les deux méthodes ne tiennent pas compte de l'effet du vent.

Les méthodes mixtes (Penman et Sarlin), sont une combinaison des équations du transfert de masse et du bilan d'énergie.

Compte tenu des précédentes informations, la formule de Thornthwaite a été retenue pour le calcul du bilan hydrique de Biskra et Ain Touta.

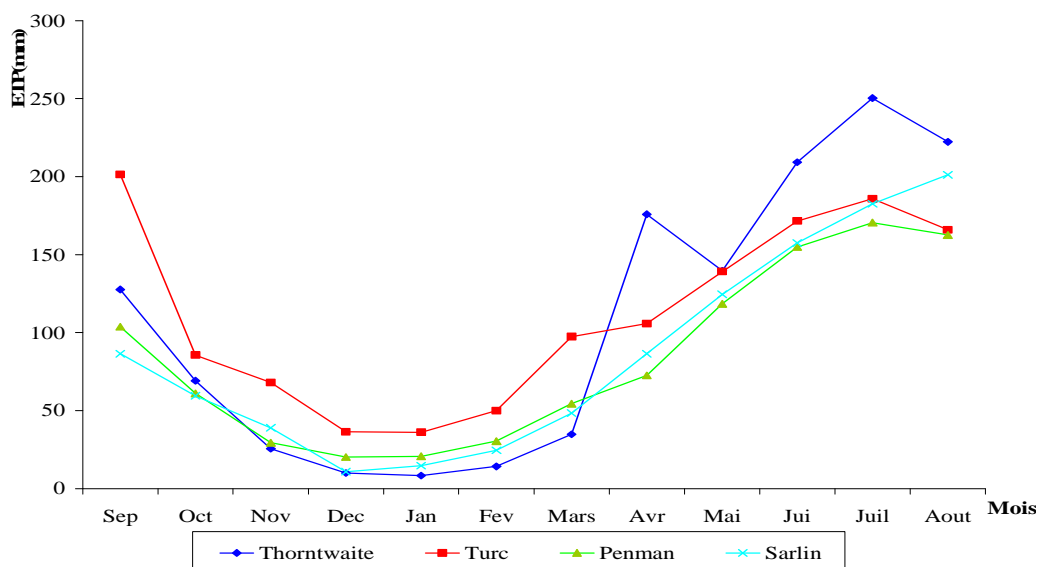


Fig.27: Variations mensuelles de l'ETP calculée à la station d'Ain Touta

Les résultats des calculs de l'évapotranspiration pour la période 1989-2004 à la station d'Ain Touta à est présenté dans le tableau 26 et la (fig.27). On y trouve que les formules (Thornthwaite- Turc- Penman et Sarlin) présentent la même allure de l'ETP.

Tableau.26: tableau récapitulatif des valeurs de l'ETP.

Stations	ETP Thornthwaite	ETP Turc	ETP Penman	ETP Sarlin
Biskra	1472..23	1388.85	1403.41	1346.88
Ain Touta	1159.62	1343.28	996.12	1035.63

Il ressort de cette étude que l'évapotranspiration dans la région est importante (1472 mm/an), selon la méthode Thornthwaite avec une moyenne de 4.03 mm/j. Les autres méthodes faisant appel à moins de données donnent des estimations variées par rapport à celle de Thornthwaite.

4-4: Bilan hydrique :

Le bilan hydrique permet de cerner plus précisément la notion de sécheresse. La sécheresse peut être reconnue de façon très approximative, lorsque les précipitations et les réserves d'eau capitalisées dans le sol ne compensent pas la capacité évaporatoire du sol et les besoins de la végétation qui représente l'évapotranspiration potentielle.

Le bilan étant le résultat d'une balance entre les apports ou entrées et les dépenses ou sorties.

Ce bilan est élaboré sur la base de la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en mm, **ETR** : évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm.

R : ruissellement moyen annuel en mm, **I** : infiltration moyenne annuelle en mm.

Pour établir le bilan hydrologique on admet que le sol a une quantité d'eau maximale. Thornthwaite suppose que le RFU est la quantité d'eau que le sol peut fournir en réserve

4-4-1-La réserve facilement utilisable (RFU) :

C'est la quantité d'eau du réservoir d'un sol pouvant être plus ou moins facilement utilisée par les racines d'une plante (Thornthwaite & Mather, 1957), variant au cours du temps en fonction des apports, et des pertes dues à l'ETR du couvert végétal (Jacquart & Choissnel, 1995).

Selon les terrains cette valeur peut être comprise entre 0 (RFU vide) et 300mm (RFU max). Dans le bassin méditerranéen la RFU moyenne est de l'ordre de 100mm. (THORNTHWAITE ,1948)

Richard en 1979 a proposée une formule pour le calcul de l'RFU :

$$RFU = 1/3 * Da * He * P$$

Avec :

Da: densité apparente du sol, (Hallaire propose de prendre $Da = 1.5$);

He: capacité de rétention % ($He = 5\%$ pour un sol sablo-limoneux, $He = 10\%$ pour un sol limoneux; $He = 20\%$ pour un sol argilo-limoneux),

P: profondeur de la terre parcourue la racine en mm ($P = 0.5m$).

La région est caractérisée par un sablo limoneux, on prend $He = 5\%$.

La RFU calculée, atteint 37.5 mm.

4-4-2:Le déficit agricole (DA) : Représente sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures (par l'irrigation) pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse. Il est donné par l'expression :

$$DA = ETP - ETR.$$

4-4-3: L'excédant (Exc.) : est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaites. Il correspond au surplus d'eau destinée à l'alimentation de l'infiltration et le ruissellement de surface.

Les résultats de l'application de la formule de Thornthwaite sont représentés dans les tableaux 27 et 28.

A:station Biskra:

Tableau.27: Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite (Biskra).

Mois	T°C	I (°C)	P (mm)	ETP (mm)	K	ETPc (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXC (mm)
Sep	29,2	14,46	13,53	138,16	1.03	142.30	0	13,53	124,63	0
Oct	23,48	10,4	10,07	75,94	0.97	73.66	0	10,07	65,87	0
Nov	16,99	6,37	21,97	30,28	0.86	26.04	0	21,97	8,31	0

Dec	12,44	3,97	11,65	13,85	0.85	11.77	0	11,65	2,2	0
Jan	11,41	3,49	14,35	11,46	0.87	9.97	2,89	11,46	0	0
Fev	13,58	4,54	9,8	17,2	0.85	14.62	0	9,8	7,4	0
Mars	17,36	6,58	14,74	38,24	1.03	39.38	0	14,74	23,5	0
Avr	20,76	8,63	15,96	106,85	1.85	197.67	0	15,96	90,89	0
Mai	26,43	12,44	4,96	126,89	1.21	153.53	0	4,96	121,93	0
Jui	31,49	16,22	2,6	197,19	1.22	240.57	0	2,6	194,59	0
Juil	34,33	18,48	0,63	248,08	1.24	307.62	0	0,63	247,45	0
Août	33,59	17,88	4,07	219,91	1.16	255.10	0	4,07	215,84	0
Total	22,58	123,46	124,33	1224,05	/	1472.23	2,89	121,44	1102,61	0

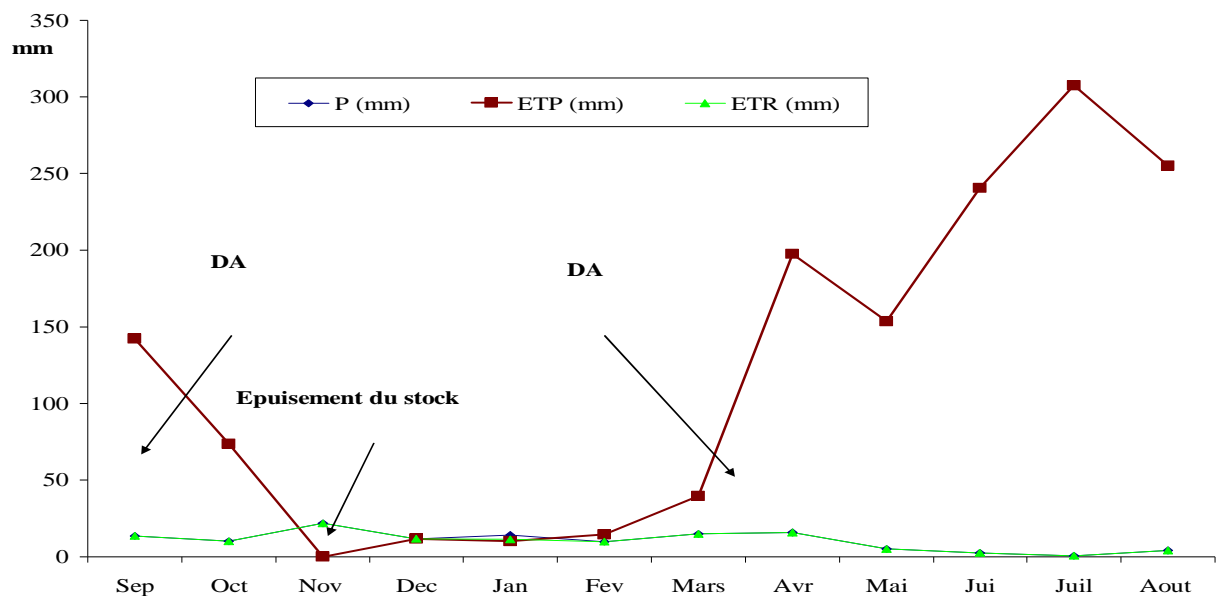


Fig. 28 : Représentation graphique du bilan hydrologique de Thornthwaite à la station de Biskra.

B: station Ain Touta

Tableau 28: Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite (Ain Touta).

Mois	T°C	I (°C)	P (mm)	ETP (mm)	K	ETPc (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXC (mm)
Sep	26.21	12.28	25.28	123.96	1.03	127.68	0	25.28	98.68	0
Oct	20.73	8.61	29.17	71.33	0.97	69.19	0	29.17	42.16	0
Nov	14.74	4.99	34.03	29.72	0.86	25.56	4.31	29.72	0	0

Dec	9.36	2.58	27.22	11.77	0.85	10.00	19.76	11.77	0	0
Jan	8.42	2.20	27.22	9.64	0.87	8.39	37.34	9.64	0	0
Fev	11.07	3.33	15.55	16.74	0.85	14.22	0	15.55	1.19	0
Mars	14.12	4.81	21.39	33.82	1.03	34.83	0	21.39	12.43	0
Avr	17.48	6.65	19.44	95.09	1.85	175.92	0	19.44	75.65	0
Mai	23.46	10.38	28.19	115.38	1.21	139.61	0	28.19	87.19	0
Jui	28.22	13.73	21.39	171.47	1.22	209.19	0	21.39	150.08	0
Juil	30.27	15.27	8.75	201.93	1.24	250.39	0	8.75	193.18	0
Août	30.48	15.44	4.86	191.66	1.16	222.32	0	4.86	186.80	0
Total	19.52	100.27	262.49	1072.51	/	1159.62	61.41	225.15	847.36	0

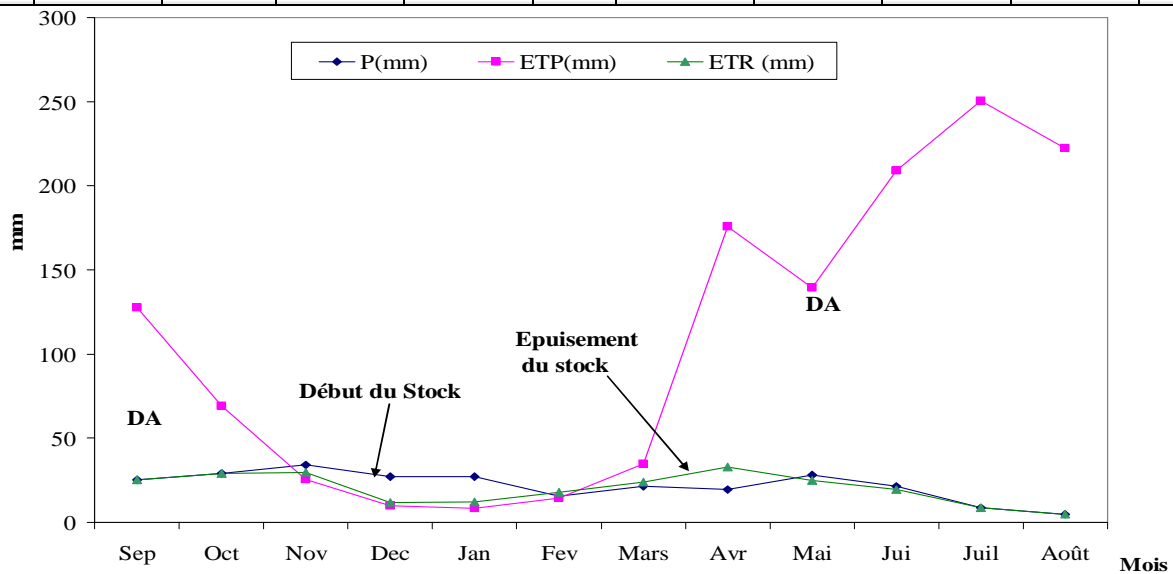


Fig. 29: Représentation graphique du bilan hydrologique de la station d'Ain Touta.

4-4-4: Interprétation du bilan hydrologique de Thornthwaite:

Les résultats obtenus (fig. 28 et tableau 27), montrent que le bilan est totalement déficitaire au niveau de la région de Biskra à cause des fortes températures et de l'importance de l'évapotranspiration. Les précipitations annuelles à Biskra, sont de l'ordre de 124,33 mm/an. Nous constatons que durant toute l'année, exceptée le mois de Janvier, les ETP sont supérieures aux précipitations. Le déficit agricole annuel (DA) est de l'ordre de 1102,61mm. La reconstitution du stock s'observe au mois de janvier avec une RFU=2.89mm.

Au niveau de la station d'Ain Touta (fig.29 et tableau.28), les précipitations totales atteignent 262.49 mm/an. Nous notons qu'à partir du mois de Novembre les précipitations sont supérieures à l'ETP et ceci jusqu'au mois de Janvier. Le déficit agricole (DA) débute au mois de Février et se poursuit jusqu'au mois

d'octobre. La reconstitution du stock s'observe au mois de Novembre avec une RFU=4.31mm. Au mois de Janvier la RFU est de 37.34mm. L'épuisement du stock, débute au mois de Février.

4-5- Calcul de l'Evapotranspiration réelle (ETR) ou déficit d'écoulement :

L'Evapotranspiration réelle (ETR) est appelée souvent déficit d'écoulement (De), elle correspond à une perte effective d'une quantité d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des végétaux. Cette quantité d'eau dépend à la fois de l'énergie et de la réserve hydrique disponible. Les méthodes d'estimation de l'ETR utilisées dans cette étude sont celles de Turc, de Coutagne et bilan hydrique de Thornthwaite.

4-5-1-Formule de (TURC, 1961) :

Elle est donnée par la relation

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

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

P : précipitation moyenne annuelle en mm, **T** : température moyenne annuelle (°C).

Le tableau 29, récapitule les résultats de l'application numérique de la formule de Turc pour les deux stations.

Tableau 29: Valeurs de l'ETR calculées par la méthode de Turc.

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Biskra	123.46	22.58	1440.13	129.96
Ain Touta	262.49	19.52	1159.89	270.60

4-5-2- Formule de Coutagne :

Elle est donnée par l'équation:

$$ETR = P \cdot \lambda p^2$$

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations répond aux conditions suivantes:

$$1/8\lambda < P < 1/2 \lambda \quad \text{pour } \lambda = 1 / (0.8 + 0.14 T)$$

Avec :

ETR: évapotranspiration réelle en mm, **P**: précipitation moyenne annuelle en mm.

T: température moyenne annuelle en °C.

Ces paramètres permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour les deux stations comme indiquée au tableau ci-après:

Tableau. 30: Valeurs de l'ETR, données par la formule de Coutagne aux stations étudiées.

Paramètre	P (m)	T (°C)	λ	ETR (mm)

Station				
Biskra	0.123	22.58	0.25	119.21
Ain Touta	0.262	19.52	0.28	242.78

Tableau. 31: Les valeurs de l'évapotranspiration réelle estimées par les différentes méthodes.

Paramètre	Station Biskra	Station Ain Touta
T°C	22.58	19.52
Précipitation mm	124.33	262.49
E.T.R (mm) Turc	119.21	242.78
ETR = % des précipitations	96.56 %	92.49 %
ETR (mm) Thornthwaite	121.44	225.15
ETR = % des précipitations	98.36 %	85.77 %
ETR (mm) Coutagne	129.96	270.60
ETR = % des précipitations	105,26 %	103.09 %

Les résultats obtenus nous permettent de faire les constatations suivantes:

-ETR calculé par la méthode de Coutagne dépasse légèrement les précipitations enregistrées aux deux stations.

-L'ETR, estimée à partir du bilan hydrologique de Thornthwaite représente la totalité des précipitations pour la station de Biskra.

Le tableau 32, résume les résultats de l'ETP et de l'ETR annuelles aux deux stations références. Elle est déterminée selon les quatre méthodes utilisées.

Tableau 32: récapitulatif des valeurs de l'ETR et d'ETP calculées par les différentes méthodes.

Station	ETP (mm)				ETR (mm)		
	Thornthwaite	Sarlin	Penman	Turc	Thornthwaite	Turc	Coutagne
Biskra	1224.05	1346.88	1403.41	1472.23	121.44	119.21	129.96
Ain Touta	1072.51	1035.63	996.12	1159.62	225.15	242.78	270.60

4-6-Estimation du ruissellement:

4-6-1-Méthode de Thornthwaite:

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite donne une approximation de la valeur du ruissellement. Cette valeur étant égale à la moitié de l'excédent enregistré durant le mois considéré, l'autre moitié s'infiltré. Etant donné que l'excédent est nul aux stations de Biskra et de Ain Touta, on considère que le ruissellement est nul.

4-6-2- Méthode de Tixeront- Berkaloff:

$$R = P^3/3 ETP^2 \quad \text{pour : } P < 600\text{mm.}$$

R: ruissellement en mm, **P:** précipitation annuelle en m, **E:** évapotranspiration annuelle en m.

On prend la valeur de l'ETP de Thornthwaite.

Les résultats obtenus son récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 33: résultats des calculs de ruissellement par la Formule de Tixeron-Berkaloff.

Paramètre	P (mm/an)	ETP (mm/an)	R (mm/an)	(%)
Station Biskra	123.46	1224.05	0.419	0.34
Station Ain Touta	262.49	1072.51	5.24	2

4-7-: L'infiltration efficace :

C'est la quantité d'eau qui parvient à la nappe. En effet au cours de son trajet, entre la surface du sol et la surface de la nappe. L'eau d'infiltration subit des pertes par l'évapotranspiration.

D'après le bilan hydrologique l'infiltration efficace:

$$P = ETR + R + I_e \quad I_e = P - ETR - R$$

Avec:

P : précipitation moyenne annuelle en (mm), **ETR :** évapotranspiration réelle en (mm/an),

I_e : infiltration efficace en (mm/an), **R :** ruissellement en (mm).

Application numérique présentée dans le tableau suivant :

Tableau 34: Résultats des calculs de l'infiltration efficace.

Paramètre	P (mm/an)	ETR (mm/an)	R (mm/an)	I (mm/an)	I (%)
Station Biskra	123.46	121.44	0.42	1.60	1.3
Station Ain Touta	262.49	225.15	5.24	32.1	12.23

L'infiltration efficace pour les périodes d'observation sont respectivement de 1.60mm (Biskra) et 32.1 (Ain Touta), correspondant ainsi à 1.3% et 12.23%, du total des précipitations enregistrées. Nous constatons que l'infiltration efficace est supérieure au ruissellement pour les deux stations.

4-8- Les vents :

Le vent, caractérisé par sa fréquence, son intensité et sa direction dominante, est un facteur météorologique non négligeable. D'après Gonde et Jussiaux (1980).

Le Sirocco et les vents de sable sont ceux les plus fréquents dans la région de Biskra.

Le tableau 35, donne les moyennes mensuelles des vitesses du vent ainsi que le nombre de jours de Sirocco dans la région de Biskra (d'après données station météorologique de Biskra, 2004).

Tableau.35: Vitesse des vents et vent de sable pendant la période (1992-2001).

Mois		Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Biskra	Vitesse km/h.	28,12	31,88	31,91	33,75	34,23	35,96	33,06	60,55	32,65	30,54	31,41	30,14
	Jours de Sirocco	0	0	0	0,5	4,2	13,6	19,3	17,3	4,9	0,2	0	0
	Jours de vent de sable	2	3,7	6,4	9,1	9,7	9,7	7,6	6,6	4,7	3,2	1,8	2,1

Toutain (1979), signale que la possibilité d'augmenter les irrigations constitue le moyen le plus efficace pour lutter contre les vents chauds, toute fois la végétation périphérique charge le vent d'une certaine humidité et le rend moins agressif.

4-9-L'humidité relative de l'air :

Le tableau 36, indique les variations de l'humidité relative. On remarque qu'elle est élevée durant les mois d'octobre, décembre, janvier et février, alors qu'elle est faible pendant les mois les plus chauds, Juin, Juillet et Août.

Tableau 36 : L'humidité relative moyenne mensuelle période 1971-1997.

.Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Biskra (moy %)	55,4	50,02	43,8	38,8	35,6	29,4	28,4	29,06	39,43	45,97	54,7	57,8	42,36
Ain Touta (moy %)	71	63	51	45	41	38	33	34	45	59	67	71	51.5

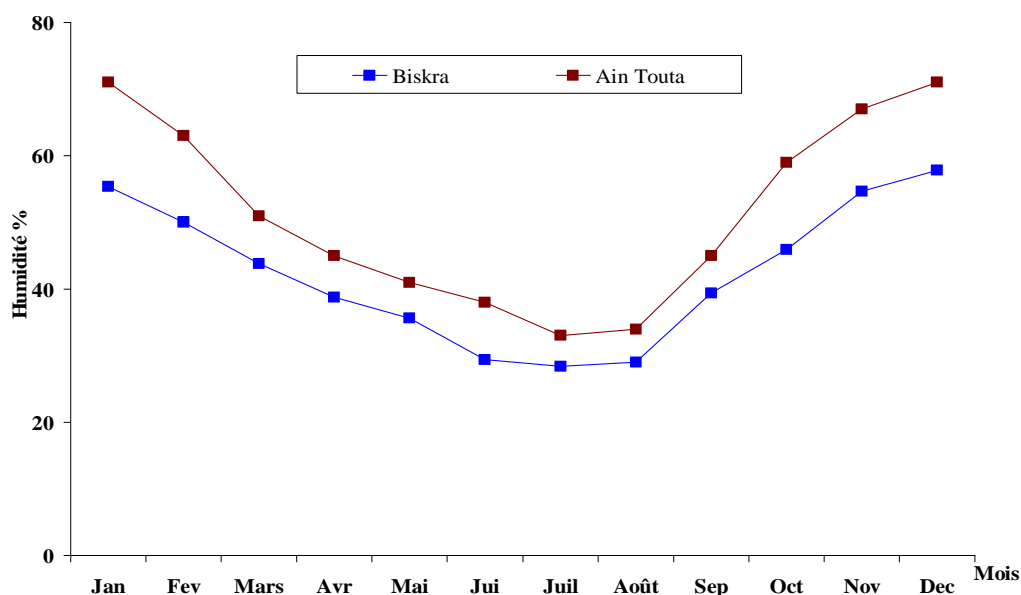


Fig.30 : Humidité relative moyenne aux deux stations.

La région de Biskra présente donc une faible humidité relative, avec une moyenne maximale de 57,8% pour le mois de Décembre et une moyenne minimale de 28,4% en de Juillet (fig.30).

4-10:L'héliothermie:

L'une des caractéristiques du climat saharien est l'importance de l'insolation, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année (Toutain, 1979). La région de Biskra bénéficie d'une grande part d'énergie solaire surtout pendant la période estivale (365.5 heures au mois de Juillet), cette forte luminosité est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne, mais elle a en revanche un effet desséchant car elle augmente la température de l'air, et peut être atténué par des irrigations.

Le tableau 37, donne l'insolation moyenne mensuelle et annuelle au niveau de la station de Biskra, au cours de la période 71-97, soit sur 26 ans.

Tableau 37: Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy
Insolation (h)	225	220	257	274	322	331	365,5	338	335	280	237	218,7	283,6

5-Le pédoclimat:

5-1:Le régime hydrique:

La détermination exacte du régime hydrique est difficile et exige de nombreuses déterminations de l'humidité du profil pédologie pendant une période d'une dizaine d'années.

Taverier et Van Wambeke (1976) ont appliqué le modèle mathématique du NEWHALL, qui permet d'estimer le régime hydrique tableau 38.

5-2-Le régime thermique:

D'après les travaux de Taverier et Van Wambeke (1976) le régime thermique de Biskra est de type hyperthermique. Il est caractérisé par une température annuelle moyenne du sol supérieur à 22°C et une amplitude thermique supérieure à 54°C.

Tableau 38: Détermination du régime l'humidité et de température du sol accordée de système de computation de New hall (Tavernier et Van Wambeke, 1976).

Nom de la station	Régime thermique du sol	Régime d'humidité
Biskra	Hyperthermic*	Aridic**
El Golea	Hyperthermique	Aridic
Ghardaïa	Hyperthermique	Aridic
Laghouat	Thermic	Aridic
Tébessa	Thermic***	Aridic

*: Hyperthermique

**: Aride

***: Thermique

6-Conclusion

L'analyse climatique effectuée, a montré que la région de Biskra, se caractérise par un climat nettement contrasté, à hiver frais s'étalant de décembre à février, et à été sec et chaud et très bien ensoleillé, répondent assez bien aux exigences de cette région.

Le climat est influence par:

- ✓ Une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière (124.33mm /an durant la période 1990-2007);
- ✓ Des températures moyenne assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et très longue;
- ✓ Des transports éoliens importants;
- ✓ Une grande luminosité.

L'estimation des paramètres constituant le bilan hydrologique, nous en permis de faire ressortir les résultats suivant d'après la formule de Thornthwaite:

- ✓ Une RFU (réserve facilement utilisable) de 2.89 mm.
- ✓ L'évapotranspiration est très élevée, accentuée surtout par les vents, variant selon les méthodes d'estimations;
 - pour la station de Biskra de 1346.88 mm/an jusqu'à 1472,2 mm/an.
 - pour la station d'Ain Touta, de 996.12 mm/an jusqu'à 1343.28mm/an.
- ✓ Une évapotranspiration réelle (ETR) variant selon la méthode de Thornthwaite :

- pour la station de Biskra, de 121.44 mm/an soit 98%;
- pour la station de Ain Touta, de 225.15 mm/an soit 86%.
- ✓ Un ruissellement négligeable.
- ✓ Un taux d'infiltration:
 - pour la station de Biskra, de 1.6 mm/an soit 1.3%;
 - pour la station de Ain Touta, de 32.1 mm/an soit 12.33%.

Le bilan hydrologique de Thornthwaite fait ressortir un déficit pluviométrique annuel de l'ordre de 1102.62mm pour la station de Biskra et de 847.36 mm pour celle d'Ain Touta. Tous ces facteurs caractérisent une forte aridité.

Chapitre - III -

Synthèse géophysique et hydrogéologique

Première partie: Synthèse géophysique.

Les nappes souterraines constituent une ressource pour l'homme. L'eau contenue dans ces nappes est souvent protégée, ce qui facilite son usage sans prétraitement. Cependant, ces mêmes eaux sont souvent moins bien connues et plus délicates à gérer que les eaux de surface. Leur gestion dépend des facteurs locaux, tel que les formations aquifères, leurs profondeurs, leurs régimes climatiques, ..., dont la connaissance reste importante.

1-Introduction:

Les formations aquifères de la région de Biskra, tant par leur nature lithologique (des strates un peu plus sableuses ou calcaires et/ ou calcaires blancs riche en silex noirs) que par leur extension dans l'espace (vers le Nord, où ils jalonnent le pied des reliefs crétacé : Dj. Kahila, Dj. El Ksoum, Dj.Aroussine et Gouara et se prolongent jusqu'au plate forme saharienne J.Flandrin.1941) constituent un réservoir important. Le but recherché dans ce travail est d'établir le lien existant entre la variation de la lithologie dans l'espace (structure et géométrie des aquifères), et le comportement hydrodynamique (évolution piézométrique, sens d'écoulement et gradient hydraulique) des nappes.

2-Identification des systèmes aquifères de Biskra:

Pour réaliser cet objectif les résultats des études géophysiques réalisés ont été couplé aux informations recueillies par les sondages mécaniques.

2-1- Apports de la géophysique :

La zoné étudiée (fig.31), a fait l'objet de trois campagnes géophysiques la première a été réalisé en 1969 par la CGG, la seconde a été réalisé par E.NA.GEO, en 1982 et la troisième fut réalisée par I.F.E.S, en 2003. Chaque campagne avait des objectifs bien clairs. Ainsi l'objectif assigné à la première étude était de rechercher les zones productives de la nappe des calcaires de la région de Tolga (Ouled Djelal). En 1982, l'étude réalisée avait pour objectif de délimiter l'extension du substratum calcaire, principal horizon sous le remplissage Mio-Pliocène. La troisième étude avait pour but :

- Délimiter les zones susceptibles de présenter un intérêt aquifère.
- Déterminer les meilleurs emplacements pour l'implantation des ouvrages de captage (forages) destinés à l'alimentation en eau des populations et à l'irrigation.

Le principe utilisé pour les trois campagnes est celui de Schlumberger, basé sur les quatre électrodes, deux pour les entrées et deux pour les sorties de courant.

Les données obtenues conduisent aux interprétations suivantes :

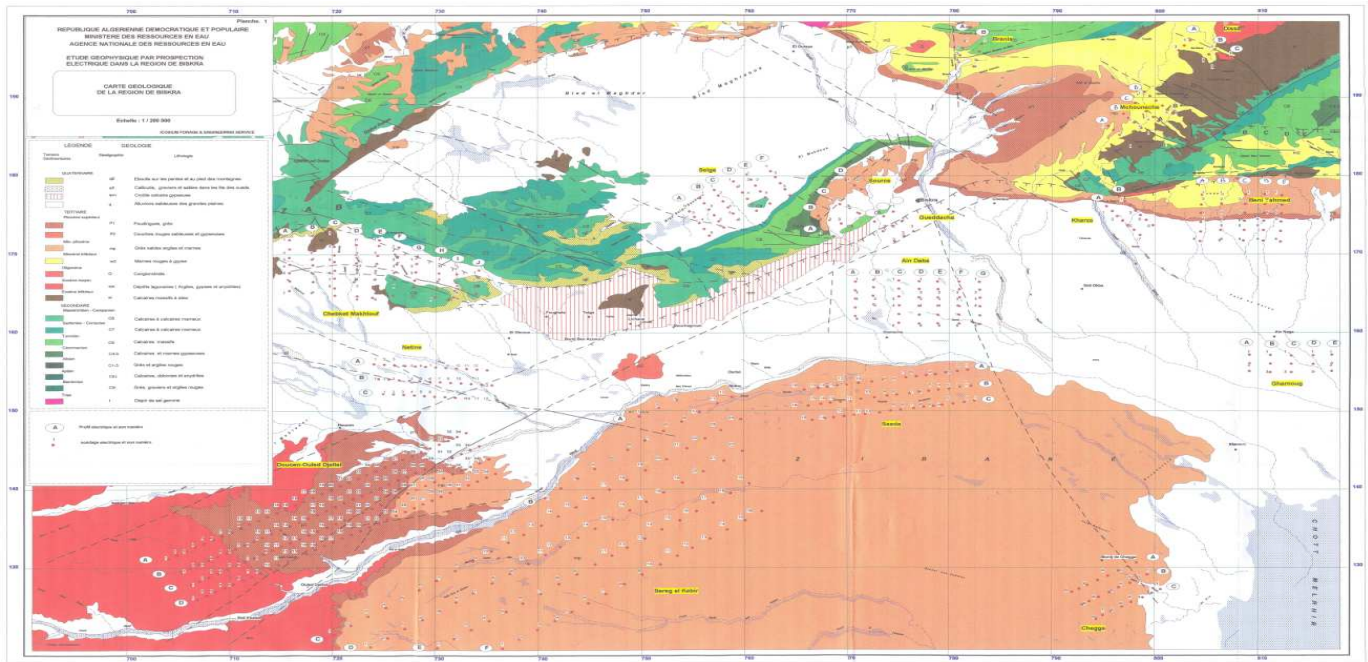


Fig. 31 : Répartition des sondages électriques dans la région d'étude (ANRH, 2003).

2-2- Traitement des données:

2-2-1-Interprétation des données des sondages électriques de la nappe des sables:

Les colonnes stratigraphiques des forages Seriana, Garta, Beni Ahmed, Oasis Chegga n°35, Oumeche et Gueddacha (annexe 02) implantés dans la nappe du Miopliocène montrent les formations suivantes:

Tableau 39: Valeurs de la résistivité des formations existantes dans la nappe des sables.

Nappe	Forage (Région)	Profondeur (m)	Lithologie
Miopliocène	Seriana	0-330	Pouding, grés et Argile plastique
		330-600 (substratum)	Marne rouge à gypse (Miocène inférieur)
	Garta	0-300	Pouding, grés et Argile plastique
		300-600(substratum)	Marne rouge à gypse (Miocène inférieur)
	Beni Ahmed	0-290	Pouding, grés et Argile plastique
		290-550(substratum)	Marne rouge à gypse (Miocène inférieur)
	Oasis Chegga n°35	0-560	Sable à gypse et alternance d'argile et de sables
		560-840(substratum)	Marnes à gypse et anhydrites

	Oumeche	0-300 > 300 (substratum)	massives (éocène moyen) Argiles à gypse et sable Marnes, gypse, anhydrites (éocène moyen)
	Gueddacha	0-100 > 100 (substratum)	Sable argileux Calcaires marneux, marnes (Cénomaniens)

Les sondages électriques A1, A3, A4, A5, A6 et B1 (annexe 02), montrent d'après le modèle électrique obtenu à partir d'une ligne d'émission en AB= 2000 m que l'on recoupe :

- Un premier terrain peu résistant constitués de :

- Argile, sable et passée de Gypse <80 Ohm.m
- Sable argileux, pouding et grés > 80 Ohm.m.

- Un deuxième résistant (substratum) des marnes à gypse et des marnes à anhydrite dont la résistivité est compris entre 20 et 100 ohm.m.

2-2-2-Interprétation des données des sondages électriques de la nappe des calcaires:

Les colonnes stratigraphiques des forages Oued Doucen n°84, n°81, Bessibes, M'Chounech, Ourellal et Lioua (annexe 02) implantés dans la nappe d'éocène inférieur et Sénonien Supérieur montrent la succession des formations suivantes:

Tableau 40: Valeurs de la résistivité des formations existantes dans la nappe des calcaires.

Nappe	Forage (Région)	Profondeur	Lithologie	
Miopliocène	Oued Doucen n°84	0-100	Argiles, sables et cailloutis	
	Oued Doucen n)81	0-120	Argiles, sables et cailloutis	
	Bessibes	0-70	Argile à passée de gypse Calcaires à passées de gypses, Argile et calcaires dure	
	M'Chounech	0-100	Sables argileux rouges	
	Ourellal	0-20 20-65	Argile brune silteuse avec gravier Argile brune avec sable	
	Lioua		0-45 45-100	Gravier et sable Argile beige avec passée de sable moyen
			100-215	Intercalation de calcaire dur d'argile de sable et de gravier

Eocène moyen (substratum)	Oued Doucen 84	100-250	Argile gypseuse et anhydrite
	Oued Doucen 81	120-220	Calcaire marneux et anhydrite massive
	Bessibes	70-170	Marno- calcaires et calcaires Argiles roses et brunes compactes
	M'Chounech	absent	Absent
	Ourellal	65-225	Argile brune silteuse avec gypse fibreux, sableuse vers la base
	Lioua	215-375	Marnes grises
Eocène inférieur et Sénonien Supérieur	Oued Doucen 84	250-500	Calcaire à silex noir et calcaire massif
	Oued Doucen 81	220-450	Calcaire à silex noir
	Bessibes	170-250	Calcaire
	M'Chounech	100-140	Calcaire massif à silex
	Ourellal	225-265 265-545	Calcaire blanc dur Calcaire fissuré
	Lioua	375-530	Calcaire beige à blanc dur

Les sondages électriques B2, B3, B4, B5, B12, A2 et A5 (annexe 02), montrent d'après le modèle électrique obtenu à partir d'une ligne d'émission en AB= 2000 m que l'on recoupe trois horizons:

- 1^{er} horizon très résistant dont la résistivité ρ compris entre = 25 et 100 Ohm.m;
- 2^{ème} horizon (substratum) conducteur de résistivité $\rho = 9$ Ohm.m ($10 < \rho < 70$ Ohm.m) ;
- et un 3^{ème} horizon résistant dont la résistivité $\rho > 100$ Ohm.m.

Après la comparaison entre les sondages électrique et mécaniques nous avons emprunté l'échelle des résistivités suivantes:

Tableau 41 : Récapitulatif de la résistivité des formations existantes dans la nappe de sables et celle de calcaires de Biskra.

Formation	Age	Résistivité adoptée en Ohm.m
Nappe de sables		
- Argile, sable et passée de Gypse	MioplIOCène	<80 Ohm.m
- Sable argileux, pouding et grés		> 80 Ohm.m
Nappe de calcaire:	Eocène inférieur et	
Calcaire à silex noir et calcaire massif	Sénonien supérieur	> 70 Ohm.m

2-3- Interprétation des coupes géo électriques:

2-3-1-Introduction:

L'interprétation de ces sondages électriques nous a permis d'établir 07 coupes géo électriques :

Coupe I: Secteur Doucen Ouled Djellal d'orientation Sud –Ouest au Nord –Est (profil A à D).

Coupe II: Secteur Chegga d'orientation Sud- Ouest au Nord –Est (profil A, B et C).

Coupe III: Secteur Netine d'orientation Ouest à Est (profil A à C).

Coupe IV: Secteur Ain Daba d'orientation Nord au Sud (A à J).

Coupe V: Secteur Foum El Gherza d'orientation Nord Nord Ouest au Sud Sud Est (profil A et B).

Coupe VI: Secteur Gueddacha d'orientation Nord au Sud (profil A, B et C).

Coupe VII: Secteur Sarg El Kebir d'orientation Sud Est au Nord Ouest (profil A à F).

La distance AB= 2000 m avec un dispositif Schlumberger

Le tableau 42 suivant résume les travaux de terrain.

Tableau 42: Caractéristiques des profils électriques de la région d'étude.

N° (profil)	Orientation	Longueurs en Km	Nombre de S.E.V	Coordonnées		
				X (Km)	Y (Km)	
I	SW–N E	28	136	PqI	740.500	132.100
				Pqf	733.500	147.000
II	SW–N E	06	24	PqI	798.000	131.800
				Pqf	792.000	127.000
III	W- E	10	72	PqI	724.800	155.400
				Pqf	734.800	155.000
IV	N – S	08	42	PqI	772.000	166.000
	SE- NW			Pqf	784.000	164.000
V	NNW – SSE	06	13	PqI	796.000	176.000
				Pqf	798.200	173.000
VI	N- S	3.5	09	PqI	775.000	176.000
				Pqf	776.500	174.000
VII	SE – N W	38	96	PqI	720.000	122.500
				Pqf	759.500	148.600

Avec: PqI : piquet initial du profil et Pqf : piquet final du profil

Les profils géo électriques ont été réalisés à partir des profils géophysiques et suivant l'alignement des forages hydrogéologique.

2-3-2-Coupe I -Secteur Doucen -Ouled Djellal -

Cette coupe (fig.32) orienté Sud –Ouest au Nord –Est débuté par le SEV1 du profil A située a Oued Trifia et va jusqu'au SEV34 du profil D traversée les 02 forages de Oued Doucen n°81 et n°84.

L'analyse de coupe montre dans:

- Le secteur Sud- Ouest une remonté des différents terrains tertiaire et crétacé d'une résistivité apparente supérieur à 60 ohm.m (calcaire dolomitique) qui arrivent à l'affleurement et ce à l'emplacement d'une structure anticlinale.

La zone Nord d'une résistivité élevées correspondant probablement au calcaires à silex de l'éocène inférieur qui s'approfondissent dans cette zone et dont le recouvrement Miopliocène représenté par des argiles, grés, sables et cailloutis devient plus épais au niveau des coupes A, B et C.

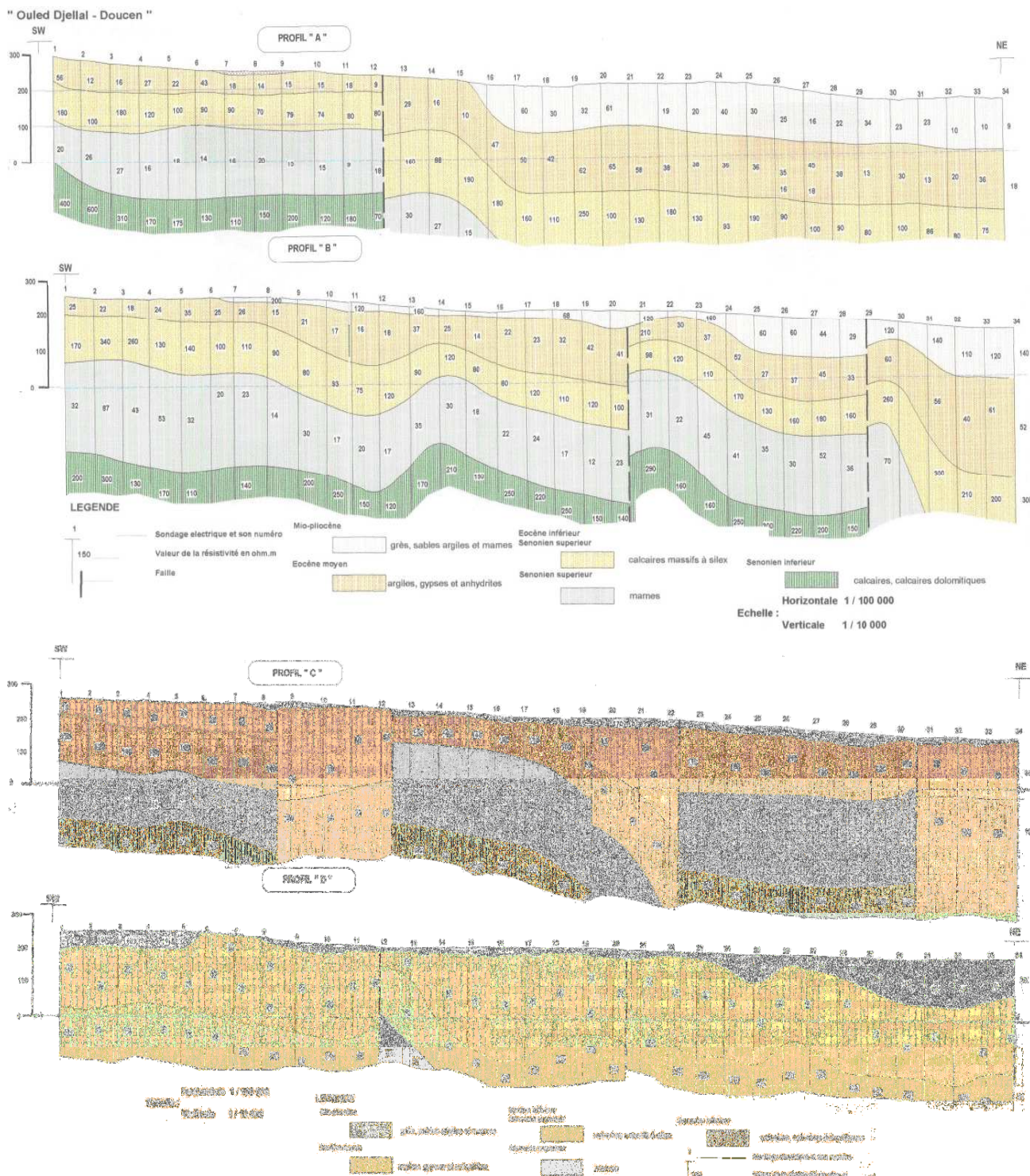


Fig. 32: Coupe géophysique du Secteur Doucen -Ouled Djellal.

2-3-3-Coupe II-Secteur Chegga-

Cette dernière (fig.33) orientée Sud- Ouest au Nord –Est montre que les sondages électriques (Profil A, B et C) ont recoupé :

- Les formations Miopliocène constituées par un horizon résistant probablement intercalé entre deux niveaux conducteurs argileux sableux et dont l'épaisseur est plus importante au niveau du compartiment Sud-Ouest;
- Les marnes à gypse et anhydrite de l'éocène moyen qui constitue le substratum de l'aquifère Miopliocène.

Au point de vue structurale, il apparaît selon différentes coupes géoélectriques que:

- L'accident tectonique d'orientation NNW – SSE passant à l'Est de Bordj Chegga fait remonter le compartiment Nord- Est par rapport à celui du Sud- Ouest.
- L'horizon résistant Miopliocène dont l'épaisseur diminue dans le compartiment Nord-Est, dessine un seuil hydraulique représenté par une structure anticlinal au niveau du profil B.

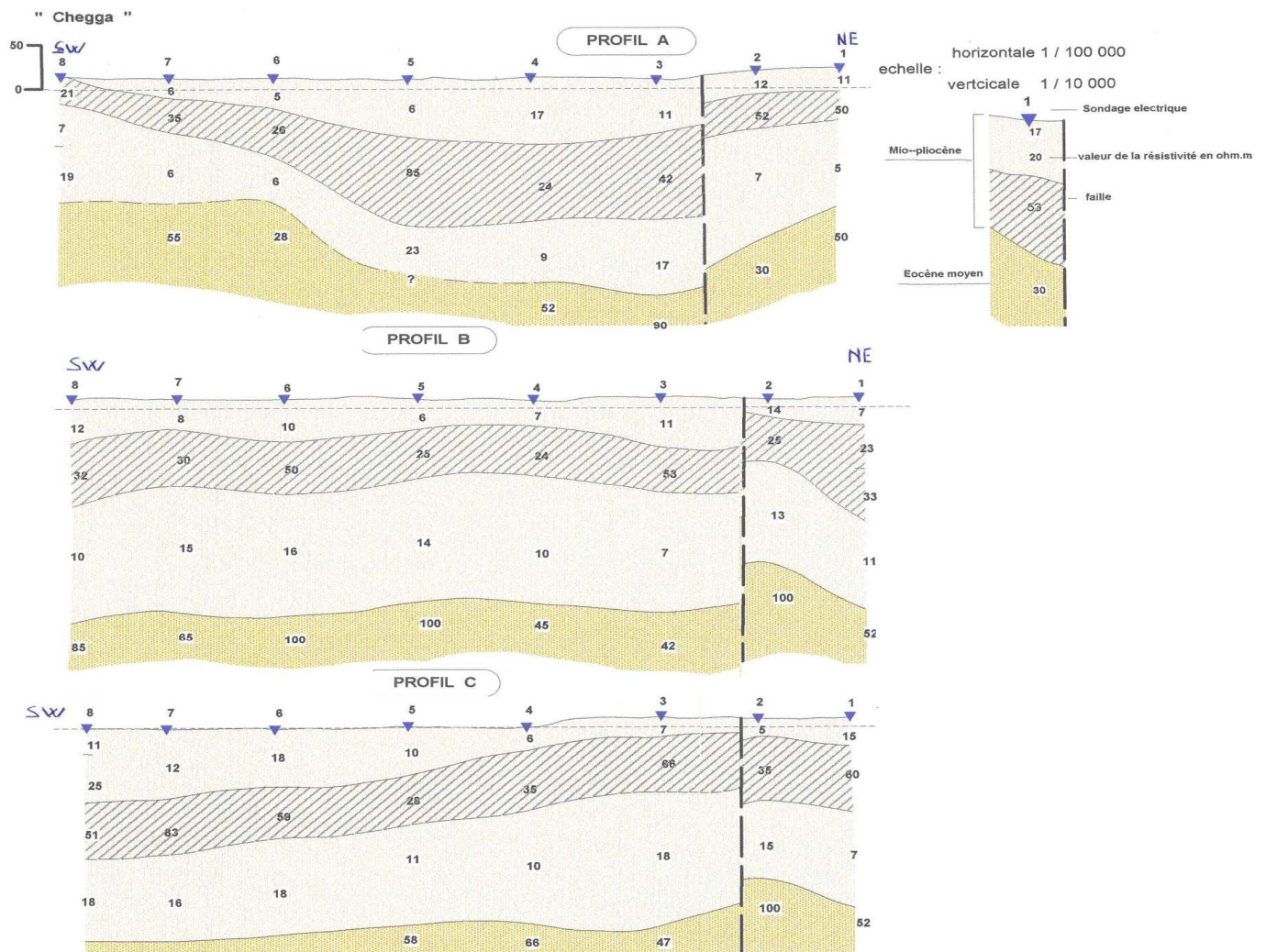


Fig. 33: Coupe géophysique du secteur Chegga.

2-3-4-Coupe III –Secteur de Netine-

Cette coupe (fig. 34) d'orientation Ouest – Est traversée le secteur de Netine qui est recoupé par un ensemble d'accidents tectonique d'orientation WNW – ESE et SW – NE.

Elle met en évidence la succession des terrains suivants:

- Des argiles et calcaires à passées de gypse de quaternaire d'une résistivité varie de 6 à 31 ohm.m ;
- Argiles et calcaires rose et blanc de Miopliocène reposent sur des argiles et marno-calcaires de l'écène moyen d'une résistivité comprise entre 8 et 30 ohm.m
- Des calcaires d'écène inférieur de résistivité d'ordre de 220 ohm.m.

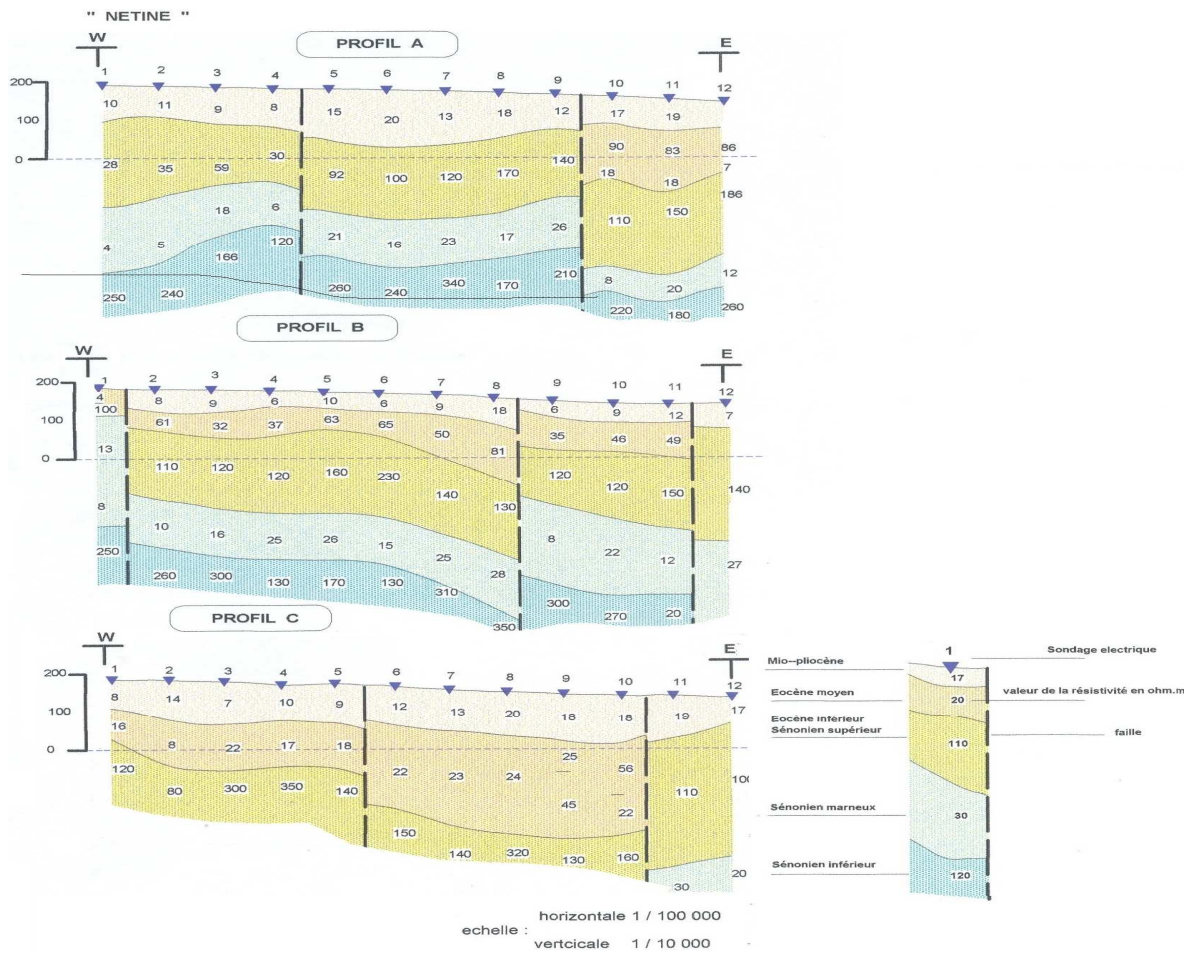


Fig. 34: Coupe géophysique du secteur Netine.

2-3-5-Coupe IV- Secteur Ain Daba-

Cette coupe (fig.35) couvre les secteurs d'Ain Daba et Saada qui sont situés au niveau de la partie septentrionale de la plate forme saharienne et au sud de la flexure sud atlasique.

Cette coupe montre que:

- Les formation Miopliocène formés par des argiles gypseuses et des sables argileux d'une épaisseur de plus de 400 m et d'une résistivité comprise entre 3 à 65 ohm.m reposent sur un substratum formé par des marnes, des marnes à anhydrite et des marnes gypseuses d'écène moyen dont la résistivité est de 22 à 90 ohm.m.

En ce qui concerne les aquifères profonds (écène inférieur), il serait nécessaire pour pouvoir étudier leur géométrie d'utiliser une ligne d'émission AB de 6000m.

" AIN DABA "

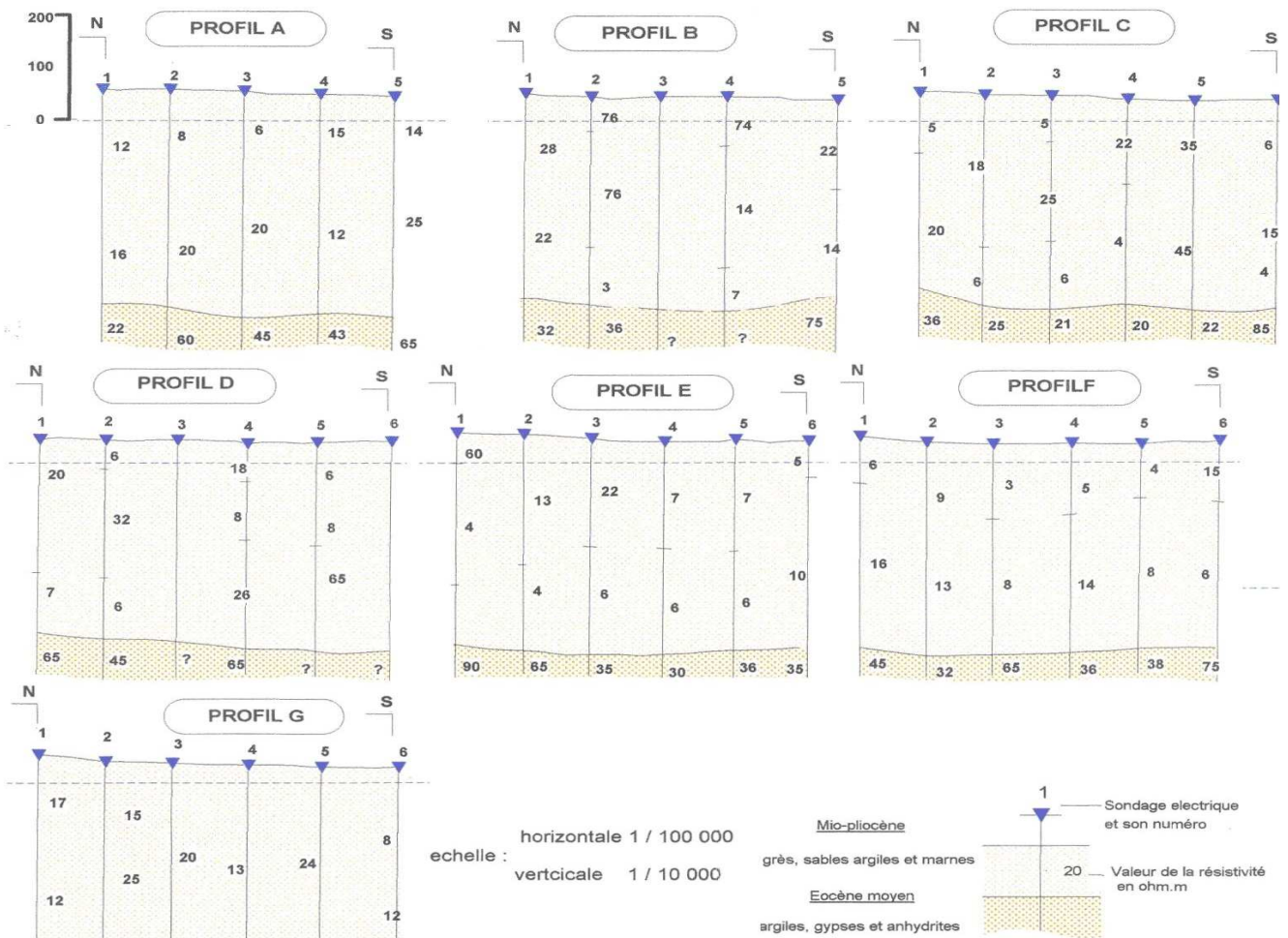


Fig.35: Coupe géophysique de l'Ain Daba.

2-3-6-Coupe V –Secteur Foug El Gherza-

Cette coupe (fig.36) d'orientation Nord -Nord Ouest au Sud -Sud Est, traversée le secteur de Foug El Gherza, situé au niveau de la zone septentrionale de la plate forme saharienne, immédiatement au Sud de la flexure atlasique.

Elle est caractérisée par:

- Des formations du Miopliocène représentés au sommet par des poudings et des grès résistants d'une résistivité de 80 à 330 ohm.m et à la base par des argiles plastiques conductrices surmontant un horizon formé par des marnes rouges à gypse d'une résistivité de 72 à 95 ohm.m correspondant probablement au miocène inférieur.

Foum El Gherza

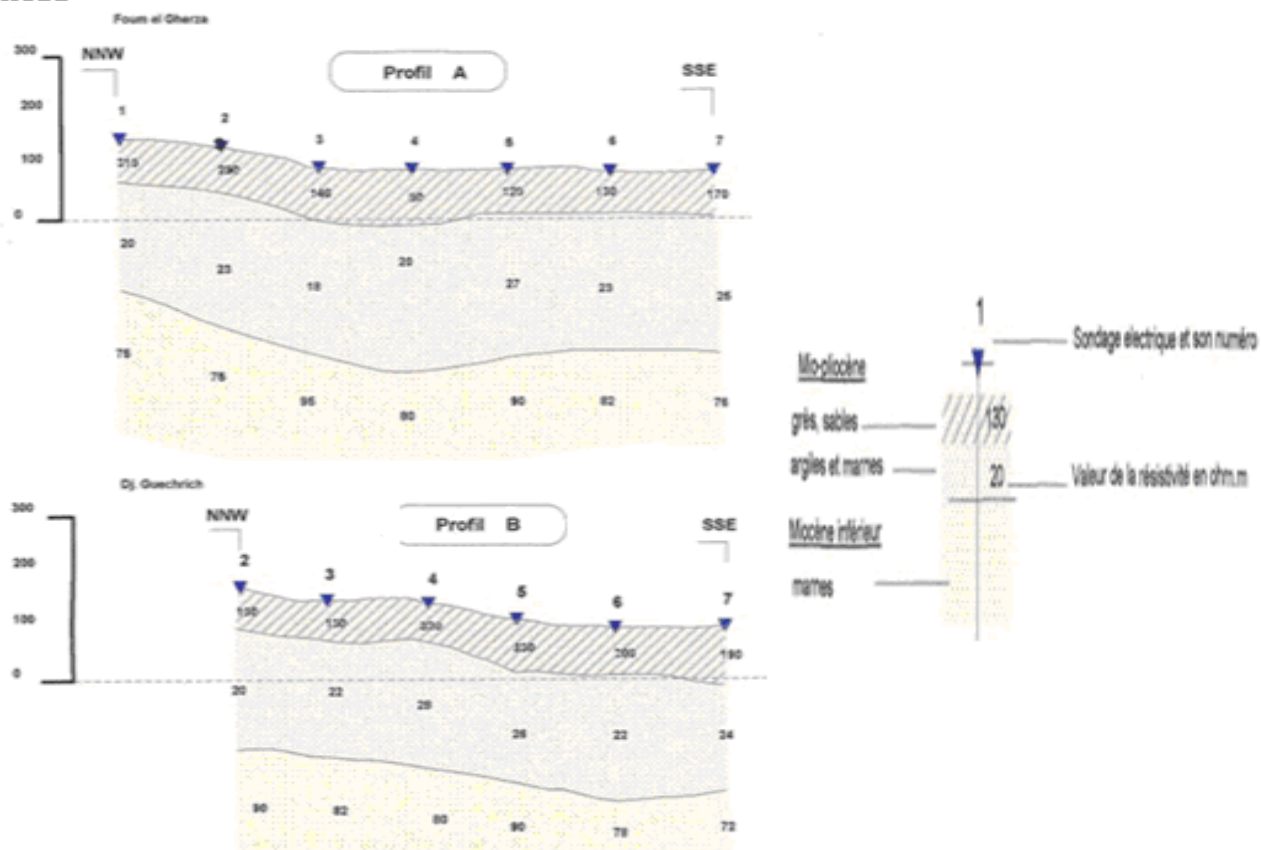


Fig. 36: Coupe géophysique du secteur Foum El Gherza.

2-3-7-Coupe VI –Secteur de Gueddacha-

Les coupes géo électriques A, B, C et D (fig.37) d'orientation Nord-Ouest Sud Est montrent que au niveau du secteur de Gueddacha, les formations traversées par les sondages sont essentiellement conductrices (sable du Mio-plio-quaternaire) et se situent à l'endroit d'une structure anticlinale affectée dans sa partie centrale par la flexure sud atlasique.

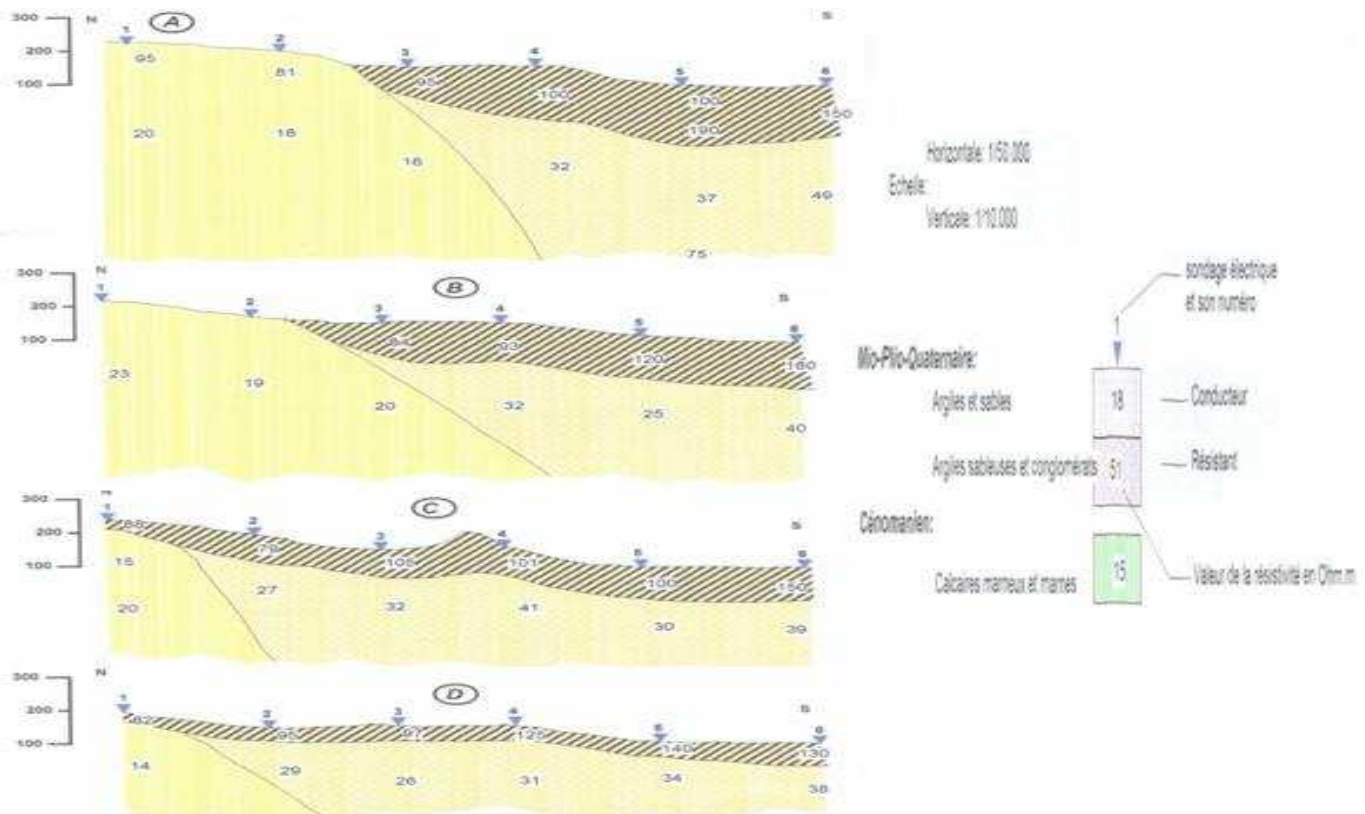


Fig. 37: Coupe géophysique du secteur Gueddacha.

2-3-8-Coupe VII –Secteur Sarg El Kebir-

Cette dernière d'orientation Sud Est –Nord Ouest (fig.38), elle est caractérisé par :

- Au niveau des coupes géo électrique A et B (fig.38.A) les formations recoupées correspondant au Miopliocène, à l'écène moyen, à l'écène inférieur et au sénonien montrant au niveau de la faille d'orientation WNW- ESE passant au Sud des sondages A1 et B8 et s'enfouissent de part et d'autre de celle –ci.
- Les coupes géo électriques C et D (Fig.38A et B) permette de constater que les terrains traversés sont représentés par les formations résistantes de l'écène inférieur et du Miopliocène ainsi que celles conductrices de la base de sénonien supérieur et de l'écène moyen.la partie sud Ouest des coupes indique une remontée des différentes formations avec une diminution des épaisseurs des argiles, sables et cailloutis de Miopliocène. Dans la partie Nord –Est des coupes on remarque un épaissement des terrains Miopliocène avec un enfouissement des différents horizons.
- Les coupes géo électriques E et F fig.38.B montrent une remontée des différentes formations dans la partie Sud –Ouest et Nord-est des coupes et un enfouissement de celles-ci dans le secteur central avec un épaissement des grés, sable et argiles du Miopliocène d'une résistivité comprise entre 45 et 190 ohm.m.

" SAREG EL KEBIR "

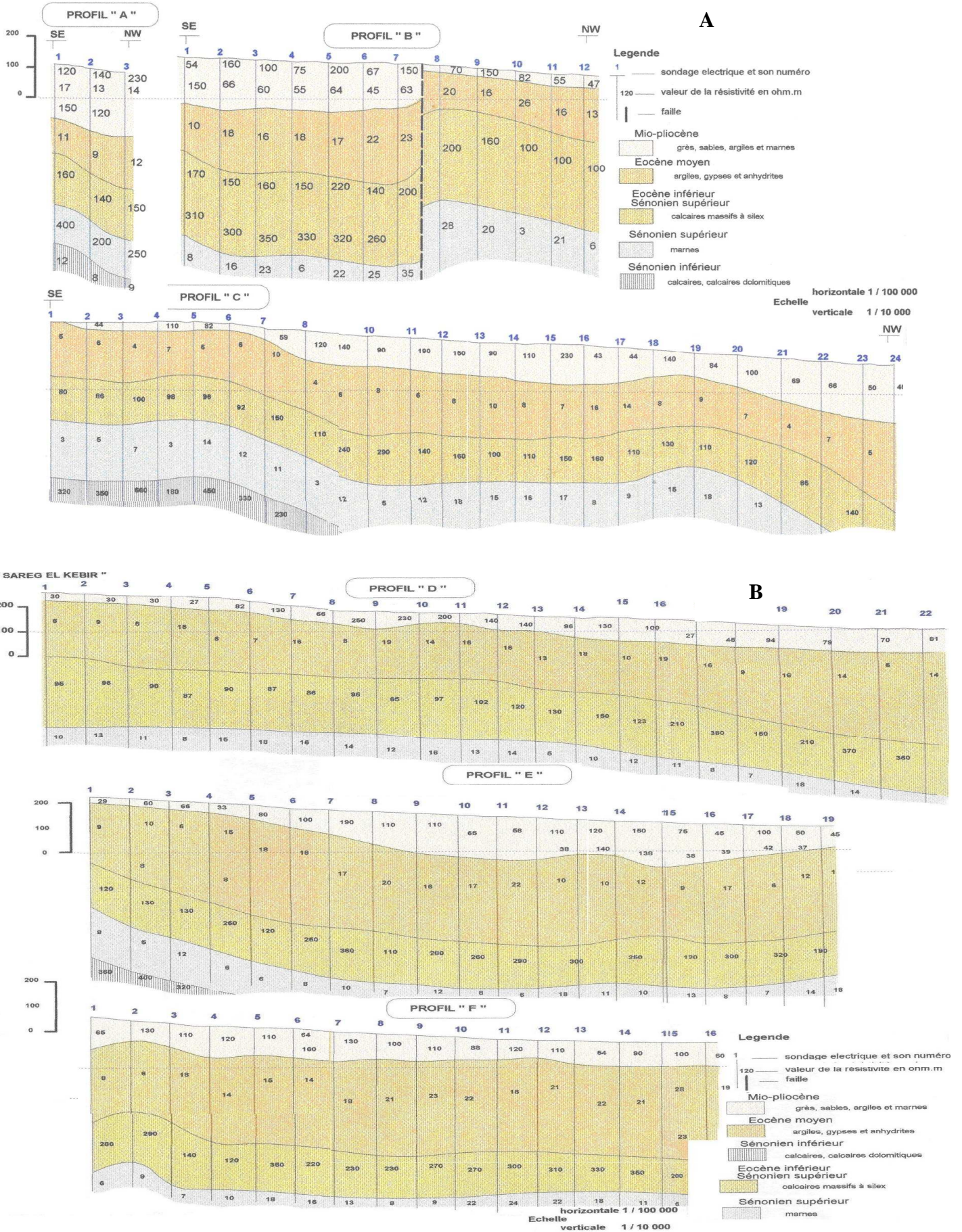


Fig. 38: Coupe géophysique du secteur Sarg El Kebir.

2-4 -Carte en isopaches:

L'établissement de ces cartes concerne la représentation en courbes isopaches des deux horizons aquifères précédemment définis à savoir:

- Les sables du Miopliocène ;
- Calcaires de l'éocène inférieur à sénonien supérieur ;

Les cartes isopaches (fig.39 et 40) montrent une hétérogénéité dans la répartition des épaisseurs, cette dernière dépend de l'extension de la nappe.

En effet, on observe deux zones aquifères situées à différentes profondeurs et épaisseurs, ce qui démontre une hétérogénéité horizontale et verticale dans la répartition des aquifères : la première caractérisant la nappe des sables du Miopliocène (fig.39) et la seconde pour celle des calcaires d'Eocène inférieur (fig.40).

2-4-1-Carte égale épaisseur des sables:

L'examen de cette carte (fig.39) révèle la présence des faibles épaisseurs des sables au niveau de la partie Sud-ouest (Doucen, Netine et Chebket Makhloof), par contre les épaisseurs les plus importants se situent entre Chegga au Sud et Ain Daba au Nord.

Nous notons une baisse des épaisseurs d'Est en Ouest.

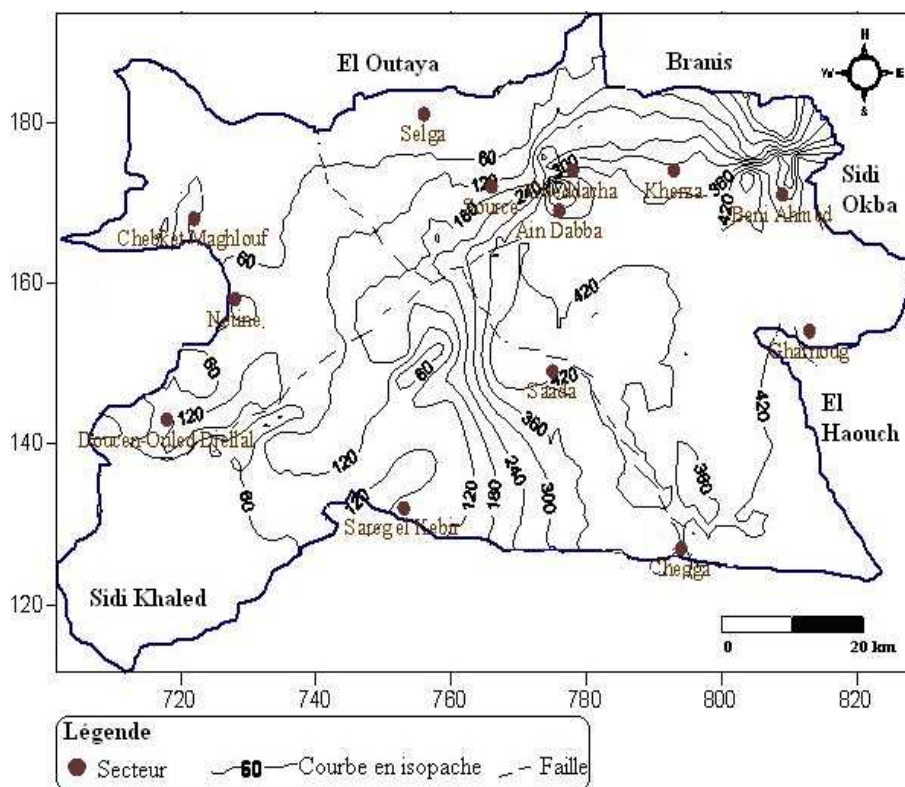


Fig. 39 : Carte en isopaches de la nappe des sables du Miopliocène.

2-4-2 -Carte égale épaisseur des calcaires :

Les épaisseurs les plus importantes se situent au Sud Ouest de la région d'étude (fig.40), aux alentours du la ligne Doucen Sarg el Kebir. En comparant la présente carte à la précédente on remarque que les épaisseurs sont moins importantes, le maximum est de 220 m caractérisant la zone Nord de Sarg El Kebir.

Au niveau des autres zones les épaisseurs sont moins importantes mais la nappe peu receler des ressources non négligeables.

On conclu, la zone Centrale et Sud Est demeure favorable pour la nappe des sables car l'aquifère est bien représenté du point de vue extension et épaisseur. Par contre la zone Ouest et Sud Ouest est représentative pour la nappe des calcaires. La répartition des nappes déterminées à partir de l'étude géophysique montre que la présence de ces dernières suit la flexure sud atlasique et les forages réalisés dans la plaine confirment les constatations qui ont été faite.

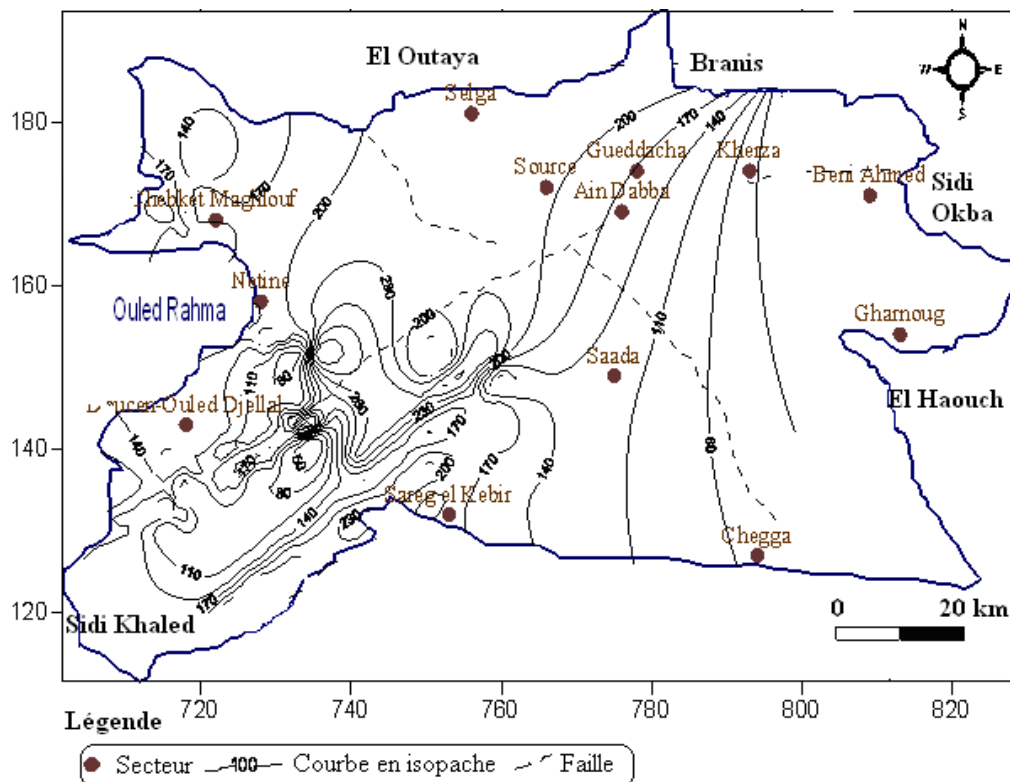


Fig. 40 : Carte en isopaches de la nappe des calcaires d'Eocène inférieur.

3 - Conclusion :

En somme, à travers l'étude corrélatrice de la prospection électrique avec la géologie, on constate une analogie des résultats enregistrés.

Les horizons géo électriques recoupent clairement les formations lithologiques rencontrées par les forages.

L'examen des coupes a mis en évidence la présence de deux grandes failles de direction différentes : Nord-Ouest Sud-Est et Sud Ouest Nord-Est.

L'interprétation révèle la présence de deux nappes aquifères superposées :

- Une première formée de sable argileux;
- Une deuxième formée de calcaire à silex.

La répartition des forages favorables réalisés dans la région confirme les constatations qui en été faite.

Aperçu Hydrogéologique

Le Sud Algérien, renferme des nappes de grandes extensions. La profondeur de ces niveaux est très variables, elle atteint plus de 500 mètres. Cette situation, complique souvent la tâche des chercheurs car prêtant à confusion. Le présent chapitre a pour objectif l'étude des différentes nappes.

1-Sollicitations des nappes :

Les études géologiques (Cornet, 1964; Busson, 1971; ERESS, 1972 Fabre, 1974) et hydrogéologiques ont montré l'existence de plusieurs niveaux aquifères hétérogènes. Ces aquifères apparaissent dans les formations d'âge Quaternaire, Mio-Pliocène, Eocène inférieur, Sénonien supérieur (Maestrichtien) et l'Albien (fig.41). D'autres nappes de faible extension sont présentes au niveau de la région de Biskra, c'est le cas des nappes contenues dans les formations datées du Sénonien et du Turonien, elles apparaissent à la faveur de la flexure Sud Atlasique. Elles sont rarement exploitées. Cependant dans le Sahara septentrional, les nappes aquifères les plus sollicitées sont la nappe du continental intercalaire (CI) et celle du complexe terminal (CT).

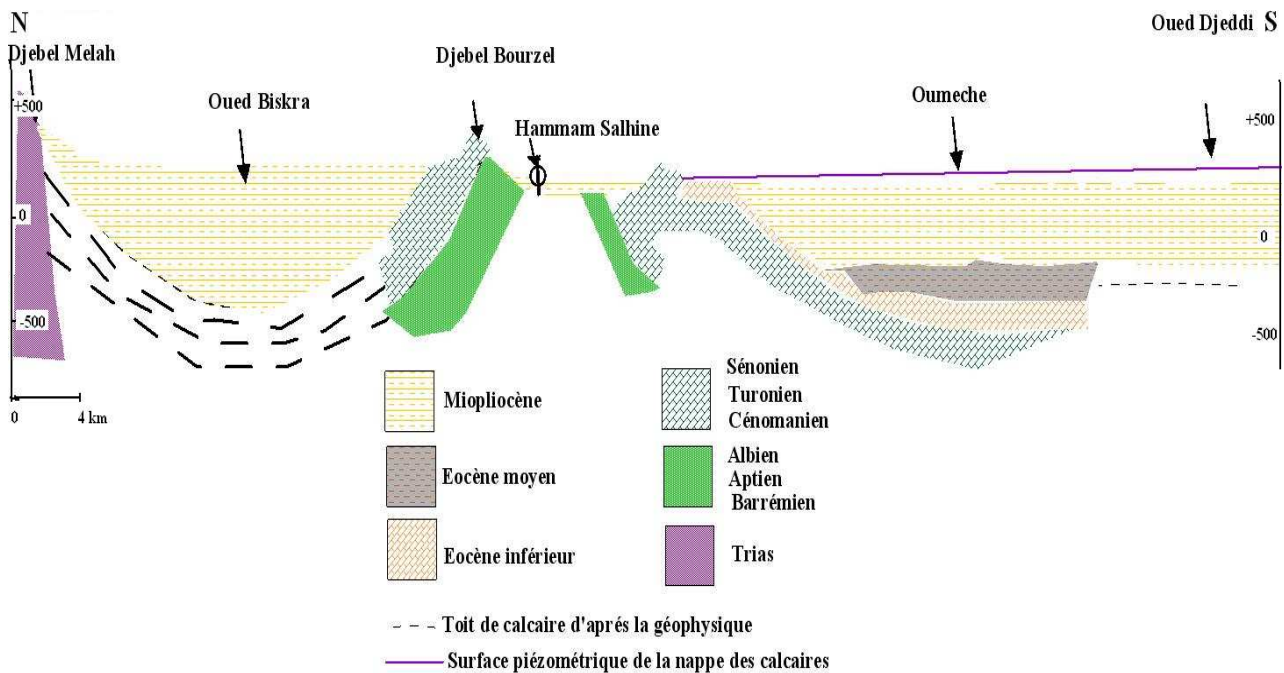


Fig. 41: Coupe hydrogéologique schématique montrant la succession des niveaux aquifères région de Biskra (in Abdesselam, 1979).

La campagne de la géophysique de l'ANRH, 2003, nous a permis de définir trois ensembles hydrogéologiques différents:

1-1-Quaternaire :

Cette formation du quaternaire est représentée essentiellement par la nappe phréatique de l'oued Biskra et l'Oued Djeddi, qui représente la ressource la plus importante pour l'irrigation des palmeraies de Sidi Khaled et Ouled Djellal. Et également une grande partie de l'Alimentation en Eau Potable de la ville de Biskra.

1-2-Complexe terminal:

On regroupe sous le nom de “ Complexe Terminal ” l’ensemble des formations les plus récentes allant du Sénonien supérieur au Mio-Pliocène. Cette dénomination représente bien le fait que plusieurs aquifères en plus ou moins étroites relations, sont regroupés au sein d’un même réservoir. Ces aquifères sont, l’Eocène carbonatés (nappe des calcaires d’Eocène inférieur) et le Mio-pliocène sableux (nappe des sables).

1-3-Continental Intercalaire

C’est un réservoir très important constitué essentiellement de grés et de marne d’âge Albien et Barrémien, d’une profondeur entre 1600 et 2500 m et un débit moyen de 80 l/s jaillissant. Son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur, en plus la température de l’eau peut dépasser les 60°C. Cette nappe est exploitée dans la wilaya par 19 forages.

2-Localisation des nappes :

2-1-Nappe du Quaternaire:

Les formations Quaternaire couvrent une grande partie de la plaine de cette région et contiennent la nappe phréatique de Biskra. Cette nappe est très présente au niveau des palmerais de Tolga et au niveau des oueds (nappe d’inféro-flux), sa profondeur maximale est de dix (40) mètres. Son réservoir est constitué de cailloutis, de dunes de sables et d’alluvions sableuses et caillouteuses des lits actuels des oueds (M8 annexe 04), ce qui indique une hétérogénéité du réservoir. A l’Ouest de oued Djeddi, l’aquifère est constitué par des alluvions sableuses et argileuses alors qu’à l’Est les poudings sont relayés progressivement par un dépôt sableux ou argileux.

Le substratum est formé par une épaisse couche argileuse (Cf. coupe 3-3, annexe 03), avec intercalation de quelques niveaux de sables, de gravier et des marnes (coupe 2-2, annexe 03), apparaissant sous forme de lentilles de sable en discordance avec les couches d’argiles (coupe 2-2 et 3-3 annexe 03).

L’emplacement des coupes réalisées est reporté au niveau de la figure 42.

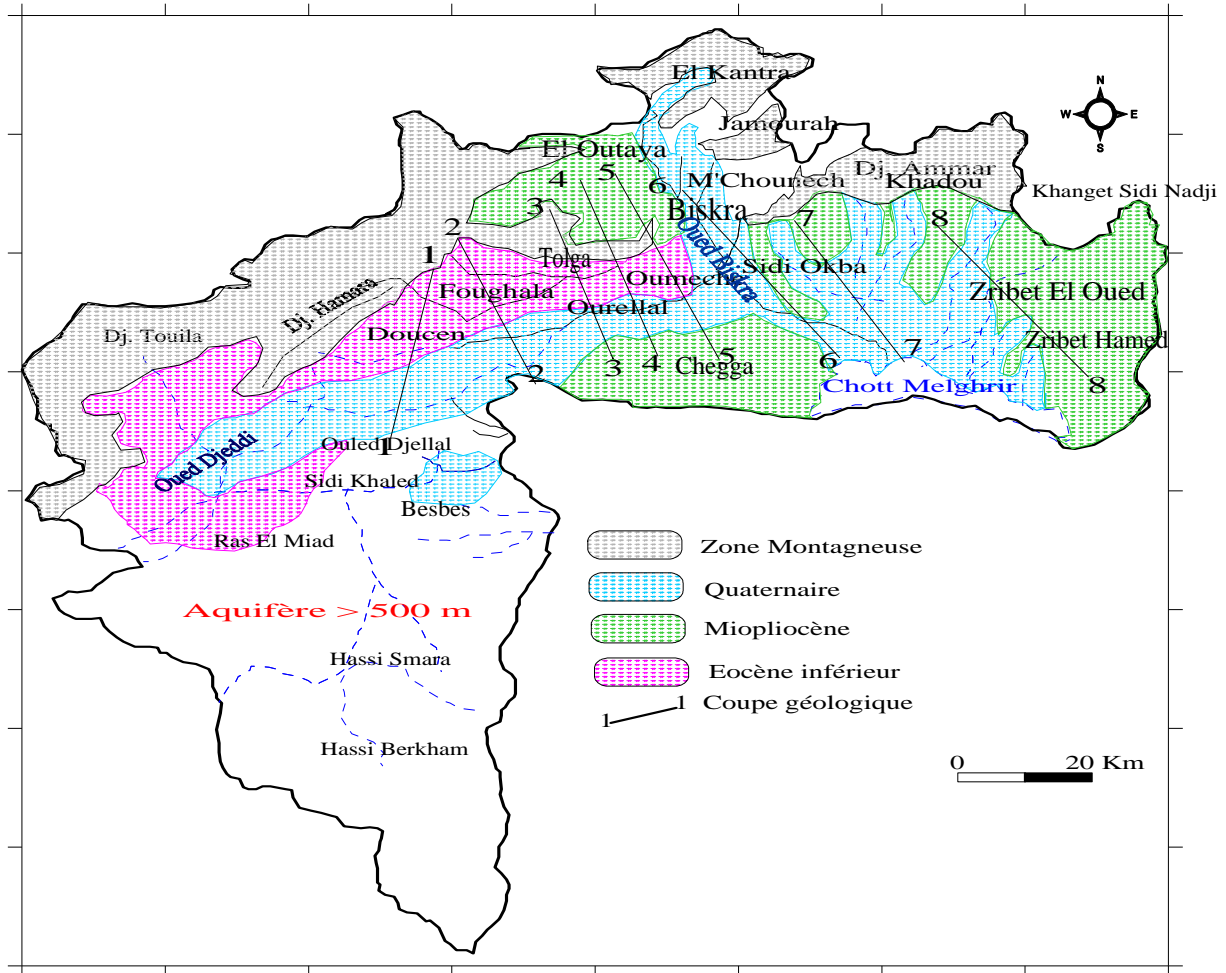
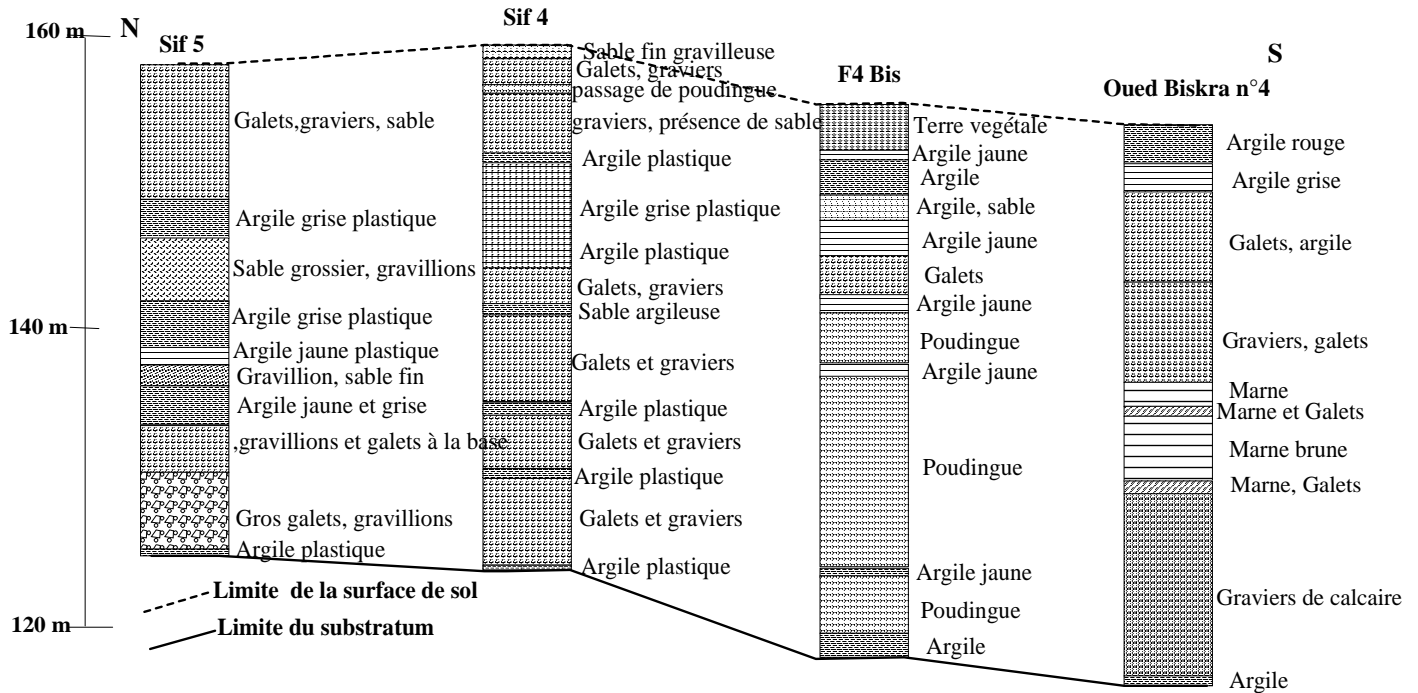


Fig. 42: Les aquifères inventoriés au niveau de la région de Biskra.

2-1-1- Structure de la nappe phréatique d'oued Biskra:

La nappe phréatique se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires. L'aquifère de cette nappe est de forme allongée de direction Nord-Sud. Cette forme a été façonnée par l'oued Biskra lequel est creusé dans les marines imperméables du miocène et remblayé par des dépôts alluvionnaires perméables, constitués de galets, graviers et sables, avec de faibles intercalation d'argile sableuse très discontinue. Le substratum doit être formé par une succession plus ou moins épaisse de passées argileuses (fig.43).



Coupe longitudinal (AB)

Fig. 43: Coupe hydrogéologique schématique

La coupe AB (fig.43), indique que la nappe des alluvions repose sur un substratum argileux d'âge Miocène, son épaisseur varie entre 37 à 40m, sa lithologie est homogène dans sa globalité, elle est constituée de galets, de graviers avec alternance de niveaux d'argiles. Vers le Sud, particulièrement au niveau du forage oued Biskra n°4, apparait une épaisse couche d'argile le long des premiers mètres du forage, elle s'intercale avec des marnes.

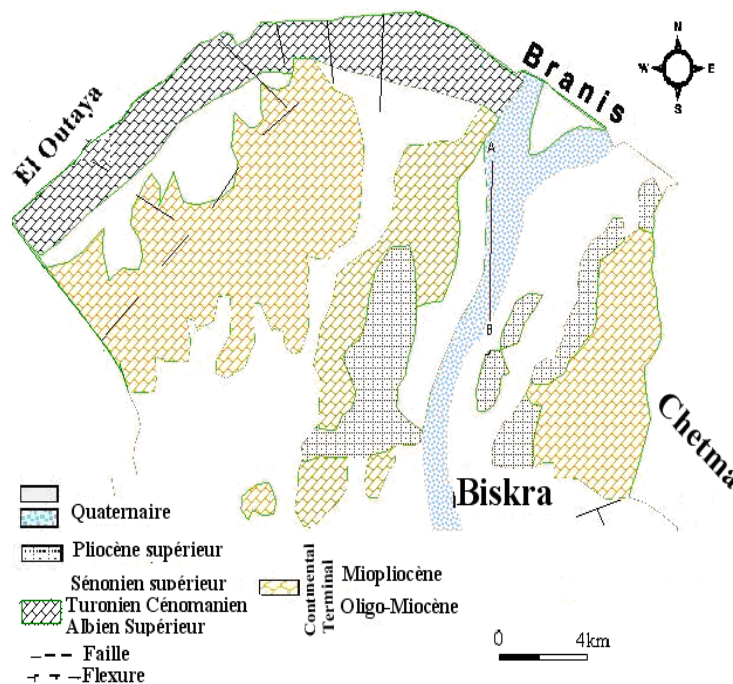


Fig. 44 : Position de la Coupe AB.

2-1-2-L'Exploitation de la nappe et ses effets:

2-1-2-1- Exploitation de la nappe phréatique en 1980:

-La nappe alluviale de l'Oued Biskra est exploitée par six (06) forages, se répartissant comme suit (fig.45):

- 2 forages alimentant en eau potable la ville de Biskra, fournissant annuellement 4.959.200 m³ soit un débit fictif continu de 157 l/s F1(x=778.15km, 181.25km) et F2(x=780.05km, y=180.8km);
- 3 forages en travers de l'oued Biskra F1(x=778.085 km, y=180.69km) ; F2(x =778.21km, y= 180.7km) et F3 (x=778.2km, y =180.95km);
- 1 forage situé sur la rive gauche, dans le prolongement des forages précédents, alimentait en eau potable l'agglomération de Felieche (x= 779 km, y= 175,7km).

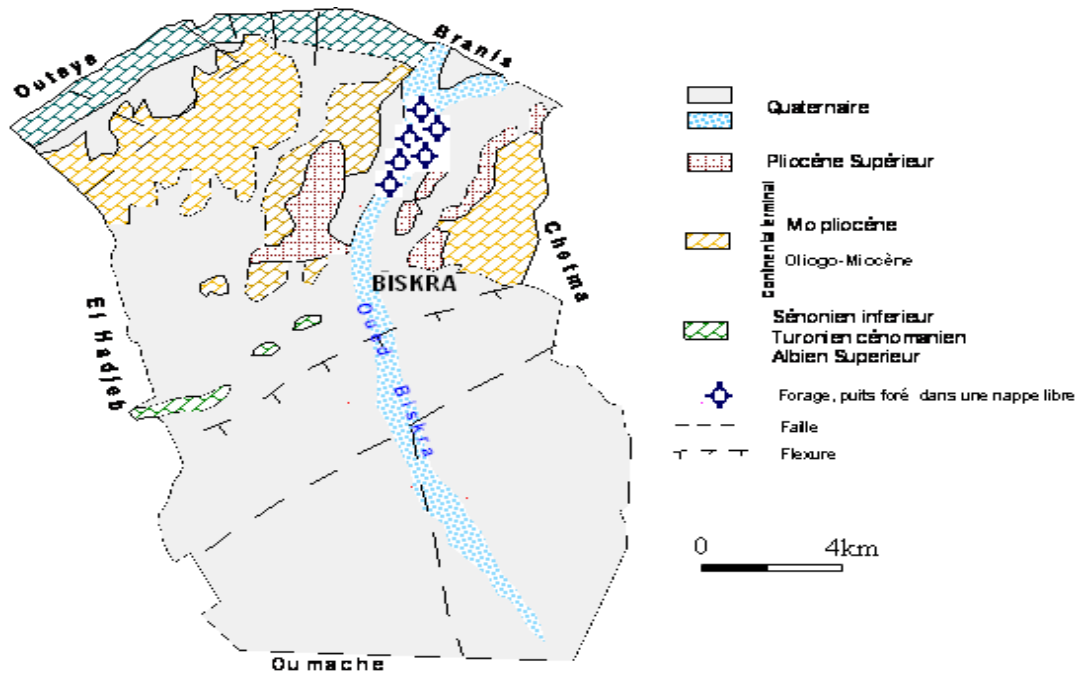


Fig. 45: Carte hydrogéologique de Biskra, établie à partir de la géologie de Biskra, 1979).

2-1-2-2 Exploitation de la nappe phréatique d'Oued Biskra en 2008:

En 2008, le nombre des forages exploitant la nappe phréatique est de 17 forages (ANRH, 2008), comme indiqué sur le tableau suivant:

Tableau 43 : Forages captant la nappe phréatique d'oued Biskra (2008)

Nom de forage	Coordonnées (Km)		Niveau statique (m)	Débit (l/s)
	X	Y		
B1	777,75	180,56	14	40
Sif 6	778,085	180,69	12	35
SIF5	778,21	180,7	13	30
SIF 4	778,2	180,95	/	accidenté
F3	778,15	181,26	14	50
OUED BISKRA N°4	778,175	181,51	14	accidenté
STATION F4	778,15	181,25	/	Tari
STATION F1	778,05	180,8	/	45
ALIA NORD N°1	777,575	179,2	/	accidenté
AEP SIF 4	778,2	180,95	/	40
SIF 6 BIS	778,14	180,4	13	40
F4 BIS	778,175	181,4	13	50
STATION F2 BIS	778,1	180,85	13	45
OUED BISKRA N°2	778,1	180,85	42	accidenté
OFLA (OND)	777,25	178,15	35	12
B5	777,75	180,55	14	12
Oued BISKRA Alia B6	777.750	181.1	13	15

On remarque que seuls les forages F4bis et le F3 (tableau 43), fournissent un débit de 50 l/s.

En l'an 2000, le débit total soutiré du réservoir est estimé à 414 l/s alors qu'il était en 1995 de 300 l/s. Cette augmentation du débit s'est accompagnée par un accroissement du nombre de forages (de 06 à 17 forages).

Notons qu'en 2000, le niveau statique des forages varié entre 11 à 42 m ANRH, par contre en 1970, il oscillait entre 6.5 et 9.5 m. A partir de l'année 1988, le fonçage de nouveaux ouvrages à commencé, ce qui s'est traduit par une baisse progressive du niveau statique. Pour illustrer nos propos, nous prenons comme exemple le forage Sif6bis (tableau 43), son niveau statique a chuté de 6.5 m en 10 ans (de 1990 à 2000), cette baisse reste considérable eu égard à l'épaisseur globale captée qui est de 30 m.

2-1-3-Les paramètres hydrodynamiques de la nappe phréatique d'Oued Biskra:

2-1-3-1 -Transmissivité:

Le calcul de T a été obtenu à partir de la formule de jacob.

$$s/Q = 0.183/T \log 2.25 Tt/r^2S \quad \text{avec:}$$

r: distance du puits pompé au point de mesure(m);

t: durée du pompage jusqu'à l'instant de la mesure (s);

S: coefficient d'emmagasinement de la nappe;

T: transmissivité (m²/s);

Q : débit pompé (constant en m³/s)).

Où s/Q désigne le rabattement de la nappe phréatique.

Les résultats de calculs sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 44 : Quelques valeurs de la perméabilité et de la Transmissivité des forages captant la nappe phréatique d'oued Biskra

Nom de forage	Situation géographique		T.10 ⁻² (m ² /s)	Epaisseur de la nappe (m)	K.10 ⁻³ (m/s)
	X (km)	Y (km)			
B1	777,75	180,56	7.3	38	2.51
sif 6	778,085	180,69	8.2	31	2.64
SIF5	778,21	180,7	8.6	27	3.18
SIF 4	778,2	180,95	8.1	38	2.13
F3	778,15	181,26	8.5	28	3.03
OUED BISKRA N°4	778,175	181,51	8.4	34.25	3
STATION F1	778,05	180,8	8.4	28	3
ALIA NORD N°1	777,575	179,2	6.9	42.14	1.64
SIF 6 BIS	778,14	180,4	8.7	32.5	2.68
B5	777,75	180,55	6.9	28	2.46

Le tableau précédent montre une Transmissivité variant entre $6.9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $8.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$; ces valeurs restent élevées, ce qui laisse supposer une bonne production d'eau. Les zones les plus transmissives (forages Sif 5 et Sif 6bis), montrent une lithologie constituées de dépôts très perméables (gravier et galets).

2-1-3-2-Perméabilité:

Le tableau 44, indique une perméabilité, cas du forage B5 $3.18 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Dans les alluvions la présence des argiles diminuent la perméabilité, cas du forage Alia Nord N°1(fig. 46).

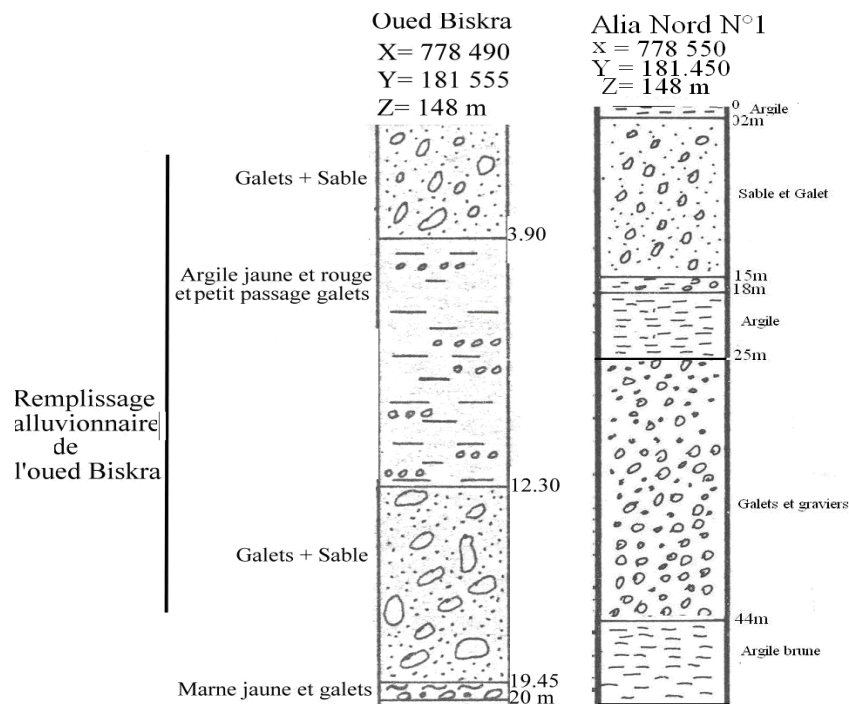


Fig.46 : Log stratigraphique du Forage Alia Nord N°1 et Oued Biskra captant les alluvions de l'Oued Biskra

2-1-4-Exploitation de la nappe du Quaternaire de Biskra:

L'exploitation des nappes phréatiques a permis l'entretien des palmeraies dans une première étape, à titre d'exemple dans les oasis. La proximité du niveau statique de la surface du sol permettait aux racines d'aller puiser leur directement de la nappe. Cependant l'accroissement de la demande en eau a entraîné une baisse du niveau statique allant jusqu'au tarissement de ces niveaux. Cette situation a contraint les agriculteurs à exploiter d'autres niveaux aquifères plus profonds. A ce titre on compte plus de 10000 puits dans la région de Biskra. 2500 à 3000 points d'eau dans la région d'Ouled Djellal, Sidi Khaled, Doucen et les palmeraies de Tolga (Données ABHS).

Aux contraintes précédentes s'ajoute la construction du barrage fontaine de gazelle à l'amont de la ville de Biskra, de ce fait la nappe n'est plus alimentée, accélérant l'assèchement des puits, ce qui a eu pour conséquence une réduction importante du nombre d'ouvrage. Actuellement, nous dénombrons 17 forages en service destinés à l'AEP à Biskra. A Ouled Djellal, Ourellal, Tolga, Foughala et Zribet el oued, les nombre des forages en service captant le quaternaire sont de: 71; 261; 6; 6 et 214.

2-1-5-Mode d'alimentation de la nappe du quaternaire:

Dans les zones les plus septentrionales, particulièrement la plaine d'El Outaya, l'alimentation se fait par ruissellement à partir des massifs des Aurès (Ain Touta). Concernant les nappes de l'inféoflux, l'alimentation se fait lors des crues des Oueds. Le ruissellement provoque la recharge des alluvions.

Les eaux d'irrigation et les eaux usées constituent une autre source d'alimentation des aquifères. En effet le retour des eaux se fait par infiltration.

2-1-6- Piézométrie de la nappe du quaternaire:

La carte piézométrique ('ANRH 1980), montre les directions de l'écoulement dans l'aquifère (fig.47). Ce dernier se fait selon deux directions :

La première se fait dans le sens du Sud Ouest vers le sud Est, vers l'Oued Djeddi

La seconde va dans le sens du Nord vers le Sud, suivant l'Oued Biskra,

La surface piézométrique se trouve à plus de 200 m à l'Ouest et Sud Ouest de Biskra ; par contre, elle peut baisser à moins de 25 m à l'Est.

Il faut signaler que l'écoulement des eaux souterraines présente une certaine convergence vers le centre de la plaine (le lit d'oued Djeddi) pour coïncider avec le tracé de l'oued Biskra pour jeté dans le chott Melghrir.

Notons que, dans la zone méridionale et centrale de la nappe, les courbes iso pièzes se trouvent espacées suite à un gradient hydraulique faible variant entre 1.25‰ et 1.5‰ car c'est la zone d'accumulation des eaux souterraine. Au Sud de Biskra et à Sidi Okba, les courbes deviennent plus serrées indiquant un gradient de l'ordre de 6‰, on pense que la variation du gradient hydraulique est due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie.

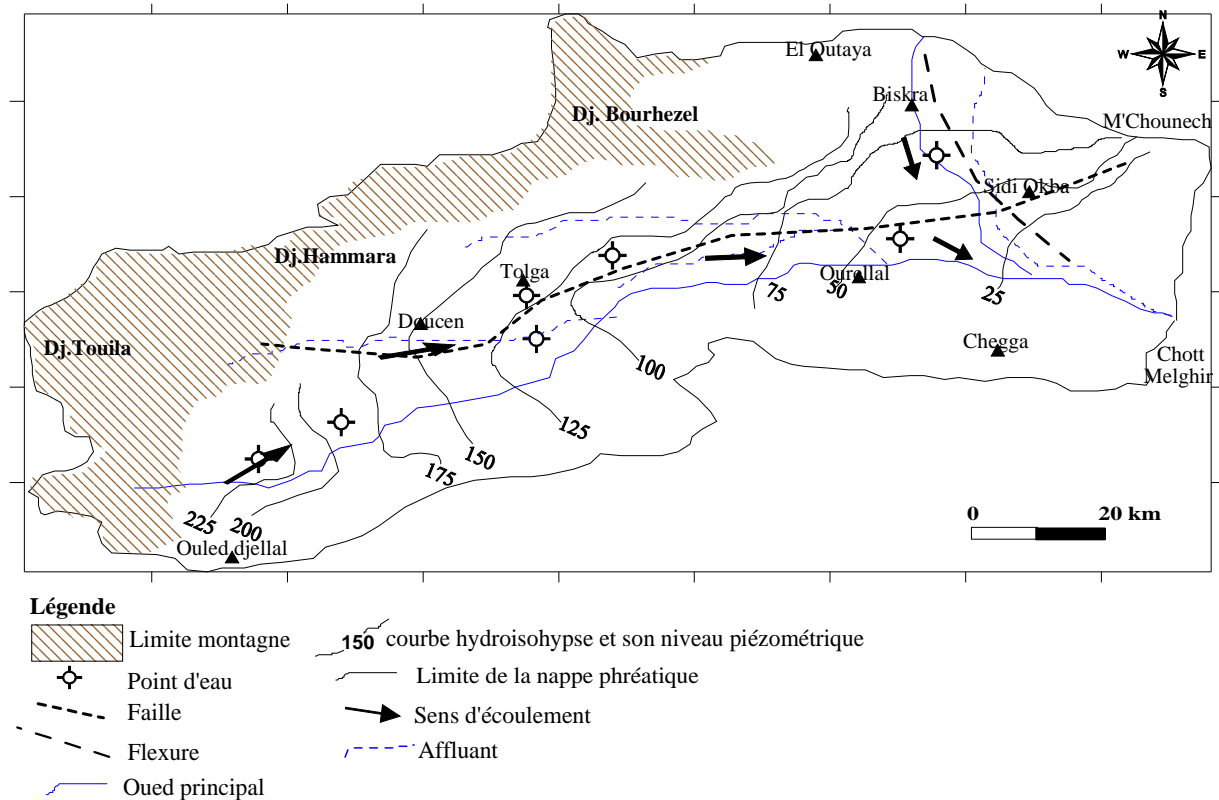


Fig.47 : Carte piézométrique de la nappe du quaternaire de Biskra (ANRH, 1980).

Après l'exécution d'une centaine de forages, au cours de la période allant de 1980 à 2000, dans la plaine d'El Outaya et la mise en service du Barrage fontaine des gazelles à l'amont de oued Biskra, la nappe phréatique subit actuellement une diminution continue du débit des forages et l'abaissement de la pression piézométrique de la nappe.

L'insuffisance des piézomètres et l'inaccessibilité des ouvrages profonds n'ont pas permis de tracer la carte piézométrique récente de la nappe libre (nappe du Quaternaire).

2-2-Nappe du complexe terminal:

Plusieurs niveaux aquifères sont déterminés. Nous allons les interpréter séparément. Le "complexe terminal", comprend les formations allant du Sénonien supérieur (carbonaté) au Mio-pliocène.

2-2-1-Nappe des sables :

2-2-1-1-Localisation de la nappe :

La nappe des sables occupe, généralement, les dépressions formant les plaines bordées par les massifs de Dj Guedare et Dj Bourhezel au Nord Ouest et Dj Ammar Khadou au Nord Est. Elle est constituée par une alternance d'argiles, de sables, de graviers et conglomérats avec des passées gypseuses. Elle repose sur un substratum formé par les assises imperméables du miocène marin et de l'éocène moyen (fig.48 et 49).

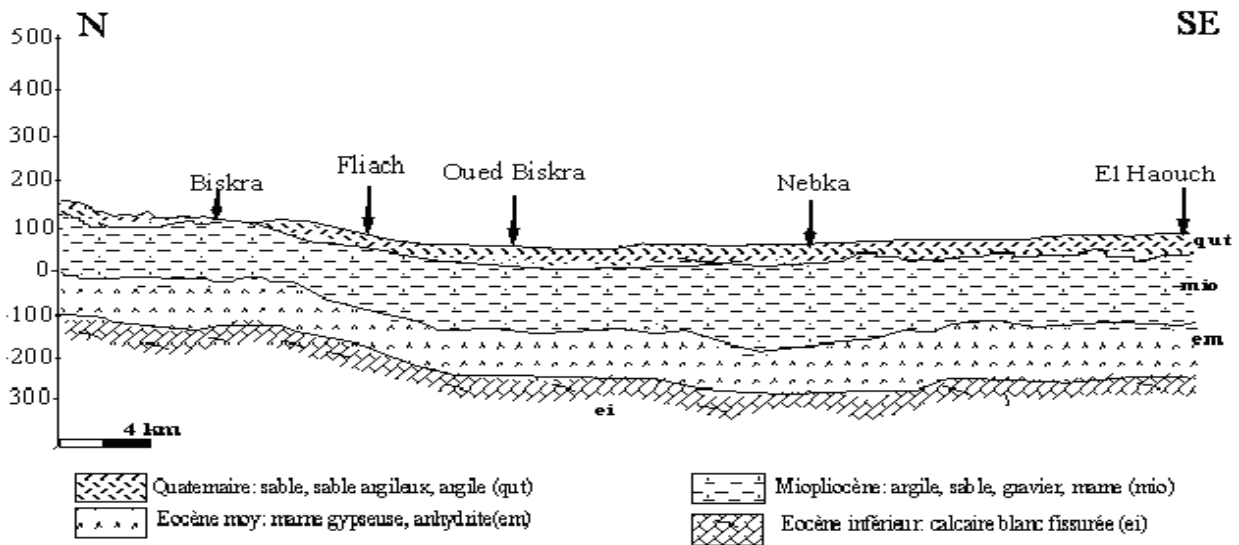


Fig.48 : Coupe hydrogéologique schématique de la nappe des sables de Biskra (I.N.R.H, 1981).

Le Mio-pliocène affleure au Nord Est de la plaine de Biskra, au Nord de l'Oasis de Mkhedma où elle est constituée par des sables rouges à poudings. Cette même formation se retrouve au Sud de Oued Djeddi (coupe 2-2 annexe 03) et au Sud Ouest du Doucen vers Ouled Djellal (coupe 1-1 annexe 03).

Notons qu'à proximité près des bordures des monts de Ziban (coupe 2-2 et 4-4 annexe 03) les argiles sableuses sont en contact avec les calcaires de l'éocène inférieure. Ce qui semble indiquer des échanges entre les aquifères de sables et de calcaires fissurés, particulièrement lorsque l'épaisseur des argiles est faible (coupe 2-2 et 3-3 annexe 03).

A l'Est de la wilaya de Biskra, cette nappe se subdivise en deux aquifères séparés par une épaisse couche d'argile et d'argile sableuse, l'un profond désigné sous le nom du Pontien et l'autre moyennement profond qui est la nappe du Mio-pliocène connue dans cette région.

Notons que l'épaisseur de l'aquifère des sables varie entre 80m et 140m et sa profondeur oscille entre 100 à 300 m.

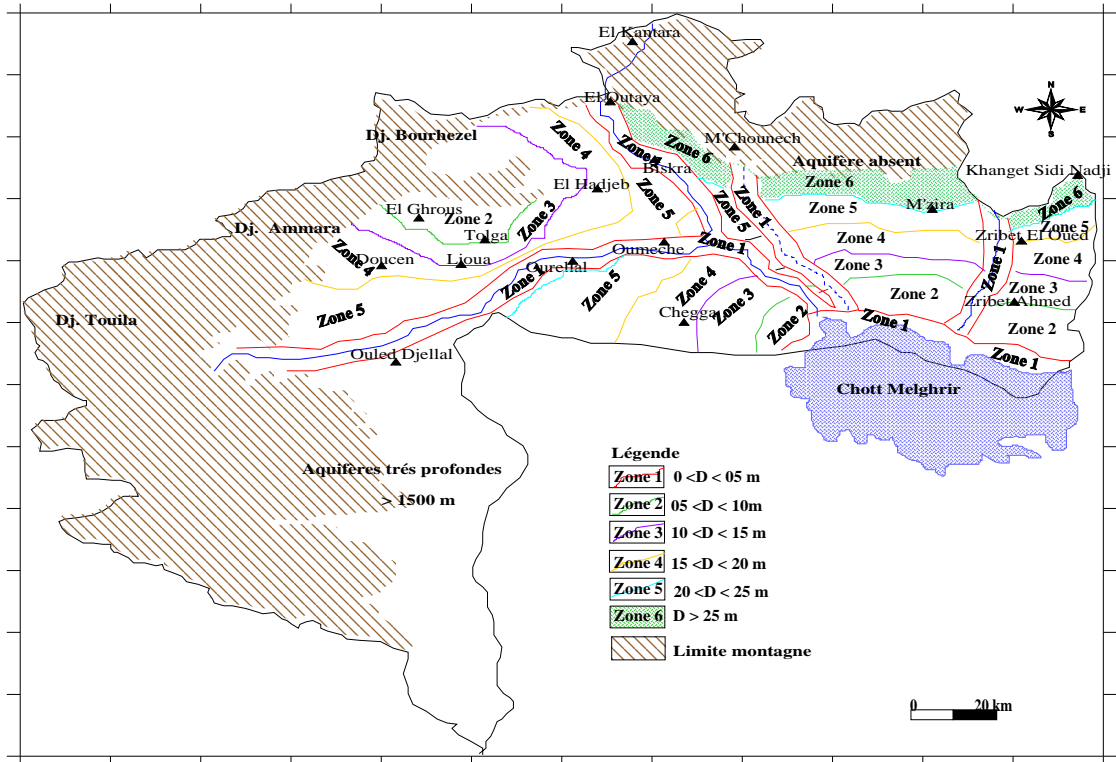


Fig.49 : Carte de profondeur de la nappe des sables de Biskra.

2-2-1-2-Alimentation:

L'observation de la carte piézométrique, réalisée par Messoudi et Al,1995 (fig.50), montre une alimentation de la nappe à partir des bordures des monts de l'Atlas Saharien.

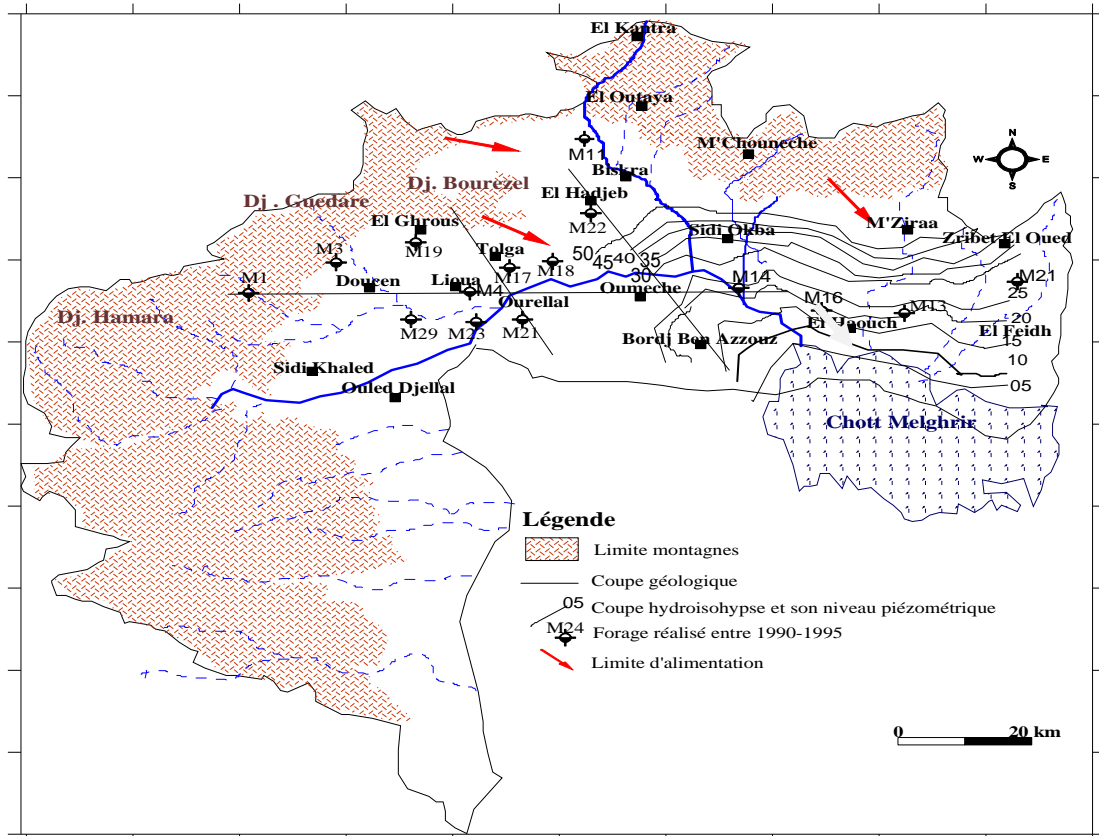


Fig. 50: Carte piézométrique de la nappe des sables (Messoudi et Al, 1995 (modifiée)).

2-2-1-3-Exutoires:

Ils sont constitués par les sources et par de vastes zones d'évaporation, le chott Melghrir représente le principal exutoire naturel de la nappe. Par contre, les exutoires artificiels sont constitués par un très grand nombre des sources artésiennes surtout au Sud du piémont Aurèsien tel que la source de Chetma.

2-2-1-4-Paramètre hydrodynamique de la nappe:

Les essais par pompage n'étant pas nombreux, ce qui ne permet d'avoir un grand nombre de valeur de perméabilité et de Transmissivité (tableau 45).

Tableau 45 : quelques valeurs de perméabilité déterminées par essais de pompage de la nappe des Sables 1993-1994 (ANRH) d'Ouargla.

Aquifères	Lieu de l'essai de pompage	Numéro de sondage	Conductivité hydraulique K (m/s)
Nappe des sables du Miopliocène	M'Ziraa	M12	$1,9.10^{-4}$
	El Feidh	M15	$8,5.10^{-5}$
	El Haouch	M16	$6,01.10^{-5}$
	Ain Naga	M13	$1,1.10^{-5}$
	Sidi Okba	M14	$4,25.10^{-3}$
	El Outaya	M11	1.10^{-5}

Les valeurs de la perméabilité déterminées par les essais montrent que ce paramètre reste important, cependant le nombre de valeur réduit donne un aperçu très exhaustif sur la perméabilité. Pour lever cette ambiguïté, nous allons utiliser le graphe de "Freez and Cherry" annexe 05.

2-2-1-4-1-Aperçu sur la méthode de Freez and Cherry (1979) :

a-Principe:

Une estimation de la conductivité hydraulique à l'échelle régionale peut être obtenue par la méthode graphique en établissant un réseau d'écoulement (flow-net) selon la piézométrie observée sur le terrain. Cette méthode consiste à faire le traçage des lignes de courant soit le chemin suivi par des particules d'eau en direction du gradient hydraulique, et des lignes équipotentielles, c'est à dire les contours de la surface piézométrique (Freez et Cherry, 1979).

b- Méthodologie :

Le flux souterrain, Q (m²/s), est calculé par l'équation suivante (Freez et Cherry, 1979)

$$Q = \frac{K m \Delta h}{n}$$

Avec :

K= La conductivité hydraulique (m/s),

m = Le nombre de chenaux d'écoulement établis entre deux lignes de courant,

n= Le nombre de rectangles dans un chenal d'écoulement.

Δh (m)= Le gradient hydraulique le long des lignes de courant.

c- Application à la région de Biskra:

-Cas de la nappe des sables :

Les résultats obtenus à partir de cette méthode, ont permis l'élaboration de la carte couplant la granulométrie et la conductivité hydraulique (fig.51). L'observation de cette carte montre, des valeurs de la conductivité hydraulique importantes aux abords des montagnes de l'Atlas où le milieu aquifère est constitué de galets et de graviers. Vers le Sud Est, la perméabilité diminue en raison du changement de faciès, celui-ci devient à dominance argileuse (Ain Naga, El Feidh,...) et atteint la valeur de 10^{-5} m/s, alors qu'à l'Ouest de la plaine de Biskra, la perméabilité atteint 10^{-6} m/s. Notons que dans cette zone l'aquifère du Mio-Pliocène n'est pas beaucoup exploité, en raison de l'inter connexion des nappes présente dans la région, c'est-à-dire celle du Quaternaire et celle des sables du Mio-Pliocène.

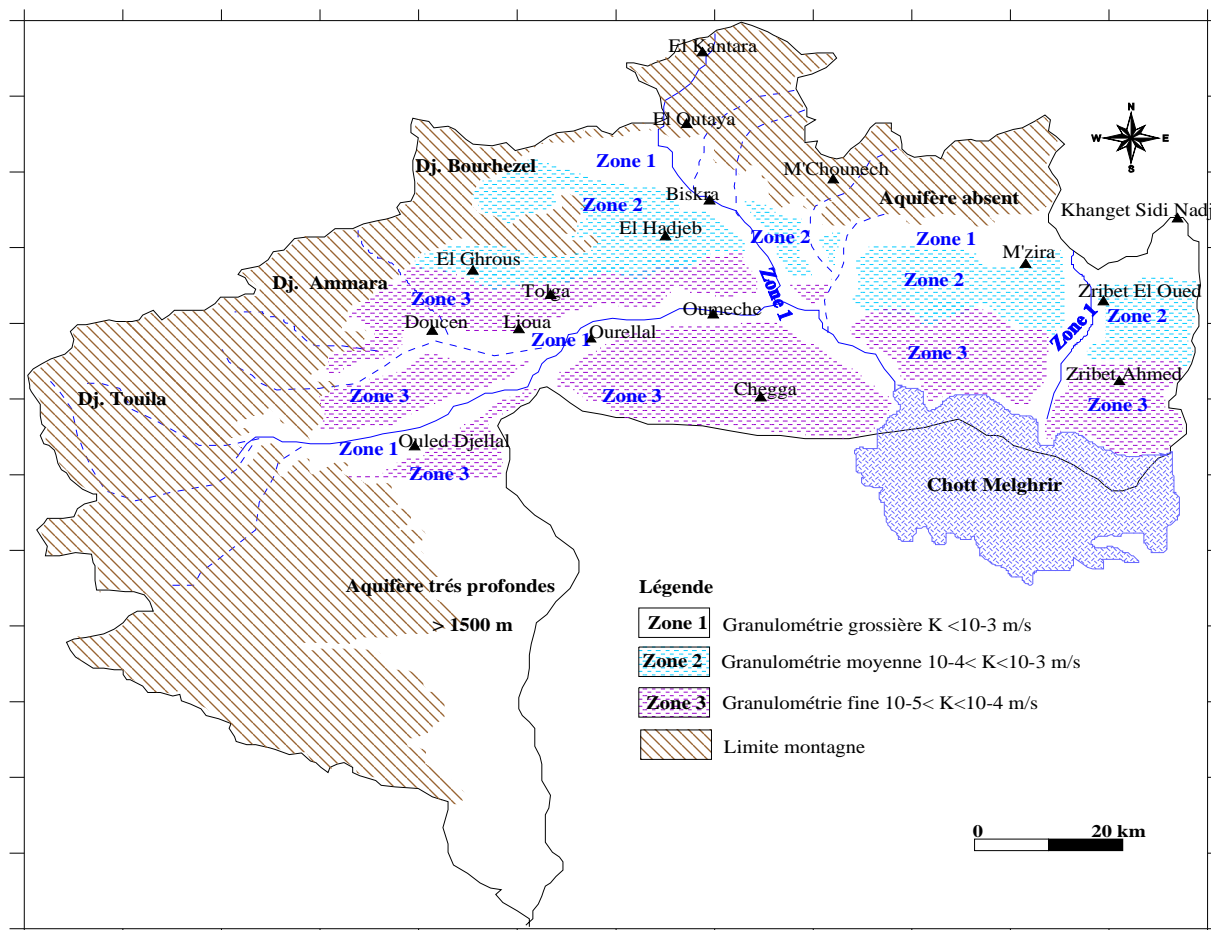


Fig.51: Carte granulométrie couplé à la conductivité hydraulique de la nappe des sables

2-2-1-4-2- Transmissivité et porosité:

Le système hydraulique de la nappe des sables est très hétérogène; il est constitué le plus souvent de couches aquifères de diverses perméabilités et d'épaisseurs. Les forages ne captent généralement que la partie la plus productive souvent la plus épaisse et la meilleure du point de vue qualité (la moins salée). Ceci explique les variations latérales de la Transmissivité, Ainsi au niveau de cette nappe la Transmissivité T, varie entre $6 \text{ à } 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, le coefficient d'emmagasinement varie de 0.5 à 0.1 tandis que la porosité moyenne est estimée à 30%.

2-2-1-5- Piézométrie de la nappe des sables :

2-2-1-5-1: Carte piézométrique de 1997:

La carte piézométrique établit par l'ANRH, 1997 (fig.52), indique deux directions des écoulements souterrains.

Le premier se fait dans le sens Nord Ouest- Sud Est et le second se faisant dans la direction Ouest - Est.

Cependant l'Oued Biskra et l'Oued Djeddi constituent une ligne de partage des eaux, facilitant ainsi l'alimentation de la nappe par convergence des eaux.

Nous notons également un élargissement des lignes piézométriques dans la partie Sud, par contre au Nord Ouest les isopièses sont serrées, ce qui indique un écoulement rapide dans cette partie de la carte. La cote piézométrique la plus haute est de 150mètres au sud Ouest et elle atteint moins 0 mètres en aval (chott Melghrir).

La pente des iso pièzes est de direction Nord et des ombilics creusés dans la zone de chott, ce qui explique que ce chott (Melghrir) joue le rôle d'exutoire pour toutes les eaux captives de la région.

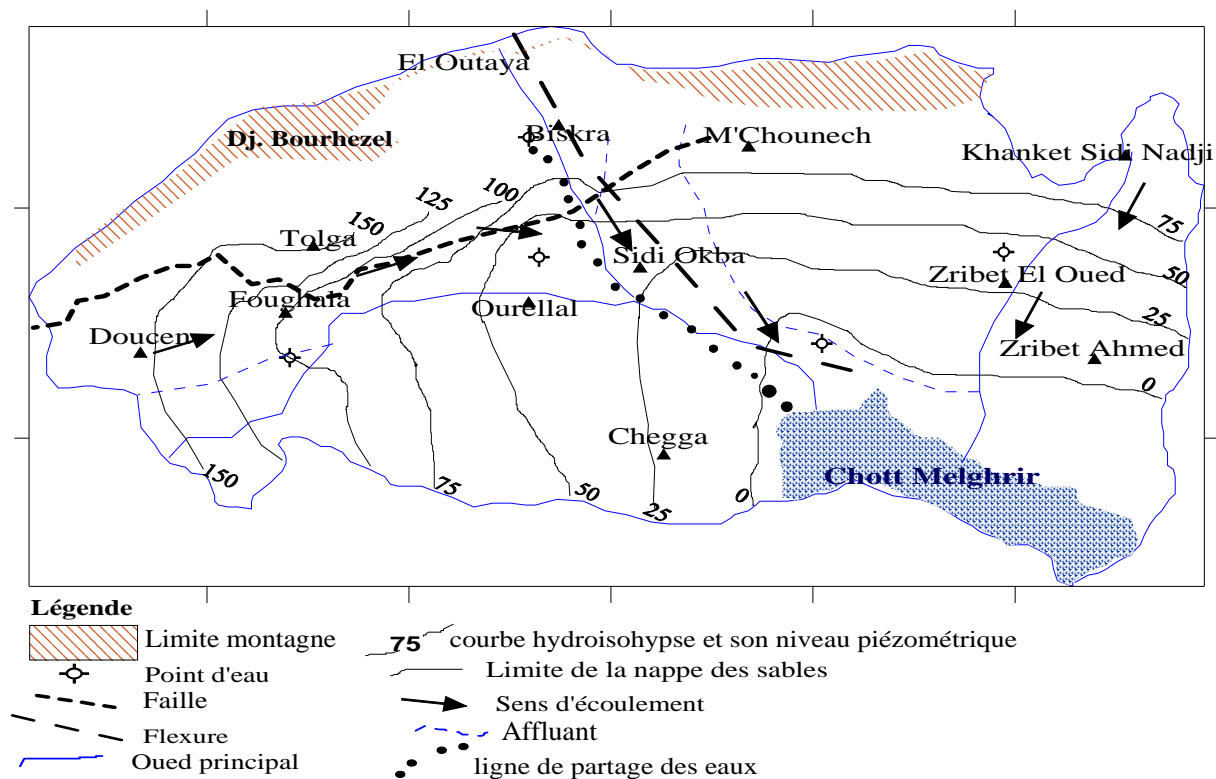


Fig. 52: Carte piézométrique de la nappe des sable de Biskra (ANRH, 1997).

2-2-1-5-2-Carte piézométrique 2008:

La carte piézométrique 2008 (Fig.53) montre une surface piézométrique à courbes régulières avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.2% entre la partie Sud-ouest (présence de sables très perméable) et 0.15% à oued Biskra.

Au niveau de la zone Zeribet El Oued apparaît un cône de dépression, mettant en évidence une surexploitation de la nappe (justifié par le nombre important des forages implanté dans cette région (ANRH de Biskra).

Les dépressions affectant les surfaces des isopièses sont, par contre, en rapport avec une densité de forage et elles constituent de ce fait des phénomènes locaux.

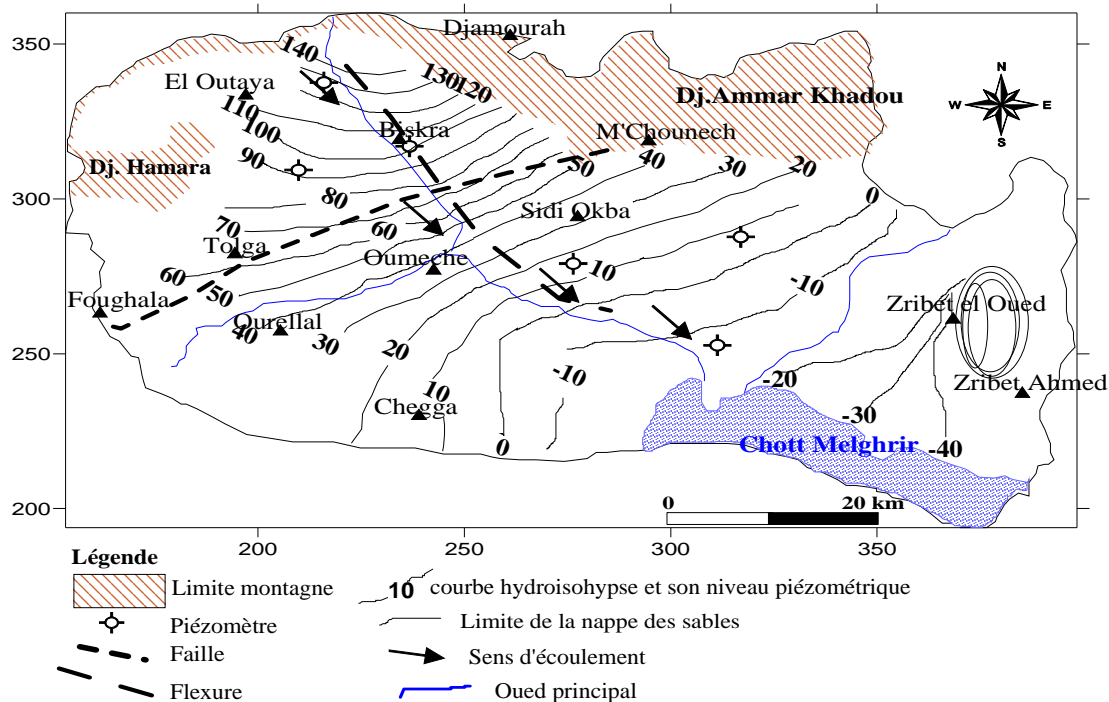


Fig.53: Carte piézométrique de la nappe des sables de Biskra (2008).

2-2-1-5-3-Battement piézométrique de la nappe des Sables:

La carte de battements (fig. 54), montre que les fortes variations sont enregistrées au centre et à l'Ouest de la plaine de Biskra et à Zribet El Oued (-25 à -40m). Ceci s'explique par le nombre important de forages recensés dans ces zones. Pour les autres zones les battements de la nappe oscille entre 0 et -5 m.

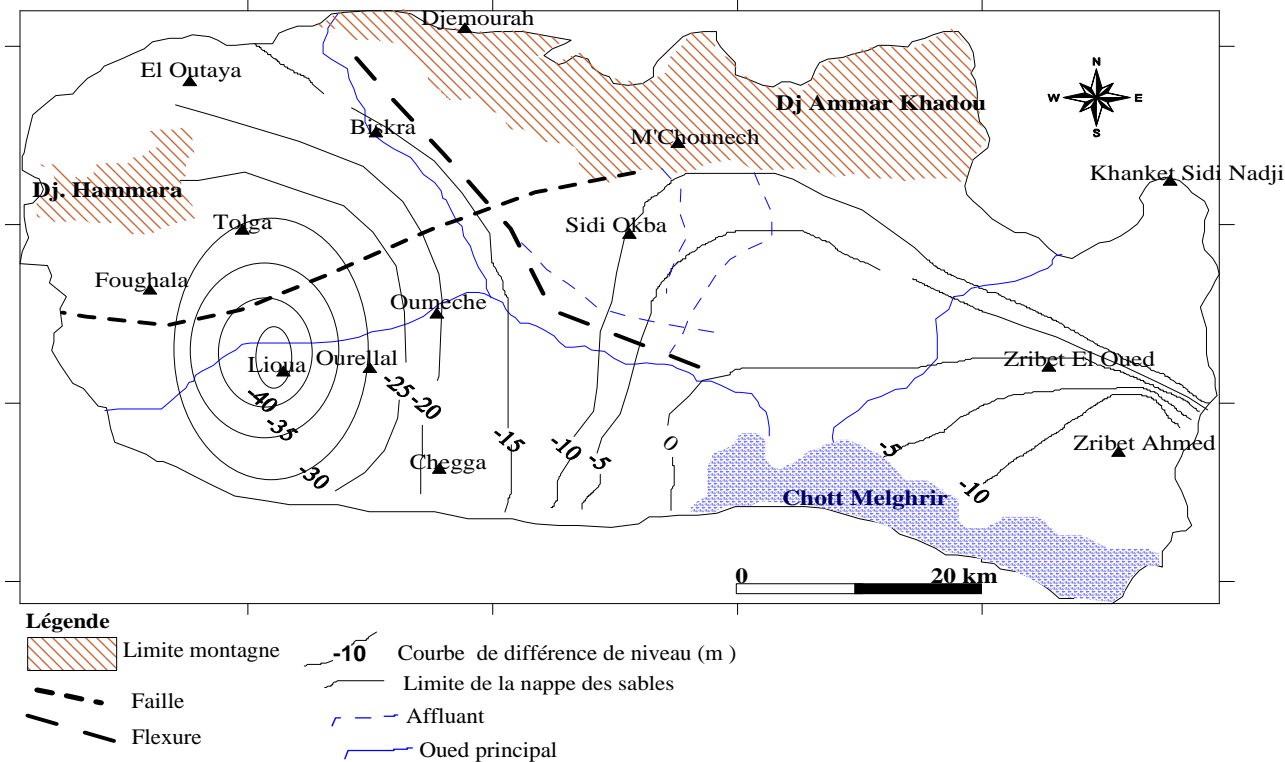


Fig.54: Carte de battement de la nappe des sables.

2-2-1-6-Exploitation:

Le recensement réalisé par l'ANRH (2008), indique que 5 906 forages sont implantés sur le territoire de la wilaya. Parmi les ouvrages recensés 3 906 sont en exploitation. L'irrigation avec 3 850 dont une

source prend la grande partie, en seconde position l'AEP, avec 51 ouvrages dont une source et en dernière position l'industrie, utilise cinq (05), forages. Le reste des ouvrages, soit 1099 points d'eau sont à l'arrêt, 15 forages servent de piézomètres et 886 points d'eau entre bouchés et abandonnés.

2-2-2-Nappe des calcaires d'éocène inférieur :

2-2-2-1-Structure et géométrie:

Cette nappe est localisée dans sa globalité dans la région de Biskra. La partie Ouest est plus exploitée que la partie l'Est en raison de sa faible profondeur. Cette dernière atteint un maximum de 200m à l'Ouest tandis qu'elle dépasse 400m à l'Est.

Le toit de la nappe est constitué par des formations argilo sableuses du Miopliocène au Nord et des marnes à gypses de l'éocène moyen au Sud (fig.55), par contre son réservoir est constitué essentiellement de calcaire blanc fissuré datant de l'Eocène inférieur et des calcaires marneux dolomitiques appartenant au Sénonien Supérieur.

Le mur de la nappe est constitué par des niveaux carbonatés correspondant au sénonien inférieur. L'étude géophysique réalisée par l'AN RH (Ouargla), en 1990, a montré que la profondeur de la nappe des calcaires, varie entre 10 à plus de 400m (fig.55).

Dans le détail, la profondeur oscille entre 10 à 60 m au niveau de la zone de Tolga et sa périphérie, confirmé par les forages, M17, M18 et M22 (annexe 04). Vers Oumeche et Millili, la profondeur augmente atteignant 150 m (Cf. coupes 3-3 et 5-5 en annexe). Aux environ de Doucen, cette même profondeur dépasse 200m (M27) annexe. La profondeur de la nappe des calcaires dépasse 400 mètres au niveau de la plaine de Biskra confirmée par le forage M12 annexe 04).

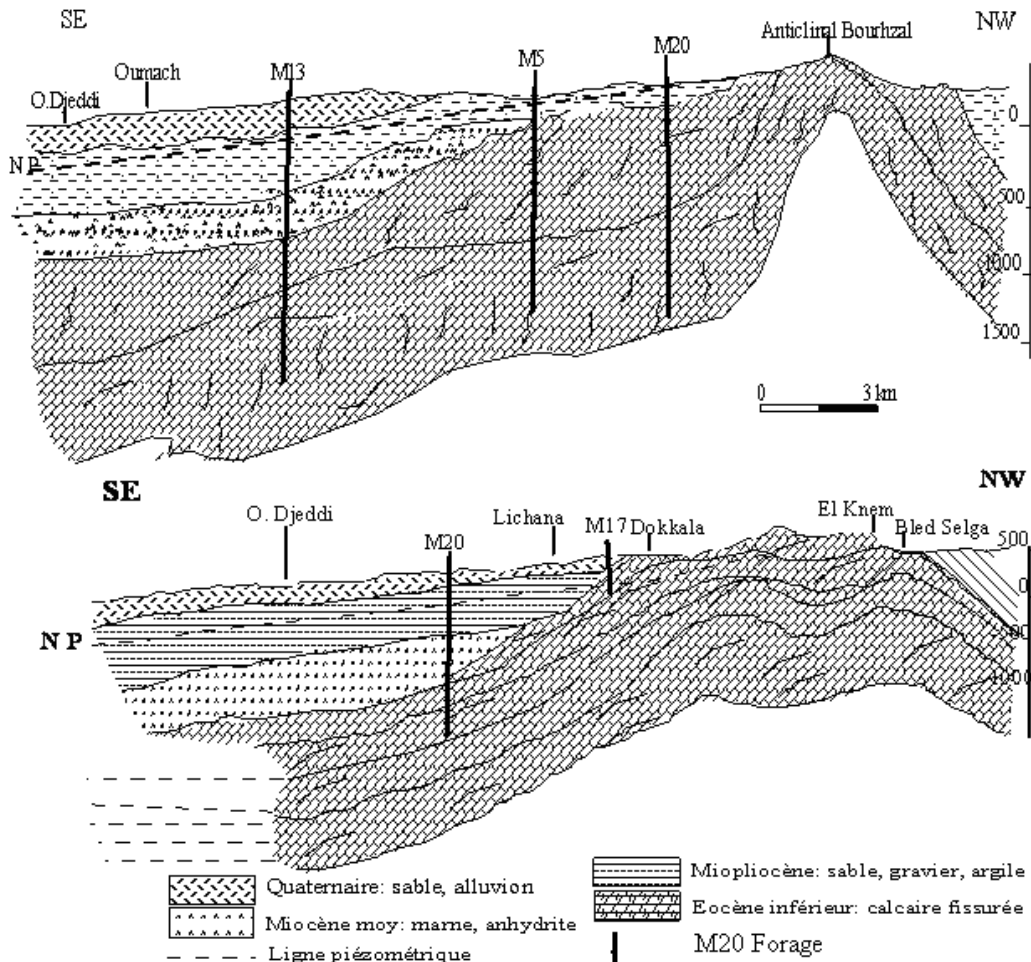


Fig.55: Coupe hydrogéologique dans la nappe des calcaire (DHW de Biskra, 1990).

2-2-2-2-Variations piézométriques de la nappe des calcaires:

La carte piézométrique réalisée par Messaoudi et al 1995, (fig.56), montre au niveau des parties Nord et Sud, des isopièses perpendiculaire aux limites de la nappe, mettant en évidence une limite étanche, par contre au niveau des zones NO et SE, l'allure des courbes met en évidence des échanges entre les limites et la nappe entrainant ainsi une alimentation de la nappe par les bordures.

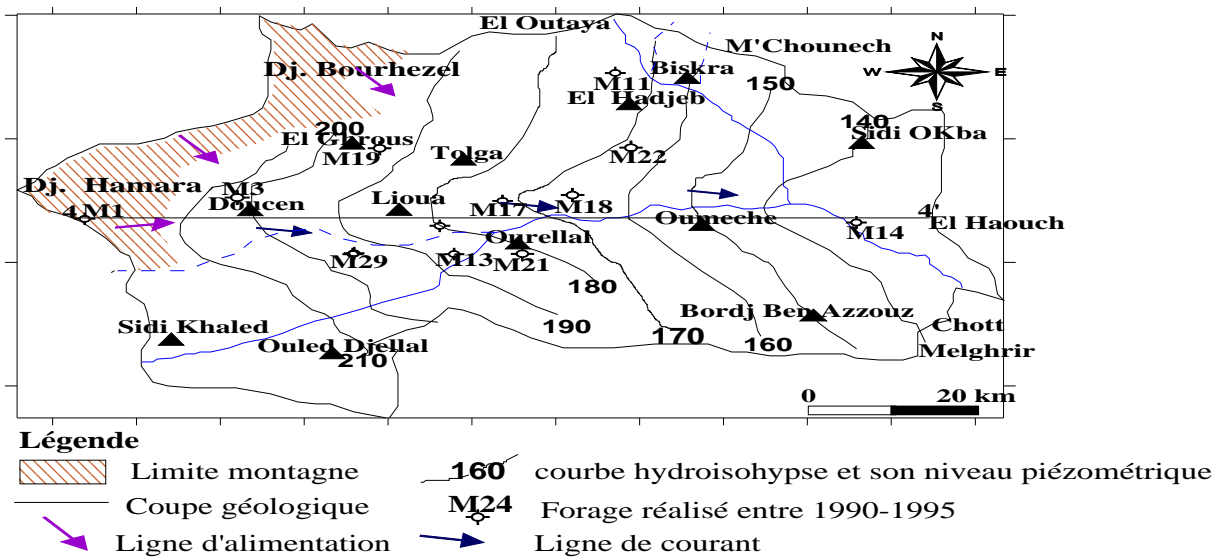


Fig.56: Carte piézométrique de la nappe des calcaires (d'après Messoudi et Al, 1995 (modifiée)).

2-2-2-2-1-Piézométrie 1980:

L'observation de la carte (fig. 57), montre que l'écoulement est caractérisé par deux sens d'écoulements :

- Le premier dirigé du Nord vers le Sud,
- Le second se fait dans la direction Sud –Ouest Nord- Est.

Nous remarquons que l'Oued Djeddi, joue le rôle d'un axe de drainage.

La partie amont de la carte se caractérise par un rétrécissement, ce qui entraîne un accroissement du gradient hydraulique il passe de 0.2 à 0.6%. Ceci se traduit par une baisse de la perméabilité et une accélération des écoulements.

A l'Ouest de Tolga, les filets d'écoulement sont, pratiquement parallèles aux massifs de bordures orientés Ouest- Est (Dj. Hamara). Notons que la nappe est alimentée par ces massifs. Par ailleurs le sens d'écoulement semble être imposé par les massifs situés dans la zone Nord- Ouest et Sud-Est.

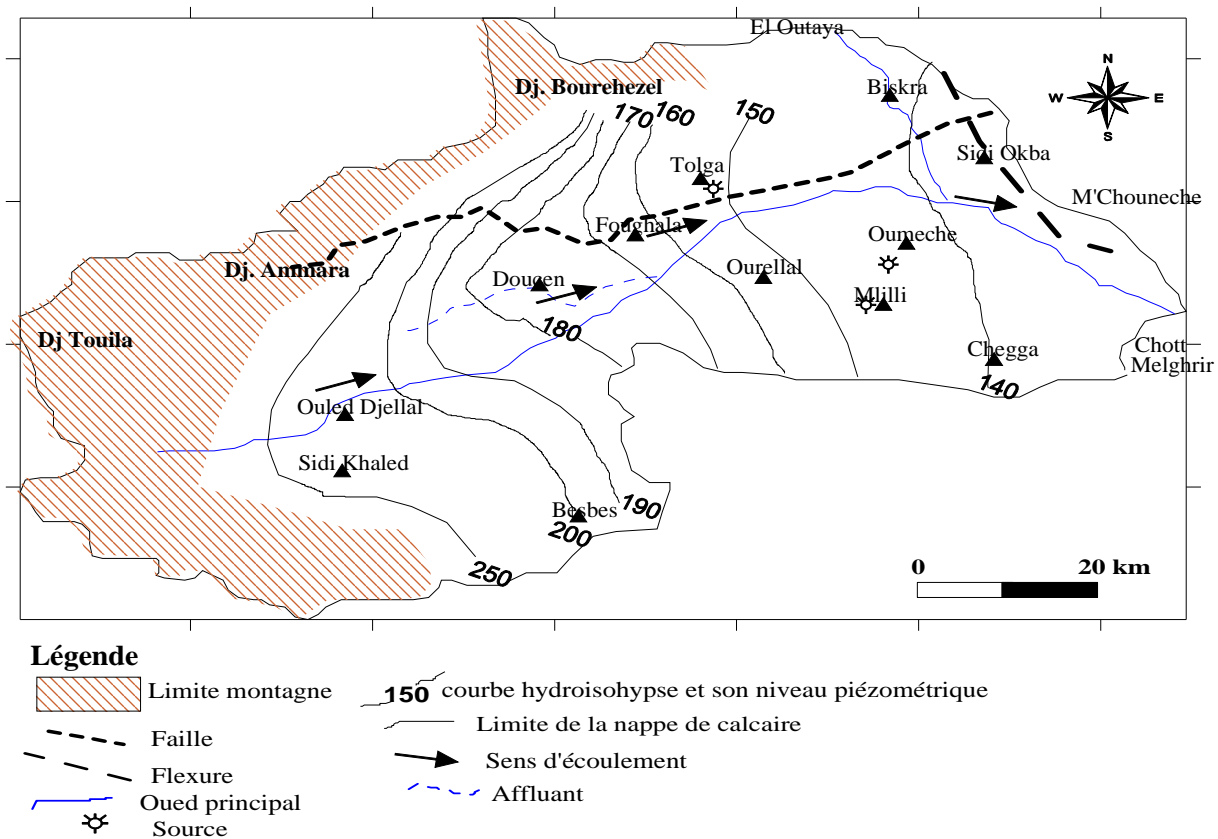


Fig.57: Carte piézométrique de la nappe des calcaires de Biskra (ANRH, 1980).

2-2-2-2-2-Piézométrie 2008:

L'observation de la carte piézométrique (fig.58), montre que les écoulements convergent vers la grande dépression qui s'étend de Foughala à Bouchagroun, caractérisant une exploitation intense, générée par un nombre important de puits en exploitation dans cette zone. L'intense exploitation dans la zone de Lioua, Foughala, Bouchagroun et Tolga a provoqué l'infléchissement des courbes isopiézes, mettant en évidence une exploitation intense de la nappe.

La disparition de l'artésianisme dans cette zone confirme l'état de surexploitation des nappes dans cette région (SASS, 2003). Un autre signe de surexploitation est la disparition des importantes sources de M'Lili et d'Oumache (fig. 57 et 58).

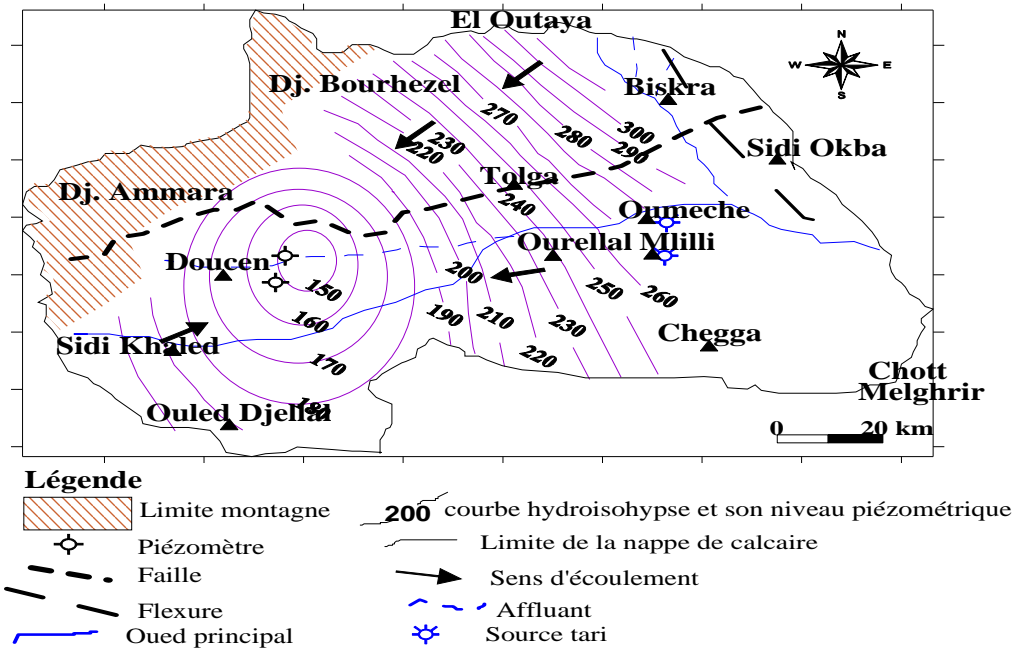


Fig.58 : Carte piézométrique de la nappe des calcaires de Biskra (2008).

2-2-2-3-Paramètre hydrodynamique:

2-2-2-3-1-Perméabilité de la nappe des calcaires de l'écène inférieur:

Les coupes réalisées (Cf. Annexe 03), montrent la présence d'un réseau de diaclases et de fissures plus au moins important.

Les valeurs de la perméabilité obtenues (évaluée par abaque de Freez and Cherry et vérifiée par les quelques résultats d'essai de pompage) tableau 46, montrent une perméabilité importante de l'ordre 10^{-3} à 10^{-4} m/s, dans la région de Tolga (fig.59). En allant vers Doucen et Ouled Djellal, elles baissent allant jusqu'à atteindre 10^{-6} m/s.

Tableau 46 : Perméabilité de la nappe des calcaires déterminés à partir des essais par pompage.

(ANRH) d'Ouargla.

Aquifères	Région considérée	Numéro de sondage	Perméabilité (m.s ⁻¹)
Calcaires de l'écène inférieur	Tolga	M17	$4,55.10^{-3}$
	Foughala	M19	$3,18.10^{-3}$
	Bouchagroun	M22	$1,39.10^{-4}$
	Al amri	M20	$1,34.10^{-4}$
	El Hadjeb	M28	$5,2.10^{-4}$
	Lichana	M24	$1,92.10^{-4}$
	Ourellal	M21	$7,49.10^{-5}$
	Doucen	M27	$1,08.10^{-6}$
	Bourdj Ben Azzouz	M18	$2,3.10^{-4}$
	Lioua	M23	$5,22.10^{-5}$
	El Ghrous	M25	$1,46.10^{-4}$

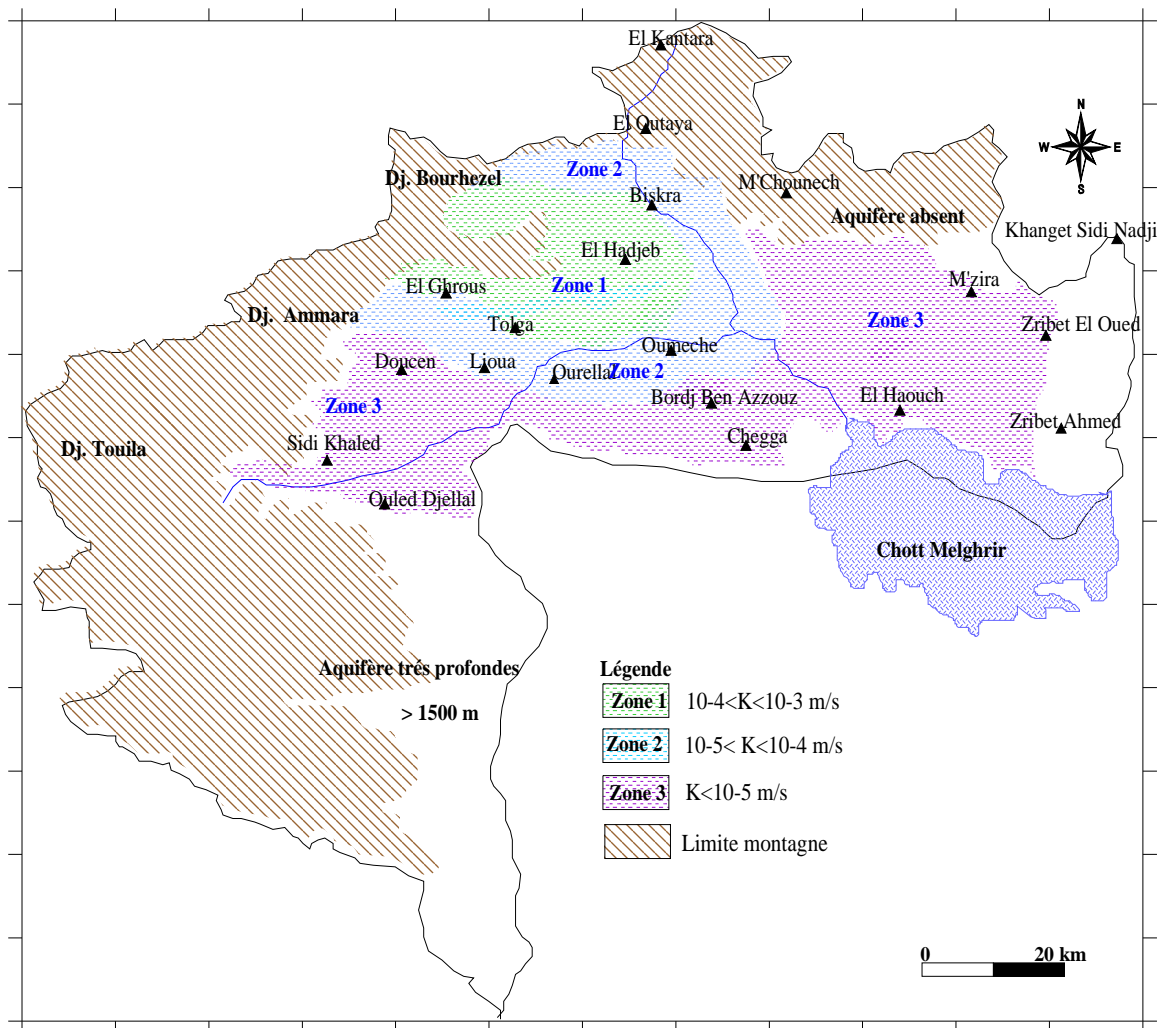


Fig.59: Carte de conductivité hydraulique de la nappe de calcaire (Eocène inférieur).

2-2-2-3-2-Transmissivité:

Les essais de pompage effectués dans la région de Tolga indiquent des Transmissivité variant entre $20 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$, par endroit elle est de $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

2-2-2-4-Piézométrie de la nappe des calcaires :

Deux cartes piézométriques ont été réalisées. La première se rapporte à l'année 1979 et la seconde caractérise l'année 2008.

2-2-2-5-Exploitation de la nappe:

La nappe des Ziban est surexploitée (nappe de Tolga). On observe depuis 40 ans, non seulement une diminution du débit des sources mais encore une diminution du débit global.

En corollaire la nappe a subit une baisse du niveau piézométrique, ce qui a entraîné le tarissement des sources situées en amont du réservoir.

Actuellement, La nappe des calcaires de l'éocène inférieur à un usage agricole, elle est captée à partir de 2260 points d'eau avec 1745 en services répartis entre (1703 IRR, 39 AEP et 03 IND). Pour ce qui est du reste, on compte : 371 à l'arrêt, 137 abandonnés, 01 bouché et 06 piézomètres.

3-Conclusion:

Dans ce chapitre, en fonction des données disponibles, nous avons tenté de caractériser les systèmes aquifères en présence, nous avons étudié les aspects géologique, hydrogéologique, et hydrodynamique.

- La nappe phréatique du quaternaire est constituée de galets, de graviers et de sables. Sa couverture est composée des mêmes matériaux. Cette nappe est localisée à des profondeurs qui varient entre 4 à 10m alors que la conductivité est importante et peut atteindre 10-2m/s.

- La nappe des sables du Miopliocène est constituée de galets, graviers et sable dans une matrice argileuse. L'importance de chaque élément varie selon les endroits. Au Nord, la granulométrie est plus grossière (galet, gravier) et la présence d'argile est sans importance. Au centre de la plaine de Biskra, la granulométrie est moyenne, alors qu'au Sud les dépôts fins sont dominants (sables et argiles sableuses). Cette variation conditionne la conductivité hydraulique qui est importante au Nord où elle atteint la valeur de 10-3m/s, au centre de l'Est de la plaine de Biskra elle oscille entre 10-3 et 10-4 m/s alors qu'au Sud de la plaine et aux environs de Tolga, Lioua et Ourellal, la conductivité hydraulique devient faible. Elle est toujours inférieure à 10-6 m/s.

Ces formations (quaternaire et Miopliocène) présentent un grano-classement verticale et latéral où respectivement les éléments grossiers dominant à la base et à l'approche des reliefs et passent progressivement à des éléments plus fins au sommet et au sud de la plaine.

La nappe des calcaires de l'éocène inférieur est constituée de calcaires fissurés. Cette nappe est couverte par une couche d'argiles sableuses du Miopliocène aux bordures des monts des Ziban dont l'épaisseur varie entre 15à 60m et par une couche de marnes à gypse et à anhydrite dans la totalité de la plaine dont l'épaisseur dépasse 150m. La conductivité hydraulique est importante aux oasis de Tolga (Foughala jusqu'à El Hadjeb) où elle atteint 10⁻³m/s. Dans la zone Doucen Ourellale-Oumeche, la conductivité hydraulique est moins importante (probablement à cause du faible taux de fissuration), elle est inférieur à 10⁻⁶ m/s. à l'Est de la plaine de Biskra, la nappe des calcaire est très profonde (>400m) et moins productive.

Les différentes coupes géologiques et sondages réalisés, les relevés piézométriques montrent qu'il existe une communication entre l'aquifère du quaternaire et celui du Miopliocène. Cette conclusion est confirmée par les lignes piézométriques des deux aquifères où on remarque la superposition des lignes piézométriques. Pour l'aquifère captif (nappe de calcaire), toutes les données (géologiques, sondages) plaident pour une absence de communication entre cet aquifère et les aquifères superficiels (phréatique et des sables). Sauf dans les zones où le calcaire fissuré de l'éocène inférieur est recouvert des alluvions du quaternaire (coupe2-2) spécialement là où le couvert argileux est faible, ce qui fait penser à une possibilité de communication entre l'aquifère phréatique du quaternaire et celui de calcaire de l'éocène inférieur.

La comparaison des cartes piézométriques de 1997, 2000 et de 2008 montre l'apparition de dépressions piézométriques liées à la forte exploitation de la nappe des sables et celle des calcaires.

Chapitre -IV-

Potentialités hydriques

Dans les zones arides, la ressource demeure rare, ce qui rend difficile sa quantification. Le sud algérien recèle des potentialités hydriques importantes contenues dans plusieurs niveaux aquifères. Ce qui complique la tâche du chercheur quant à sa quantification. Ce chapitre constitue une approche de la quantification de cette ressource.

1-Introduction:

Dans le Maghreb la maîtrise des ressources hydriques est étroitement liée à la politique de l'eau préconisée par chaque pays. Ainsi la mobilisation de la ressource superficielle n'est pas perçue de la même manière dans les trois pays du Maghreb. Le Maroc, mobilise 16500 hm³, en contre partie l'Algérie malgré sa superficie, ne mobilise que 8.500 hm³ et de manière hétérogène, cette ressource se localise aussi bien au Nord, au Sud à l'Est et à l'Ouest. La Tunisie mobilise 3422 hm³, cependant 80% du potentiel mobilisé se situe au Nord, alors que les besoins sont plus importants au Centre.

Tableau 47: Estimation du potentiel mobilisable et régularisable du Maghreb en Hm³ (IWMI, 2000)

Pays	Potentiel			Mobilisable			Régularisable		
	Surface	Souterrain	Total	Surface	Souterrain	Total	Surface	Souterrain	Total
Maroc	25 000	7 500	30000	16 000	5 000	21000	12000	4 500	16500
Algérie	14 600	4 800	19.4	6 000	3 500	9 500	5 000	3 500	8500
Tunisie	2 630	1 725	4 355	2 102	1 725	3 827	1 697	1 725	3422

2-Les ressources hydrauliques en Algérie:

Les potentialités hydriques en Algérie sont estimées à 19.4 milliards de m³/an dont 14.6 milliards de m³/an, correspondent aux eaux superficielles et près de 4.8 milliards de m³/an, constituent les eaux souterraines (1.8 milliards de m³, constituent la ressource souterraine localisée au Nord, par contre 3 au Sud du pays).

Notons que seulement 80 %, de la ressource est renouvelable, avec 70 % pour les eaux de surfaces et 10 % pour les eaux souterraines. Ces eaux renouvelables se situent au niveau de la frange nord du pays. Les potentialités en eau superficielles sont inégalement réparties à travers le territoire, 80% sont localisées dans la zone littorale où le potentiel mobilisable est au maximum de l'ordre de 6 milliards de m³/an.

Le désert représente 90 % du territoire algérien, dans cette partie les précipitations sont quasi-nulles. De ce fait, les ressources en eau superficielles sont très faibles, elles se localisent au niveau du flanc septentrional de l'Atlas, au contraire les ressources souterraines y sont abondantes cependant très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional). A ces potentialités naturelles, s'ajoutent les ressources non conventionnelles, qui apportent près de 600 millions de m³ d'eaux usées récupérables après épuration et dessalement de l'eau de mer.

Le tableau suivant récapitule la répartition des ressources hydriques en Algérie.

Tableau 48: Potentiel de ressources en eau en milliard de m³ (ANRH, 2000).

Région	Eau de surface	Nappes souterraines	Total
Région Nord	12.10	1.8	13.90
Sahara	0.5	5	5.5
Total	12.6	6.8	19.4

Les écoulements superficiels sont essentiellement concentrés dans la frange septentrionale du pays, qui s'étend sur environ 300 000 km², soit 13 % de la superficie du pays. Les régimes hydrographiques dans cette zone, est conditionné par la nature du climat, ce dernier se caractérise par une extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des apports en eau, la violence et la rapidité des crues et l'importance des transports solides.

3-La ressource hydrique à Biskra :

Les potentialités hydriques de la wilaya sont estimées à 2113,86 hm³/an, 96.62% de ces potentialités (soit 2042,43 hm³), constituent les réserves en eaux souterraines (dont 43% seulement sont mobilisées), 3,38% représentent les eaux de surface (soit 71.43 hm³) mobilisées par les barrages fontaine des gazelles et Foum el Gherza.

En matière de satisfaction des besoins de la population en eau potable (taux de satisfaction de l'ordre de 93%), le taux moyen de raccordement au réseau de l'A.E.P est de 84%. La dotation journalière moyenne atteint 262 l/j/habitant en zone urbain et de 226 l/j/habitant en zone rurale. Ce taux reste supérieur à la moyenne nationale.

4-Les demandes en eau au niveau de la wilaya :

Le nombre de forages étatiques recensés atteint 506 ouvrages, ce qui correspond à 159, 29 Km linéaires forés. Le débit extrait avoisine 393,71 Hm³. Comparativement au secteur étatique, le nombre de forage réalisé par le privé demeure important, il est de l'ordre de 4530 forages, soit un débit extrait de 476,19 Hm³/an. Ce total ne prend pas en compte les forages illicites. De ce fait les débits extraits sont approximatifs.

Le tableau 49, donne des indications sur les volumes d'eau et leur répartition selon leur utilisation (AEP, Industrie et agriculture).

Tableau 49: Utilisation des eaux souterraines pour chaque type d'activité:

Repartition de la ressource	Volume D'eau Mobilise		Volume exploité	
	V (Hm ³)	Pourcentage (%)	V (Hm ³)	Pourcentage (%)
Eau Potable	120,01	14	59.23	10.47
Eau d'irrigation	770,75	85	505.64	89.40
Eau D'industrie	3,94	01	0.74	0.13
Total	894,70	100	565.62	100

Le volume d'eaux souterraines dans la wilaya de Biskra, est estimé à 2113,86 hm³/an. Cette ressource

est exploitée au alentour de 68 %. La figure 60, montre la relation entre la ressource mobilisée et la ressource exploitée pour les besoins identifiées.

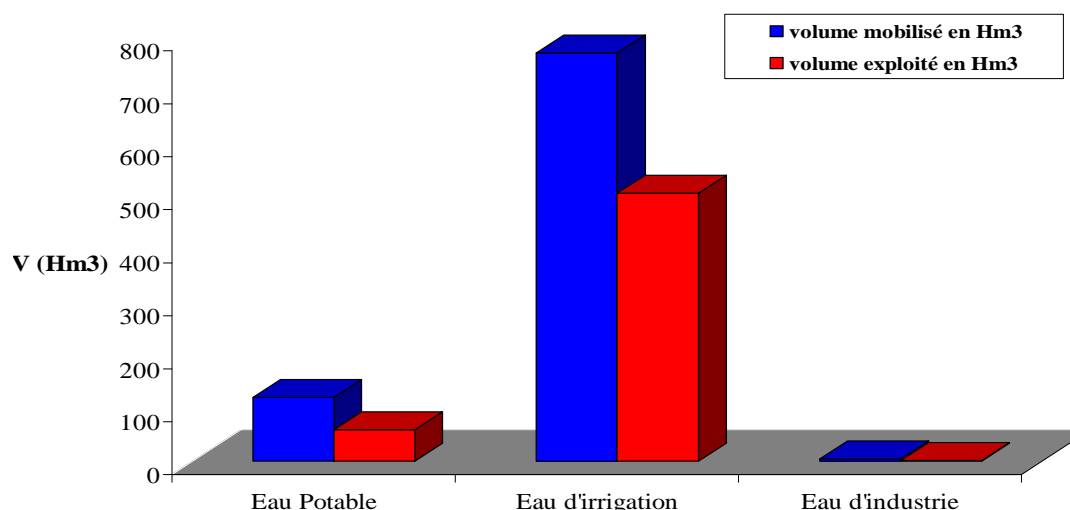


Fig.60: Volume d'eau mobilisé et exploité par chaque type d'activité

5-Etats de sollicitation des nappes :

L'ANRH de la région de Biskra a réalisé un inventaire des points d'eau en 2000 et en 2008, ce dernier a porté sur nombre des points d'eau et les débits extraits. Le domaine inventorié, couvre une superficie de près de 30 000 km², il s'étend de la flexure Sud atlasique au Nord, jusqu'à la bordure du Chott Melghir au Sud, en passant à l'Ouest par une ligne Doucen – Ouled Djellal et vers Zeribet El Oued à l'Est. Le tableau 50 et Fig. 61 récapitules les informations recueillies.

Tableau 50: Inventaire des forages à travers la wilaya de Biskra.

Région	Points d'eau recensés	Point d'eau exploitée	% d'exploitation
ZRIBET E-O	2162	1341	62.05
SIDI OKBA	2132	1465	68.71
O DJELAL	1819	1232	67.73
TOLGA	1015	758	74.68
OURELAL	1027	728	70.89
S KHALED	691	405	58.61
FOUGHALA	404	317	78.46
BISKRA	308	249	80.84
LOUTAYA	260	125	48.07
DJAMOURAH	12	07	58.33
EL KANTARA	28	06	21.42
MCHOUNECHE	51	26	32.10
TOTAL	9909	6659	67.20

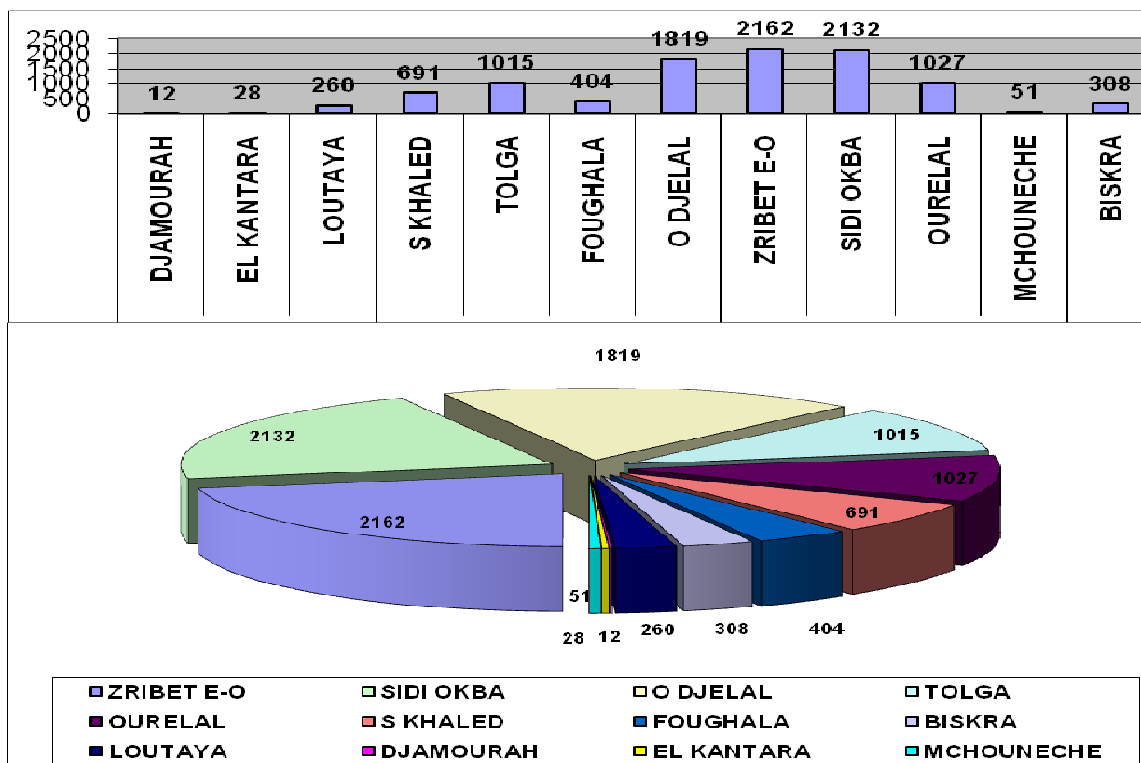


Fig.61: Répartition des forages inventoriés wilaya de Biskra 2008.

Le recensement réalisé montre que le nombre de forages implantés atteint 7000 ouvrages. L'eau exploitée est destinée à l'irrigation du palmier dattier et à la consommation humaine. Le volume extrait avoisine 21 hm³ annuellement.

Le tableau 51, montre la répartition de l'eau extraite.

Tableau 51: volume d'eau mobilisé par chaque type d'activité de la wilaya de Biskra.

	Nombre de forage	Forage en service				Volume mobilisé (Hm ³ /an)			
		AEP	IR	IND	Total	AEP	IR	IND	Total
Wilaya de Biskra	9909	170	6481	08	6659	59.27	505.61	0.75	565.63
Région de Biskra	308	40	208	01	249	12.42	55.62	0.47	68.52

-L'alimentation en eau potable, se fait à partir des 170 forages répertoriés, le volume extrait est de 59.27 hm³, soit 10.47 % du potentiel total annuel;

- 6481 forages, servent à l'irrigation, le volume extrait est de 505.61Hm³, soit 89.39% du potentiel total annuel;

-L'industrie est alimentée à partir de 8 forages, le volume annuel extrait est de l'ordre de 0.75Hm³, soit 0.13 % du potentiel total.

Le volume d'eau soutiré des nappes souterraines de la région de Biskra estimé par l'ANRH, en 2008 est donné par le tableau 52 et la figure 62.

Tableau 52 : Volume d'eau soutiré par chaque nappe de biskra.

Aquifère	Phréatique	Mio-Pliocène	Eocène inférieur	Sénonien	Pontien	Maestrichtien	Albo-Barrémien	Total

Volume (Hm ³ /an)								
Wilaya Biskra	65.77	264.706	161.532	15.95	6.19	12	39.39	565.618
Région Biskra	5	13.46	7.81	0.13	/	/	1.09	27.5

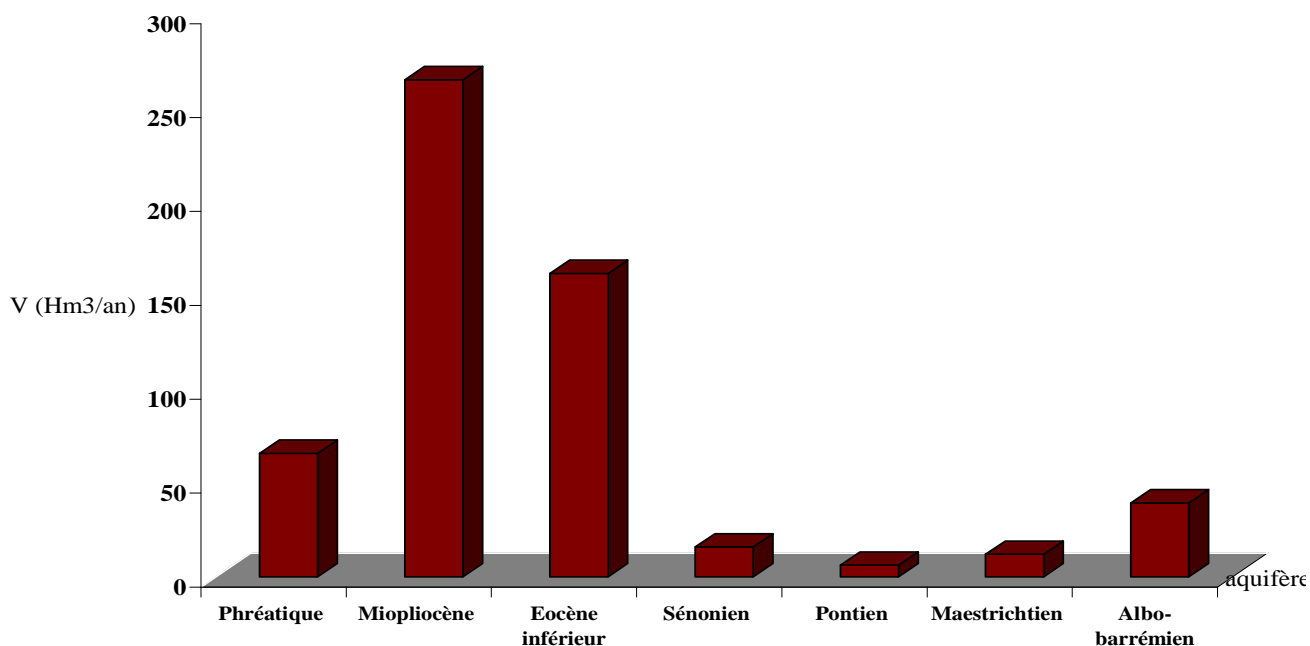


Fig.62: Volume d'eau soutiré par nappe, région de Biskra, 2008.

6-Bilan des ressources en eau :

La wilaya de Biskra comprend trois grands sous bassins, la vallée d'Oued Djeddi, la cuvette d'El Outaya et la plaine de Biskra. Le potentiel hydrique total de la wilaya avoisine 2113.86 Hm³/an dont 2042.43 Hm³/an, soit 96.6, des potentialités proviennent des forages et puits.

6-1-Potentiel des ressources en eau souterraines:

La zone d'étude contient trois nappes, celle du continental intercalaire, celle du complexe terminal et la nappe superficielle. Les nappes profondes, sont considérées comme fossile, elles contiennent des réserves très importantes mais difficilement quantifiable en raison de la complexité du milieu. Cependant les débits des sources et ceux des forages artésiens permettent le calcul des réserves régulatrices du système, par un jaugeage. Au niveau de la région de Biskra les ressources potentielles soutirées des nappes souterraines sont estimées à 565.62 Hm³/an. Ces réserves souterraines sont issues de la nappe phréatique, de celle des sables, de celle des calcaires et la nappe des grés comme mentionnés la figure ci-dessous.

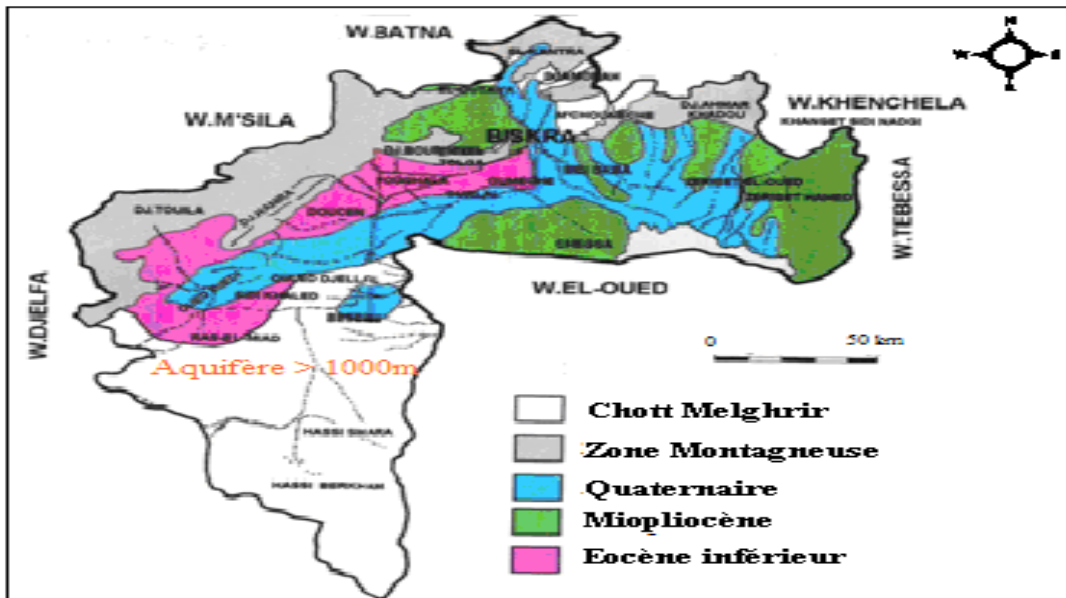


Fig.63: Carte des ressources en eau souterraines de la wilaya de Biskra : nappes moyennement profondes (30à500 m).ANRH, 2000

La ressource mobilisée de la wilaya de Biskra est de 35% pour les eaux de surface, 43 % pour les eaux souterraines (nappes phréatiques et profondes (Continental intercalaire et la nappe moins profonde du complexe terminal), ces chiffres de l'inspection de l'environnement de la wilaya de Biskra et concernent l'année 2007 (tableau 53).

Tableau 53: Estimation du potentiel hydrique des ressources en eaux souterraines de la wilaya de Biskra.

Ressources Hydriques	Souterraines (Hm ³)	Superficielles (Hm ³)	Total (Hm ³)
Potentiel	2042,43	71,43	2113,86
Taux De Potentialité (%)	96,62	3,38	100
Mobilisées	869,90	24,80	894,70
Taux De Mobilisation (%)	43	35	78
Exploitées	521,941	10,6230	532,5637
Taux D'exploitation	26	15	41

6-2: Potentiel des eaux de surface :

Ces eaux sont mobilisées par les barrages Fontaines des Gazelles (2000) et Foug El Gherza (1950).

6-2-1: Barrage de El Gherza :

Le barrage de Foug El Gherza est une voûte mince en béton qui collecte une surface de 1 300 Km² le long de Oued El Abiod , il reçoit moyennement un volume de 22.2 Mm³ , conçu pour contenir 47 Mm³ il se charge par 450 000 Mm³ de vase chaque année, ce qui a réduit sa capacité depuis sa réalisation en 1952 à 21 Mm³ en 1997 et 16.8 Mm³ en 2003, le climat de la région lui subi une perte en évaporation de 2 482 mm soit 4,5 Mm³ par an. Les précipitation du début de l'année 2004 l'a entièrement rempli au profit des agriculteurs des Oasis de Sidi Okba, Seriana, Garta Thouda dans la wilaya de Biskra, qui ont une réserve actuellement , qui avoisine les 15 Mm³.



Fig. 64. Barrage de Foug El Gharza

6-2-2: Barrage des fontaines des gazelles:

Le barrage de fontaine des gazelles est construit en matériaux locaux (remblai en alluvions compacté) avec un noyau d'argile, il se situe à l'aval de Oued El Hai, alimenté par une surface de 1 660 Km², ayant une capacité normale 55,5 Mm³, il est rempli actuellement à 100 %, mais une grande tranche de ce volume apparent, n'est que vase et autres apports solides charriés lors des crues avec un débit solide de 360 000 m³/an. Le stock de ce barrage souffre aussi d'une grande perte par évaporation, qui dépasse les 06 Mm³ par an, ce qui laisse juste 14 Mm³ à régulariser pour les besoins d'irrigation.



Fig. 65. Barrage de fontaine des gazelles

Les eaux de surface, sont celles mobilisables par les deux barrages présents dans la région. La capacité de mobilisation d'eau par ces deux ouvrages hydrauliques est de 102.5Hm³, actuellement ne mobilisent que 24,80 hm³, a eux deux. Le tableau 54, montre la répartition de la ressource en fonction de chaque barrage.

Tableau 54 : volume d'eau mobilisé par les barrages de la wilaya de Biskra.

Eaux superficielles (Hm ³)			
Désignation	Année d'exploitation	Capacité (Hm ³)	Volume régularisé (Hm ³)
Barrage fontaine des gazelles	Avril 2000	55.5	14

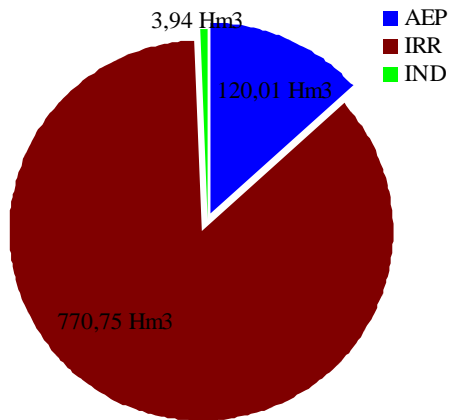
Barrage Foug El Gherza	1950	47	10.8
Total	/	102.5	24.8

6-3: Estimation des potentialités hydriques de la région d'étude :

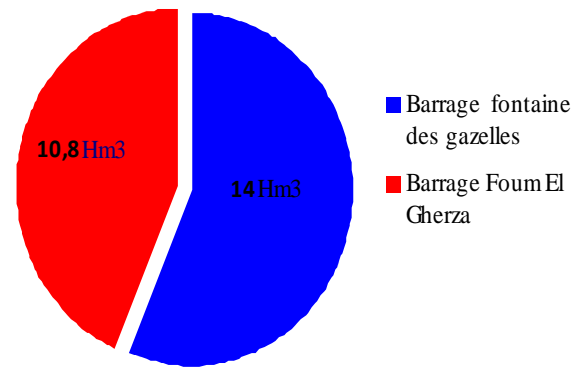
Les ressources souterraines et superficielles atteignent un total mobilisable de 919.5 Hm³. Le tableau 55 et la figure 66, montrent la répartition des eaux de la région.

Tableau 55: Répartition du potentiel hydrique en fonction de son origine dans la wilaya de Biskra.

Eaux superficielles (Hm ³)		Eaux souterraines (Hm ³)		
Barrage	Volume	Destination	Volume	
Fontaine des Gazelles	14	AEP	120,01	
Foug El Gherza	10.8	IRR	770,75	
Total	24.8	IND	3,94	
			Total	894,70
Volume global utilisé			919.5 Hm³	



a : Eaux souterraines



b : Eaux de surface

Fig.66: Répartition de la ressource en fonction des besoins dans la wilaya de Biskra

7- Etats de l'exploitation des nappes et leurs variations spatio- temporelles :

En 2008, les volumes d'eau extraits des nappes est estimé à 17930 l/s, soit un volume total annuel de 565.44 Hm³/an, ce débit se réparti en 16032 l/s pour l'irrigation, 1878 l/s pour l'alimentation en eau potable des populations et l'abreuvement du cheptel et 23.50 l/s pour l'industrie. Comparativement à l'année 1950, ces volumes montrent un accroissement considérable. Nous résumons dans les tableaux 56a, b et c, les variations de ces débits au cours des périodes considérées.

Tableau 56 : Variations des débits exploités au niveau des différents s aquifères de Biskra:

a- nappe phréatique:

Année	Nombre de puits exploité	Nombre de puits abandonné, arrêtés et Bouchés	Exploitation m ³ /s
1950	789	/	0.86
1970	/	/	1.49

2000	3126	/	3.2
2008	898	638	2.09

b- nappe du complexe terminal:

Année	Nombre de puits exploités	Nombre de puits abandonnés, arrêtés et Bouchés	Exploitation m ³ /s
1950	352	/	2.34
1970		/	3.77
2000	3511	/	11.22
2008	5705	2549	14.21

c- nappe du continental intercalaire:

Année	Nombre de puits exploités	Nombre de puits abandonnés, arrêtés et Bouchés	Exploitation m ³ /s
1970	02	/	0.11
2000	70	14	2.67
2008	56	48	1.63

d- tableau récapitulatif du a, b et c

Année	1950	1970	2000	2008
Débit total exploitable m ³ /s	3.2	5.37	17.09	17.93
Nappe phréatique	0.86	1.49	3.2	2.09
Nappe du complexe terminal	2.34	3.77	11.22	14.21
Nappe du continental intercalaire	/	0.11	2.67	1.63
Nombre des sources	50	16	0	0
Nombre de forage en exploitation	1141	/	6707	6659

On remarque que le total des débits extraits des différentes nappes (phréatique, complexe terminal et continental intercalaire), atteint 17.93m³/s, ce qui correspond à 17930 l/s. Cette quantité d'eau est soutirée à partir des forages et puits recensés et équipés de pompes. La comparaison des débits exploités de la nappe de complexe terminal entre 1950 et 1970 (tableau 56.d), indique une augmentation du volume d'eau extrait de l'ordre 4 %. Cette valeur est quasi négligeable et les ressources globales peuvent être considérées comme constantes.

Au contraire les débits extraits à partir de la nappe phréatique, qui avoisinaient 3.2 m³/s en 2000, ont montré une baisse en 2008 en atteignant 2.09 m³/s, ce qui a provoqué un assèchement total de tous les puits captant cette nappe.

Pour compenser cette perte en eau, il y a eu sollicitation plus accrue de la nappe du continental intercalaire, ce qui s'est caractérisé par une augmentation des débits, en effet de 1970 à 2000, la quantité d'eau extraite est passée de 0.11m³/s en 1970 à 2.67 m³/s en 2000. En 2008, on constate que les débits extraits sont de l'ordre de 1.63 m³/s, ce qui augure une exploitation intense, qui s'est traduite par la perte de l'artésianisme.

8-Une demande en eau accrue

L'agriculture dans le Sud Algérien s'est intensifiée de manière très significative. La région de Biskra en est la parfaite illustration. Les pratiques agricoles se sont intensifiées dans cette zone, ce qui demande une mobilisation plus importante de la ressource. Par ailleurs, la croissance démographique constatée s'accompagne d'une forte demande en eau à usage domestique. A titre indicatif l'irrigation, consomme à l'échelle mondiale les deux tiers environ de l'eau utilisée, et 89.4% à Biskra (Inspection de l'environnement de la wilaya de Biskra, 2007).

Les besoins importants en eau d'irrigation sont estimés, à partir des données climatiques, notamment l'évapotranspiration potentielle(ETP). En absence de pluie, ces besoins correspondant à l'ETR, suivant la formule : $ETR = ETP \cdot (Kc \cdot r)$, dans laquelle Kc est un coefficient cultural en fonction du recouvrement de l'espace cultivé et donc de son stade de développement. Le coefficient r , appelé taux de rationnement, dépend de l'état d'humidification du sol en surface, qui est en fonction de la densité des goutteurs et de la nature du sol plus ou moins filtrante. Dans le cas des palmeraies adultes, avec des écartements de $9 \text{ m} \times 9 \text{ m}$, $Kc = 0.6$ et $r = 0.8$. Ainsi les besoins en eau estimés correspondant à $ETP \cdot 0.6 \cdot 0.8$, soit à 50% de l'ETP.

Le climat de Biskra est évidemment un climat chaud, avec des températures excessives présentant des amplitudes journalières et annuelles fortes. La faiblesse des précipitations et la forte intensité de l'ETP interdisent pratiquement toute culture sans irrigation.

De nombreuses oasis connaissent un déficit important. Mais la notion de déficit est une notion relative et récente. En effet, le principe traditionnel de l'oasis reposait sur une adéquation entre la surface cultivée et la possibilité en eau. Aujourd'hui ces déficits s'accroissent du fait :

- De l'extension des cultures à haut rendement,
- De l'augmentation des surfaces irriguées,
- De l'accroissement de la population,
- Des besoins industriels, toujours plus importants.

Il en résulte un déséquilibre entre l'offre (la ressource) et la demande (besoin).

Tableau 57: Evolution du prélèvement de différentes nappes de Biskra

Prélèvement Hm ³ /an	1950	1970	2000	2008	Total
Aquifère					
Mio-pliocène	8	13	211	264.71	496.71
Eocène inférieur	65	102	134	161.53	462.53
Pontien	1	4	9	6.19	20.19
Total	74	119	354	432.43	/

Source ANRH, 2008

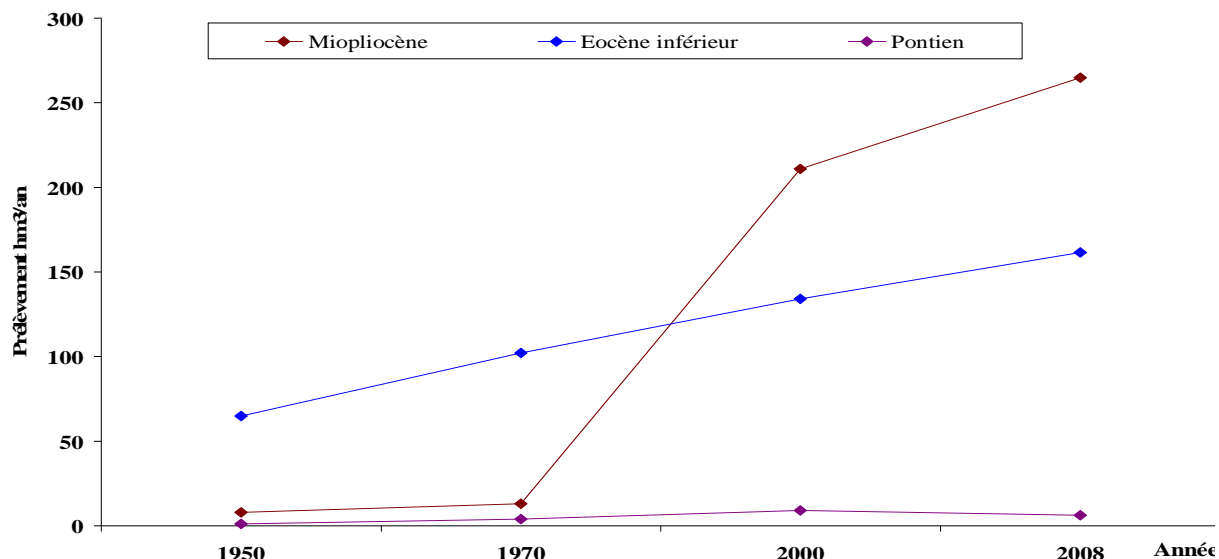


Fig.67: Evolution des prélèvements au niveau des différentes nappes de Biskra

L'examen du tableau 57 et de la figure.67, montre que le débit de la nappe phréatique est de 27Hm³/an, celui de la nappe du complexe terminal est de 74 Hm³/an, ceci pour 1950. Cependant en 2008, le débit global extrait est de 496.2 Hm³/an. Cette augmentation de 23 % entre les deux périodes considérées, montre la surexploitation des nappes. Ce débit provient entièrement du pompage.

9. L'état de l'exploitation des nappes (ressource – exploitation):

Pour déterminer l'état de l'exploitation des nappes, nous avons calculé les ressources exploitables pour chaque nappe, ces dernières ont été comparées avec l'exploitation actuelle, ce qui permet de calculer le volume disponible. Les résultats obtenus sont condensés dans le tableau 58.

Tableau 58: Volume d'eau disponible par chaque nappe de Biskra (ANRH, 2008) :

Aquifère	Ressource exploitable Hm ³ /an	Exploitation actuelle Hm ³ /an	Volume disponible Hm ³ /an
Quaternaire	5.63	13.66	-8.03
Moi-pliocène	116.51	124.85	-8.34
Eocène inférieur	65.81	109.78	-43.97
Sénonien supérieur	16.35	21.81	5.46
Pontien	10.8	15.48	-4.68
Maëstrichtien	6.95	12.14	-5.19
Albien	36.83	48.57	-11.74
Turonien	2.01	4.8	-2.793

L'observation du tableau précédent montre un déséquilibre entre la ressource et l'exploitation, cette dernière ne cesse d'augmenter, ce qui se traduit par une surexploitation de la ressource, provoquant la disparition de l'artésianisme et l'assèchement des puits impliquant ainsi la diminution de ces réserves en eau permanentes.

10-Utilisation des ressources en eau:

Les graphiques ci-dessous montrent bien l'exploitation des différentes nappes et les volumes d'eau soutirés de chacune d'elles et par daïra.

10-1-Daïra de Zeribet El-Oued:

Le graphique (fig.68) montre qu'au niveau de cette daïra, les nappes sollicitées sont la nappe du Pontien, du Mio-Pliocène et la nappe phréatique du Quaternaire. On remarque également que la nappe du Mio-Pliocène est fortement exploitée par un volume de $66.45 \text{Hm}^3/\text{an}$.

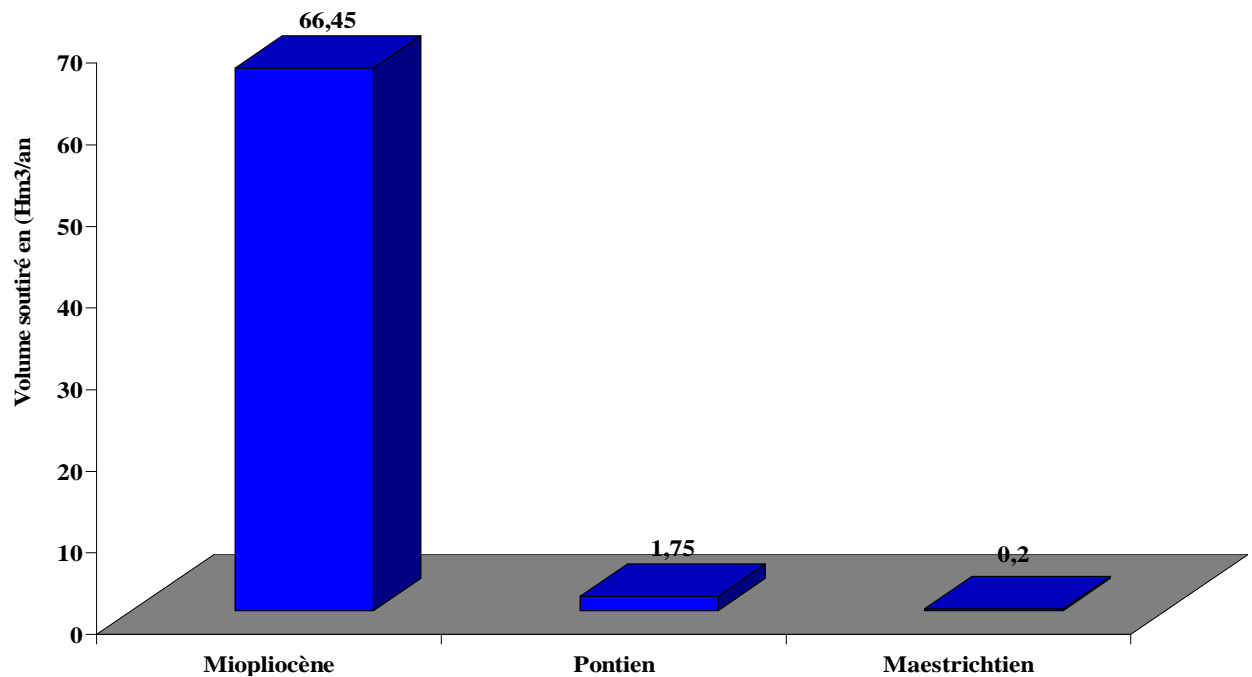


Fig. 68: Volume soutiré de la daïra de Zeribet El-Oued.

10-2-Daïra de Sidi Okba:

Le graphique (fig.69), montre que les nappes sollicitées aux niveaux de cette daïra, sont les mêmes que celles de la daïra de Zeribet El-Oued. Néanmoins, on peut noter qu'au niveau de cette dernière, la nappe du Mio-Pliocène présente un volume soutiré plus élevé que celui de Zéribet El-Oued de l'ordre de $118.6 \text{Hm}^3/\text{an}$ et de même pour la nappe du Pontien et Maéstrichtien.

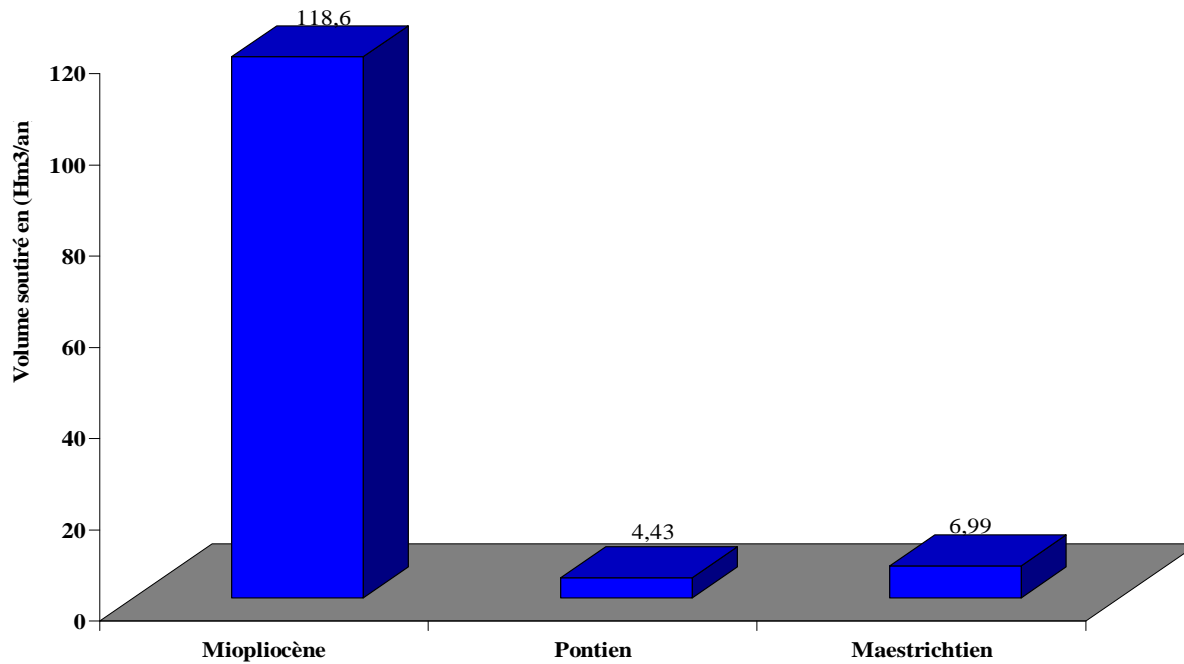


Fig. 69: Volume soutiré de la daïra de Sidi Okba.

10-3-Daïra de Biskra:

Les nappes sollicitées sont celles du Quaternaire, du Mio-Pliocène, de l'Eocène inférieur et du Continentale Intercalaire (fig.70). On remarque que les nappes les plus exploitées sont celles, du Mio-Pliocène et de l'Eocène inférieur par des volumes respectifs de 13.46 Hm³/an et de 7.93 Hm³/an.

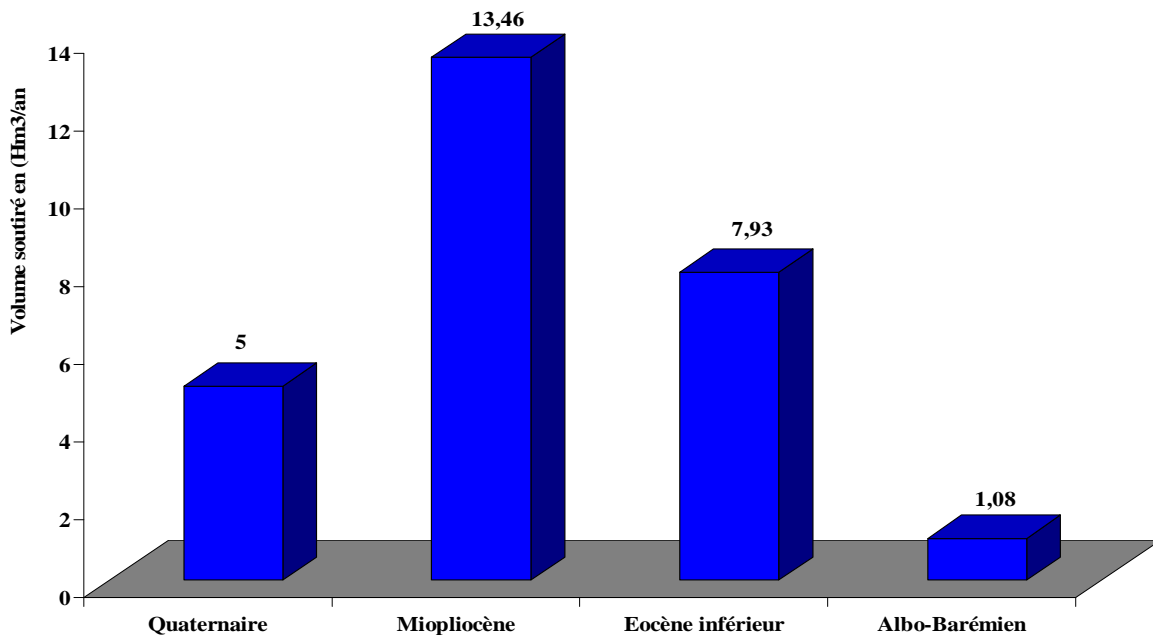


Fig. 70: Volume soutiré de la daïra de Biskra.

10-4-Daïra d'Ourelal:

La Daïra d'Ourelal, se caractérise par l'exploitation des nappes du Mio-Pliocène, du Sénono-Eocène et de la nappe du Continentale Intercalaire. On remarque d'après ce graphique (fig.71) que les nappes du Mio-Pliocène et du Sénonien sont les plus sollicitées dans cette daïra, avec des volumes respectifs de 33.84 et de 15.82Hm³/an.

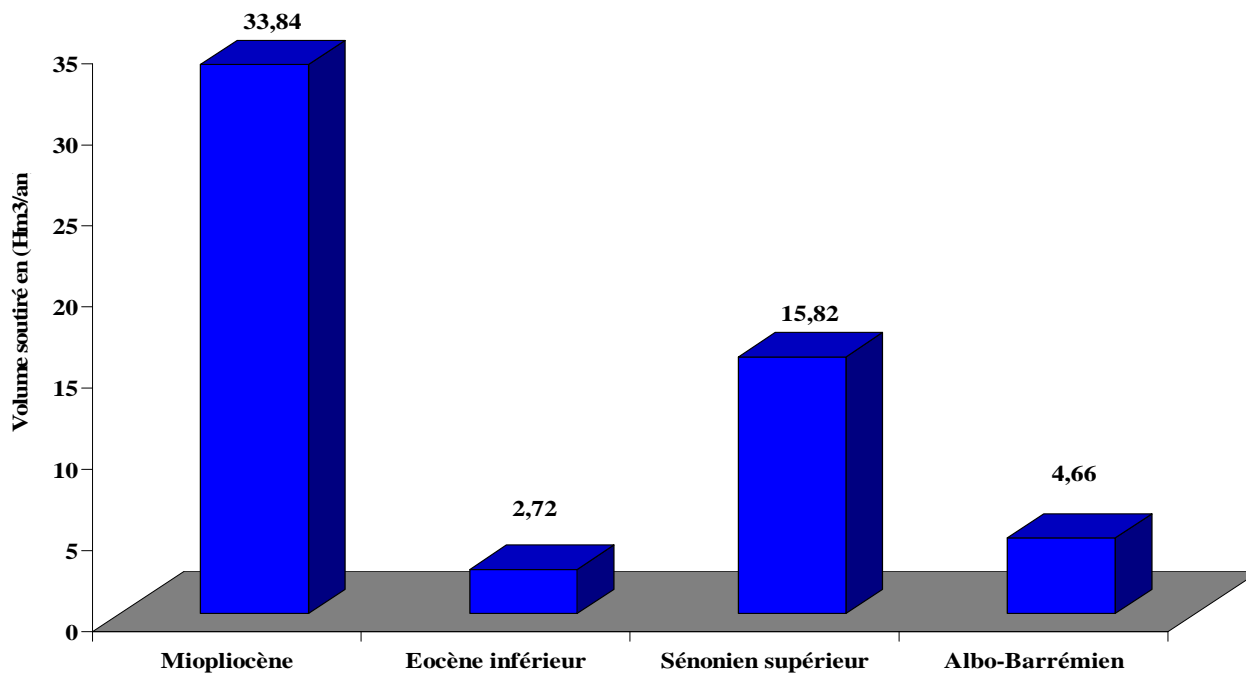


Fig. 71: Volume soutiré de la daïra d'Ourelal.

10-5-Daïra de Tolga et de Foughala:

Ces deux daïra géographiquement très proche, présentent les mêmes réservoirs aquifères à savoir, le Mio-Pliocène, l'Eocène inférieur et le Continentale Intercalaire (fig.72). On remarque d'après ce graphique, que la nappe la plus sollicitée est celle de l'Eocène inférieur avec un volume de 90.6 Hm³/an.

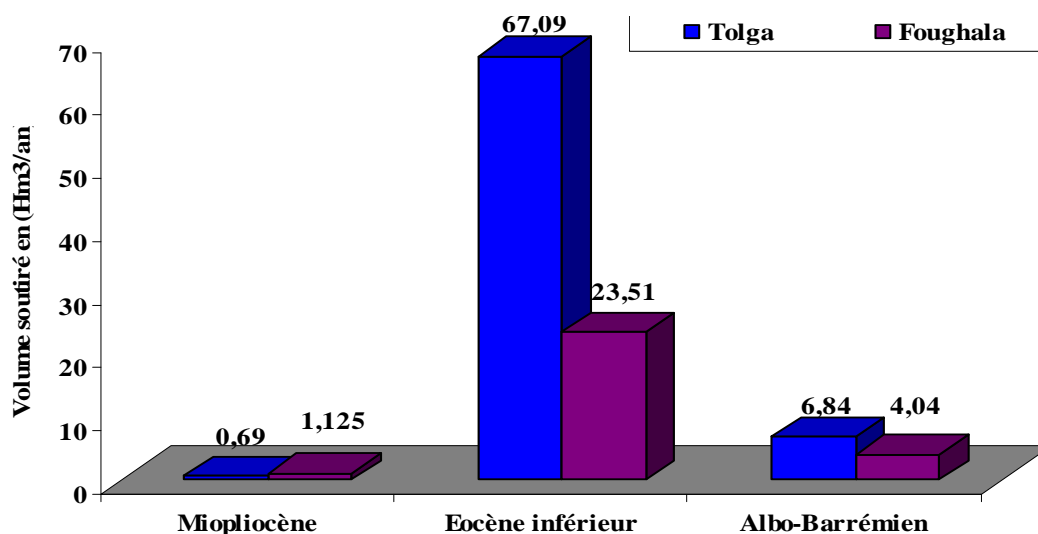


Fig.72: Volume soutiré de la daïra de Tolga et Foughala.

10-6-Daïra de Sidi Khaled et d'Ouled Djellal:

Ces deux daïra limitrophes, présentent des ressources en eau souterraines identiques, représentées par les nappes du Quaternaire, du Mio-Pliocène, de l'Eocène inférieur et du Continentale Intercalaire. Le graphique (fig.73) montre que les deux nappes du Quaternaire et de l'Eocène inférieur sont les plus sollicitées, respectivement avec des volumes de 60.75 et 60.42 Hm³/an. Il est à remarquer que la nappe du continental Intercalaire est plus exploitée dans cette région, comparativement aux autres régions de la wilaya.

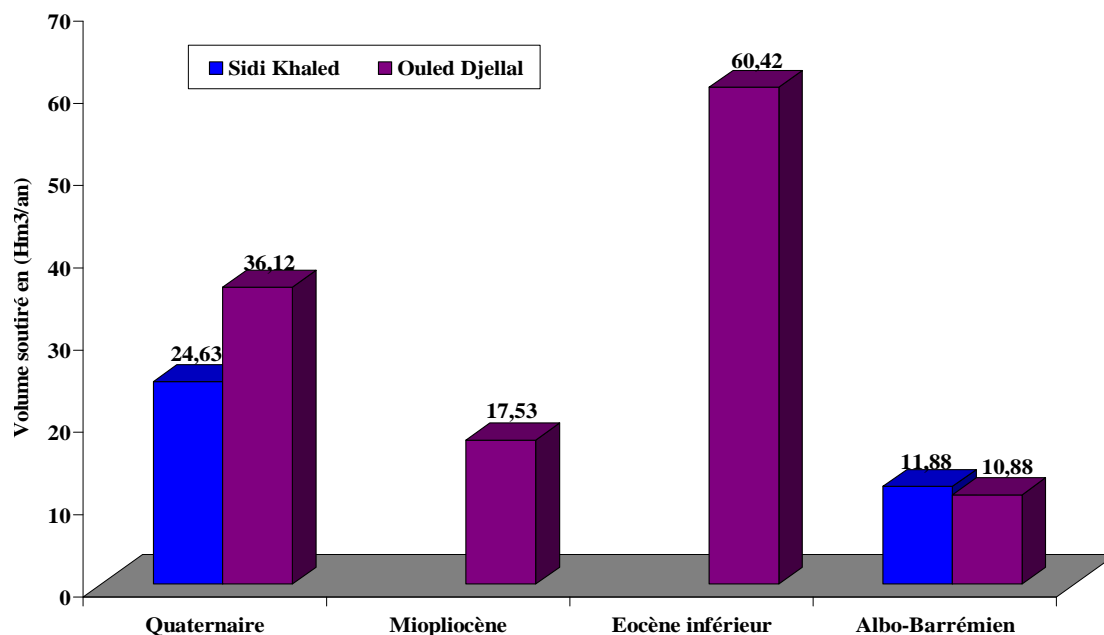


Fig. 73: Volume soutiré de la daïra de Sidi Khaled et Ouled Djellal.

10-7-Daira d'El-Outaya et M'Chounech:

Elles sont caractérisées par l'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène et du Maéstrichtien. Le graphe (fig.74) montre que la nappe du Miopliocène est la plus sollicitée pour la daïra d'El Outaya avec un volume de 12.26 Hm³/an.

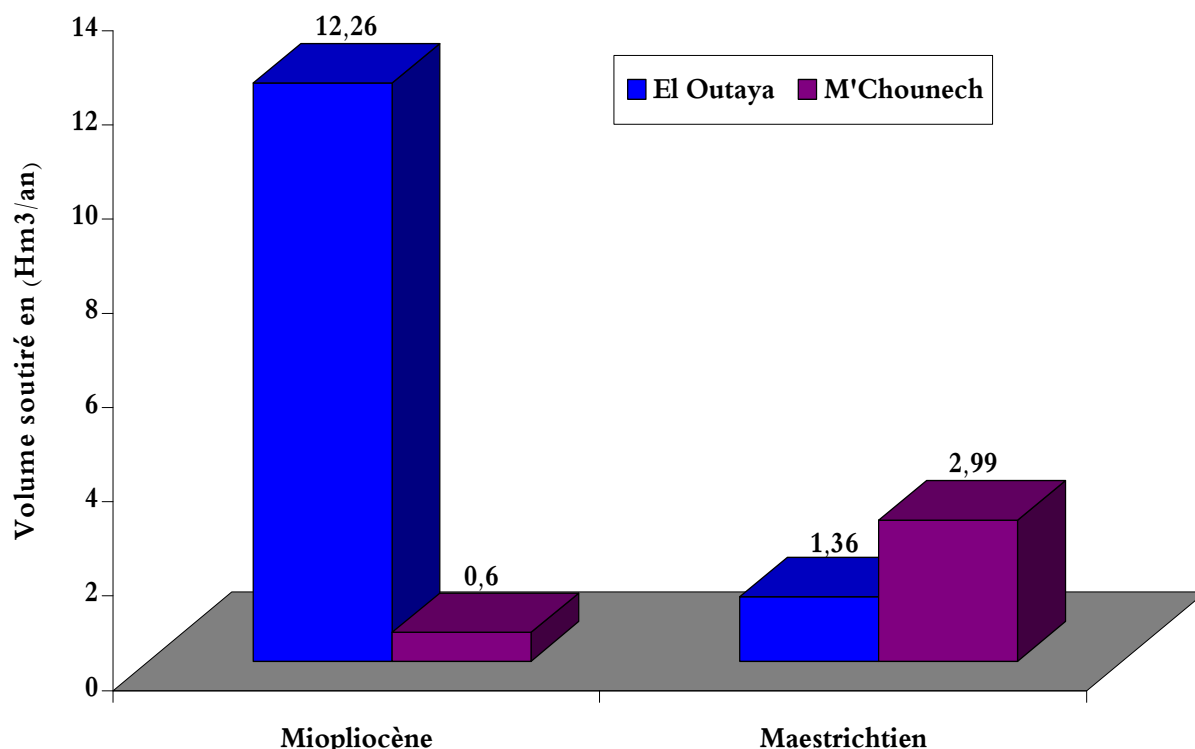


Fig. 74: Volume soutiré de la daïra d'El Outaya et M'Chounech.

10-8-Daira de Djemorah et d'El-Kantara

La nappe la plus sollicitée dans cette région est celle du Turonien par un volume de 0.46 Hm³/an pour la daïra de Djemourah et 0.12 Hm³/an pour celle d'El Kantara (Fig.75).

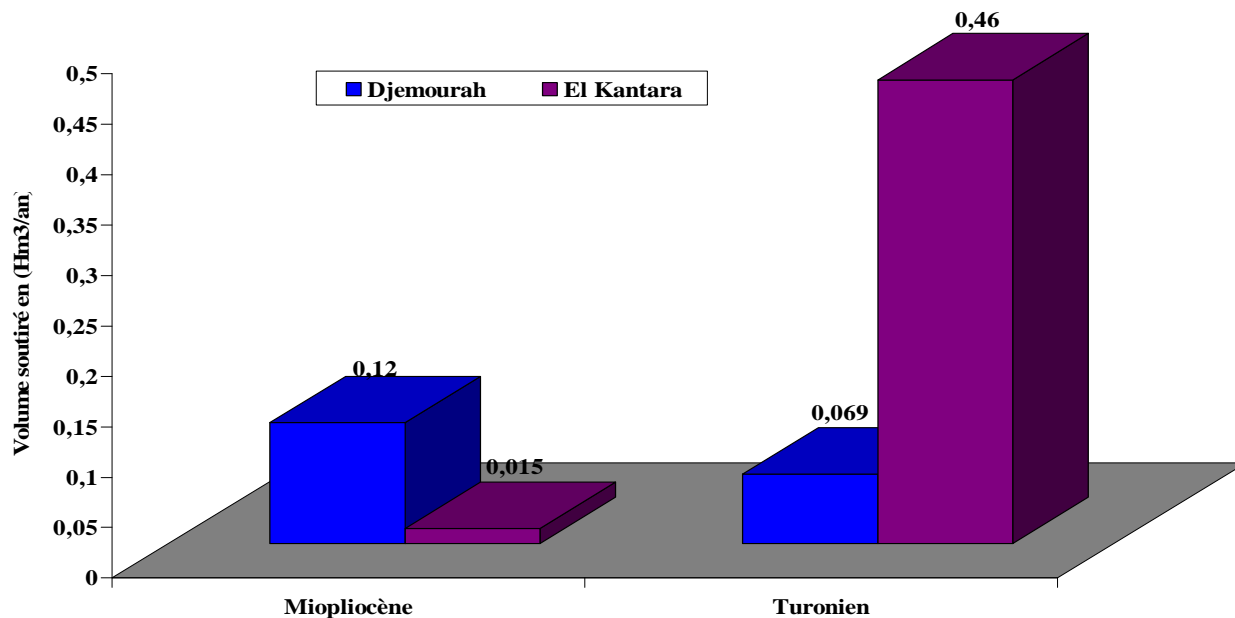


Fig.75: Volume soutiré de la daïra de Djemourah et El Kantara.

11-Des ressources en eau surexploitées:

En 1950, le débit total dans disposait la région de Biskra était de l'ordre de $0.01\text{m}^3/\text{s}$ (nappe d'éocène). A cette période, la plus part des puits étaient encore jaillissants et leur niveau hydrostatique se situant à 20 mètre au-dessus du niveau du sol (ANRH, 1986). La multiplication des forages a permis une augmentation des débits exploités ($0.09\text{m}^3/\text{s}$), pour les deux nappes du complexe terminal. Cette augmentation des débits s'est accompagnée par l'augmentation des forages, ainsi de 250 forages opérationnels tubés dans l'éocène et une centaine de forage dans la seconde nappe (Moi- pliocène), le nombre d'ouvrage atteint 3937 pour la nappe du Moi- pliocène et 1768 pour la nappe de l'éocène inférieur en 2008, ce qui a généré un rabattement des niveaux piézométriques. Par ailleurs le débit total prélevé avoisine près de $14.21\text{m}^3/\text{s}$.

Au niveau du continental intercalaire, la sollicitation s'est également accrue. En 1970, le nombre de forages se limité à atteint, était de 56 ouvrages en 2008, ceci a eu pour effet l'augmentation de la quantité d'eau extraite, de $0.11\text{m}^3/\text{s}$ en 1970 on soutire $1.63\text{m}^3/\text{s}$ (ANRH, 2008). Nous remarquons donc que le débit exploité dans la région, à partir des différentes nappes a été pratiquement multiplié par 14, sans qu'aucun dispositif d'accompagnement efficace ne soit mis en place pour gérer convenablement ces ressources après utilisation.

La première conséquence de cette surexploitation s'est soldé par un rabattement important du niveau de la nappe phréatique de Biskra, ce dernier dépasse actuellement 100 mètres alors qu'il atteignant au maximum 40mètres (A.N.AT.2002). Notons que la construction du barrage Fontaine des gazelles, en amont de la ville de Biskra, pour collecter les eaux provenant d'Oued El Hai, empêche l'alimentation de la nappe phréatique de Biskra, augmentant le rabattement de cette dernière. Le tableau suivant récapitule, les débits extraits des différentes nappes.

Tableau 59: débits exploitables par les différentes nappes de Biskra

	Aquifère	Nombre de forage exploité	Débit prélevé m³/s
Continental intercalaire	Mæstrichtien	31	0,37
	Turonien	6	0,016
	Albo-barrémien	19	1,25
	Sous total	56	1,63
Complexe terminal	Mio-Pliocène	3906	8,39
	Pontien	31	0,2
	Eocène inférieur	1745	5,12
	Sénonien supérieur	23	0,5
	Sous total	5705	14,21
Total		5761	15.84

12: Les conséquences directes de la surexploitation:

La baisse significative et continue des niveaux piézométriques des nappes ainsi que le tarissement des sources sont des signaux de la surexploitation, ce dernier risque de compromettre la pérennité de la ressource si des mesures de gestion ne sont pas prises. Les résultats du modèle SAS, ont montré :

-Une diminution de l'Artésianisme au niveau des deux principales nappes de Biskra (continental intercalaire et complexe terminal), confirmé par le tarissement des sources autour desquelles se sont développées les oasis traditionnelles. L'exemple le plus concret concerne les sources localisées au niveau du lit de l'Oued Biskra à 2 km au nord de la ville (Bedrani et Al, 2005).

La baisse progressive jusqu'à l'assèchement des débits issus des sources de Tolga. En 1930, il y avait 29 sources, aujourd'hui toutes les sources ont tariés

Le tableau 60 suivant montre la variation temporelle du nombre des sources et leurs débits.

Tableau 60: Débits de quelques sources

Année	Nombre de source	Débits des sources en l/s
1930	29	591
1967	4	128
1973	9	126
1983	1	98
2000	0	0

La baisse du niveau piézométrique entraîne une élévation du coût de réalisation du forage.

A titre indicatif, le niveau statique de la nappe phréatique de Oued Biskra (station F1) était à 6.8m de profondeur en 1990, a atteint 16.11m en 1995, le niveau a donc chuté de 9.81 m en 5 ans, ce qui est très important par rapport à l'épaisseur relativement moyen (20 m) de l'aquifère dans cette zone.

Sur le forage Sif6Bis (nappe phréatique), la différence entre la profondeur du niveau statique 1990 et 2000, était de 6.55m, elle a atteint 13mètres en 2007. .

Le forage Farfar (Tolga), dont la profondeur atteignait 150m avec un débit d'exploitation de 11 l/s en 1982 a connu un rabattement de 50m avec un léger accroissement du débit 13.85l/s en 2007.

Le tableau ci-après (G. Mauget, 1967) donne les valeurs de cette baisse de pression dans la nappe de calcaire.

Tableau 61 : Variation de la pression de la nappe de Tolga (d'après G.Mauget, 1967).

Forage	Période d'observation	Baisse des niveaux de pression
Hadou	De 1955 à 1967	-1.50 m
Ain Gandour	De 1951 à 1967	-2 m
Puits Pet C	De 1961 à 1967	-1.2 m
Ain Mokhtar	De 1951 à 1967	-3 m
Ain Bengana	De 1957 à 1967	-1 m

La baisse des pressions hydrostatiques, qui est générale à la nappe de Tolga, provoque des rabattements de niveaux piézométriques importants ; ex : le niveau statique du puits de Ain Suzy dans la palmeraie de Foughala, en amont, était en 1935 de l'ordre de +16m, par rapport au sol ; en 1967, il n'est plus que +13.25m. Pendant le même intervalle de temps, le débit a diminué de 57.5 l/s à 33.5 l/s (G .Mauget ,1967)

13-Gestion des ressources en eaux souterraines:

Les premières conclusions qui se dégagent après plusieurs années d'exploitation des nappes du Complexe Terminal du Biskra sont surtout celles liées aux problèmes de gestion, de planification et de suivi de la ressource en eau. En effet, Il est difficile d'imaginer une gestion rationnelle et durable sans modification du fonctionnement physique, chimique et biologique de l'environnement. Il est difficile également de gérer une ressource sur un territoire aussi vaste sans un modèle mathématique de gestion. Dans ce cadre plusieurs modèles ont été élaborés : ERESS- 1972 et actualisé en 1985 le NEWSAM par le BRL /CDARS en 1999 avec le concours de l'école des Mîmes de Paris, de l'ANRH et celui du SASS (OSS) avec la collaboration également de l'ANRH en 2002 . L'élaboration de cet outil indispensable, permettra surtout de prévoir à moyen et long terme l'évolution de la nappe en fonction des prélèvements proposés, ainsi que les conséquences de son utilisation.

Avant d'arriver à une gestion intégrée et durable des ressources en eaux souterraines et d'éviter des effets néfastes pour la situation économique et sociale de la région il est nécessaire d'entreprendre des actions immédiates tels que :

- Stabiliser à un niveau approprié les volumes prélevés dans les zones qui connaissent ou risquent de connaître à court terme des situations de surexploitation ;
- Maîtriser les volumes exploitables dans les zones à fortes potentialités, telles qu'identifiées par le modèle mathématique des nappes du système aquifère du Sahara Septentrional (SASS),

- Systématiser les pratiques d'économie dans les différents usages de l'eau, et ceci à travers la limitation des pertes, la promotion des techniques alternatives et la lutte contre le gaspillage par des actions d'information et de sensibilisation des usagers;

Par conséquent, si on vise une exploitation durable des ressources en eau dans la région de Biskra, tout en assurant l'approvisionnement en eau des populations, qui ne cessent d'augmenter, il est nécessaire d'exploiter uniquement les ressources renouvelables, tout en généralisant l'irrigation localisée.

14-Conclusion :

L'évolution hydraulique dans les Ziban a été marquée au cours des dernières décennies par de nombreuses transformations.

Les faits qui sont les plus caractéristiques sont la disparition de l'artésianisme et l'assèchement des sources.

La modification des équilibres hydrostatiques reste le problème hydraulique majeur des Ziban. La disparition de l'artésianisme à la suite de l'abaissement des niveaux piézométriques, entraîne certaines difficultés.

Chapitre -V-

Besoins en eau

1-Introduction :

En Algérie, la disparité de la disponibilité des ressources hydriques est remarquable. Le Tell qui représente 7% de la superficie du pays enregistre 90% de l'écoulement total. Le reste du territoire est caractérisé par une aridité chronique. L'apport pluviométrique annuel est à hauteur de 65 km³ dont 46 km³ s'évaporent, 15 km³ ruissellent et 4 km³ s'infiltrent.

Les possibilités de mobilisation en 2010, estimées à 4,52 km³, représenteront un taux de mobilisation de plus de 30% de l'écoulement moyen annuel mais demeurent insuffisantes pour satisfaire les besoins croissants.

L'analyse des variations des volumes des deux principales réserves d'eau souterraines au Sud du pays (albiennaise et complexe terminal) a montré que dès 1970, les nappes étaient en exploitation avec un prélèvement de 3 m³/s. Les niveaux piézométriques n'ont pas cessé de baisser, bien que les différentes simulations effectuées montrent qu'il est possible d'envisager une exploitation contrôlée jusqu'à 5 km³/an pour les deux nappes.

2-Les besoins en eau dans la wilaya de Biskra :

Composée actuellement de 12 Daïras regroupant 33 communes qui s'étendent sur une superficie de 21671 km² soit une densité de 30 hab/km². Ces Daïras sont à vocation agricole, ce qui explique la prédominance des quantités d'eau destinées à l'irrigation. Le tableau 62, suivant récapitule la répartition de la ressource souterraine par Daïra.

Tableau 62: Répartition par daïras des ressources souterraines (Hm³/an) dans la wilaya de Biskra.

Daïra	Ressources et leurs destinations (Hm ³ /an)			Total
	AEP	IRR	IND	
Biskra	6.40	20,85	0.23	27.5
Tolga	1.21	73,36	0.05	74.62
Foughala	0.70	28.00	0	28.7
Zribet el oued	5.30	63,08	0.03	97.11
Sidi Khaled	13.30	23,21	0	36.51
El Outaya	2.75	10,43	0.43	13.61
M'Chounech	2.90	0,71	0	3.61
Ourellal	1.80	55,23	0	60.64
Ouled Djellal	10.55	114,40	0.002	124.952
Sidi Okba	14.38	115,66	0	130.04
El Kantara	/	0,48	0	0.48
Djemourah	/	0,20	0	0.20
Total	59.2859	505.6279	0.7496	

Source : ANRH de Biskra 2009

Nous remarquons que l'agriculture consomme beaucoup d'eau. Ceci est particulièrement important pour les Daïras de Tolga, de Zribet El Oued, D'Ourellal, d'Ouled Djellal et de Sidi Okba.

2-1-Les besoins en eaux potables :

Les calculs de ces besoins se feront sur la base de normes, ces dernières prennent en considération les critères sociopolitique et socio-économique. Le critère sociopolitique peut être considéré comme interne à chaque commune car il est issu de la volonté politique des pouvoirs publics locaux d'être en adéquation avec les objectifs fixés chaque période de planification. Ces objectifs prennent en compte les aspects technico-financiers (taux de raccordement au réseau, investissements réservés aux infrastructures), le potentiel des ressources en eau susceptible d'être mobilisées (quantité et qualité) et la structure internes des agglomérations (population, taux d'urbanisation, typologie de l'habitant et des équipements sanitaires...).

2-1-1-Les besoins en eau potable en milieu urbain :

Notons que la ville de Biskra est alimentée en eau de consommation à partir de forages implantés dans la nappe des sables du Miopliocène et dans la nappe des calcaires du champ captant d'El Magloub qui refoulent leurs eaux vers plusieurs réservoirs. A cela s'ajoute l'injection directe de plusieurs eaux de forage dans le réseau de distribution.

a- Exemples :

*L'Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 1952 :

En 1940, Biskra était alimentée par une station de pompage qui prélevait l'eau dans l'inféro-flux de la nappe alluviale. Cette station fournissait 7200 m³/jour pour l'AEP et 21.400 m³/jour pour l'irrigation.

En 1952, Biskra comptait 35.145 hab., répartie sur deux zones :

La première dite ville européenne et comptait 10.907 hab., tandis que le vieux Biskra dit douar, comptabilisé 24.238 hab. Pour satisfaire la population en eau potable un réservoir de 5000 m³ a été construit. Les besoins nécessaires pour cette population, sont reportés dans le tableau 63.

Tableau 63: Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 1952.

Consommation par zone		Quantités des consommations (Q)	Dotation m ³ /j	jour Q.m ³ /j
Habitants	Ville Européenne de Biskra	11.215	0.200	2.243,0
	Habitants vieux Biskra	27.500	0.100	2.750,0
	Total	35.145	/	4.993,0 soit 5000 l/j

• L'Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 1986 :

En 1986, la population de la ville de Biskra, avoisinait 130.000 habitants, ce qui a nécessité l'exploitation d'autres niveaux aquifères, à ce titre Biskra était alimentée par (Cf. tableau .64):

- Cinq forages exploitants les eaux de la nappe alluvionnaire de l'Oued Biskra, avec un débit de 492 l/s, ces eaux étaient destinées à alimenter les zones, centre, Sud et El Alia.
- Trois forages implantés dans la nappe des calcaires (éocène inférieur), le débit soutiré avoisinait 65 l/s

Ainsi l'alimentation en eau de Biskra se faisait à partir de huit (08) forages, qui fournissaient un débit de 557 l/s, ramené à l'habitant cela équivaut à 371 l/s/hab. Ainsi, entre 1952 et 1986 le potentiel en eau par habitant à pratiquement doublé.

Tableau 64 : Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 1986.

Zone	Population	Forage	Dotation l/j/h	Volume consommé (l/s)	Volume consommé (Hm ³ /an)
Centre et Sud de Biskra	99.611	4	390	450	14.1912
Alia Est	10.000	1	362	42	1.3245
Ouest	20.000	3	280	65	2.0498
Total	129.611	8	371	557	17.5655

Source DHW de Biskra, 1986.

***L'Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 2007 :**

Actuellement, la ville de Biskra compte autour de 200 000 âmes, ce qui nécessite une mobilisation plus importante de la ressource. Le tableau 65, donne un aperçu sur l'origine des eaux destinées à la consommation. Dans le détail on note que :

- La nappe phréatique d'oued Biskra, avec 12 forages, fournit un débit de l'ordre de 0.3456 m³/s (champ captant oued El Hai)
- La nappe des sables (Miopliocène) est exploitée par 18 forages, fournissant un débit de 0.166 m³/s (champ captant interne)
- La nappe des calcaires (éocène inférieur) est exploitée par 08 forages, donnant un débit de 0.849 m³/s.

Pour le stockage d'eau, cinq (05), sont fonctionnels :

- Deux réservoirs 2 x 5000 m³ ;
- Réservoir surélevé 200 m³ de la zone des parcs.
- Deux réservoirs circulaires de 3000 m³ en béton armé alimentent El alia et Haï el moudjahidine
- Le réservoir tampon de 500 m³ du champ captant El Magloub est utilisé pour le renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Biskra. Par ailleurs des eaux des forages (Zouaka, Sûreté,

Centre universitaire, Ras El gueraia 1, Ras El guearia 2, El hawza, Ecole des jeunes aveugles), sont injectées directement dans le réseau. .

Tableau 65: Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 2007

Zone	Nombre de Forage	Volume consommé (l/s)	Volume consommé (Hm ³ /an)
Champ captant Oued El Hai(Biskra)	12	345	10.8799
Champ captant interne (Biskra)	18	338	10.6591
Champ captant El Megloub	08	166	5.2349
Total	38	849	26.7739

* L'Alimentation en eau potable en milieu rural :

Tableau 66: Consommation en eau potable en milieu rural

Localité	Population	A.E.P	Dotation l/j/h	Volume consommé (l/s)	Volume consommé (Hm ³ /an)
Tolga	42.347	4 F	137	85	2.6805
Foughala	4.443	4F	486	25	0.7884
Cité Foughala	302	1F	858	3	0.0946
Bouchagroun	5.212	5 F	895	54	1.7029
Cité Bouchagroun	787	1 P	219	2	0.0630
Lichana	5.318	1 P	244	15	0.4730
Bord Ben Azzouz	5.428	1 F	239	15	0.4730
Ourellal	3.327	2 F	779	30	0.9460
Lioua	3.911	1 F	663	30	0.9460
Oumeche	4.803	2 S	359	20	0.6307
Sidi Okba	14.340	3 F	301	50	1.5768
Garta	1.150	1F	413	5.5	0.1734
Sériana	1.508	1 S	286	5	0.1576
Total					10.7059

Source DHW de Biskra, 1986.

2-1-2-Les besoins futurs en eau dans la wilaya de Biskra :

Pour l'estimation quantitative des besoins en eau potable, il faut tenir compte de l'accroissement démographique de la région. La population de la wilaya de Biskra est en évolution constante ce qui

implique une augmentation des besoins en eau potable dans le même sens. Avec un taux d'accroissement moyen de 2.5 % /an, on pu illustrer l'évolution de la population dans le temps à la wilaya de Biskra sur la (fig.76).

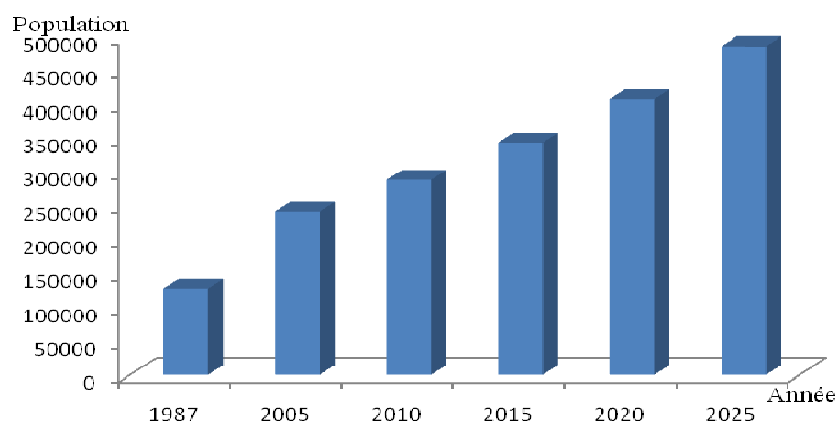


Fig. 76 : Evolution de la population dans la wilaya de Biskra de 1987 à 2025.

On estime la demande potentielle à 150 litres par habitant et par jour. 90% des ressources en eau à Biskra sont souterraines (ANAT, 2003). Cette tendance s'explique par le fait que l'urbanisation, a pris une grande ampleur à Biskra (le double de l'ancien tissu urbain). De plus, la population a plus que doublé en 20 ans tableau 67.

Tableau 67 : Besoins en eau d'AEP dans la wilaya de Biskra.

Année	Population	Besoins m ³ /j	Besoins Hm ³ /an
1987	128.000	23040	8,4096
2005	241.928	43547	15,8946
2010	288.725	51970.5	18,9692
2015	343.583	61845	22,5734
2020	408.864	73595.5	26,8623
2025	486.548	87578.6	31,9661
Total	/	341576.6	124,6752

Pour une population de 242 000 habitants, un volume de 15.9 Hm³ est distribué pour l'approvisionnement des différentes daïras de la wilaya en AEP.

Les estimations pour l'horizon 2025 sont de 32 Hm³ (eaux souterraines) avec une population qui doublerait d'ici là, de ce fait on mobilisera autour du double. La figure (77), illustre bien cette évolution.

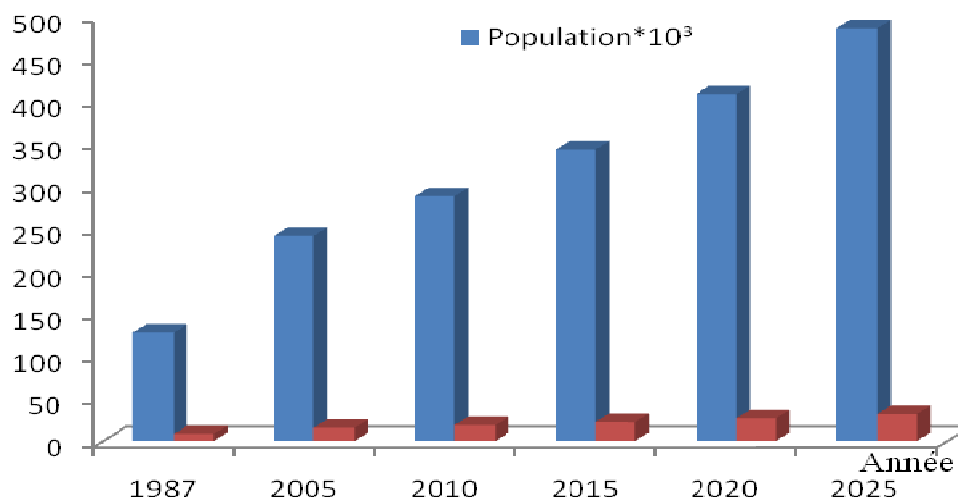


Fig.77: Evolution de la population et augmentation des besoins en AEP (Hm³/an) dans la wilaya de Biskra.

2-2-Les besoins en eau pour l'agriculture :

Le développement agricole qu'a connu la wilaya est en grande partie dû à la disponibilité de potentialités en eau de surface et souterraine. Cette disponibilité en eau a facilité le recours à la petite et moyenne hydraulique indispensable à l'irrigation des grands périmètres. La superficie agricole utile (SAU) de 175 335ha dont 108 183 ha irrigués (année 2005) (tableau 68). Pour compenser les méfaits de l'aridité du climat, les agriculteurs bénéficient de dotations importantes atteignant 7000 m³/ha/an. Par ailleurs, les besoins en eau pour l'agriculture sont liés à l'accroissement des terres agricoles irrigables, ces dernières avoisinaient 53 312,05 ha en 1999, ont atteint 108 183 ha en 2005, soit une augmentation de 54 871 ha, correspondant à un doublement des surfaces, entraînant à un accroissement moyen de 7 838 ha/an, cette évolution s'explique par les mesures d'accompagnement mises en place en 2000 (fig.78).

Tableau 68 : Evolution des surfaces irriguées et des besoins en eau pour l'agriculture de la wilaya de Biskra.

Année	Superficie agricole (ha)	Superficie irriguée total (ha)	Besoins en A.E.A (Hm ³ /an) pour 7000 m ³ /ha/an
1999	129 516,96	53312,05	373,1843
2000	136379,75	64461,00	451,227
2001	145746	66192,03	463,3442
2002	154271	74121	518,847
2003	166218	90615	634,305
2004	173847	103739	726,173
2005	175335	108183	757,281

2010	208060	147373	1031,611
2015	240785	186563	1305,941
2020	273510	225753	1580,271
2025	306235	264943	1854,601

On remarque (tableau.68), que le volume d'eau souterraine mobilisé de l'ordre de 3305 Hm³/an. Le volume total d'eau de surface mobilisé par 02 barrages est de 58,625 Hm³ utilisé pour l'irrigation. La région compte plusieurs périmètres irrigués dont les deux plus importants sont celui de Sidi Okda et celui d'El Outaya. Les indications concernant ces deux périmètres sont conditionnées dans le tableau 69.

Tableau.69 : Quantités d'eau issues des barrages.

Périmètre	Superficie (ha)		Barrage d'alimentation	Volume affecté (Hm ³)	Mode d'irrigation
	Equipée	Irriguée			
Sidi Okba	800	200	Barrage Foug el Gherza	08	Système traditionnel
El Outaya	950	880	Barrage Fontaine des gazelles	06	Goutte à goutte

2-2-1: Infrastructure de mobilisation:

Les eaux superficielles, dans la wilaya de Biskra, sont complètement orientées vers l'agriculture avec même un volume supplémentaire à partir des eaux souterraines. Quant à l'alimentation en eau potable elle est assurée par la ressource en eau souterraines à partir de forages ou/ et de puits.

La wilaya de Biskra possède d'appréciables potentialités en eau de surface, malgré sa position dans une zone semi-aride et à la porte du Sud. Deux grands barrages en exploitation, en l'occurrence celui de Foug El Gherza (Sidi Okba) et Fontaine des Gazelles (El Ouataya), dont la mise en eau a été faite en l'an 2000 (Tableau 70).

Tableau 70 : Volume d'eau utilisé pour l'agriculture à partir de chaque type d'ouvrage(2008).

Ressources hydriques	2005		2006	
	Nombre	Débit	Nombre	Débit
Barrage en m ³	02	70393000	02	58625000
Retenue collinaire en m ³	00	0	00	00
Oued en m ³	23	610	23	610
Total volume en m ³	25	70393610	25	58625610
Puits en l/s	4544	22800	4544	22800
Forage en l/s	7235	74743	7235	82000
Autres	0	0	0	0
Total débit en l/s	11779	97543	11779	104800

Les barrages en projets de faible et moyenne capacité sont au nombre de trois, à savoir Branis, Tolga et Mziraa. Un quatrième barrage sur l'Oued Dermoun a figuré sur la carte des projets envisagés par l'Agence Nationale des Barrages. A ces futures infrastructures hydrauliques, s'ajoute les barrages de Khanga Sidi Nadji et ou celui d'El Ouldja, dont les études de faisabilité et de reconnaissance sont terminées.

Ces barrages, à eux seuls, peuvent réguler les eaux de l'Oued El Arab et laminier les grandes crues catastrophiques observées dans cette région. Les données concernant ces barrages sont insérées dans le tableau ci après.

Tableau 71 : Caractéristiques des barrages en projet.

Oued	Commune	Volume régularisable (Hm ³)	Destination	Type
Selsou	Tolga	6.6	Irrigation	Petit barrage
Kherboucha	M'ziraa	2.5	Irrigation	Petit barrage
Abdi	Branis	11.0	Irrigation	Petit barrage
Dermoun	M'ziraa	7.35	Irrigation	Moyen barrage (Capacité 23.6 m3)
El Arab	Khanguet Sidi Nadji	31.0	Irrigation + A.E.P.	Grand barrage
El Arab	Ouldja	12.0	Irrigation + A.E.P.	Grand barrage (Capacité 53 Hm ³)

2-2-2: Synergie entre agriculture et eau :

On a remarque une augmentation des surfaces irrigables, cette dernière s'accompagne d'une augmentation des besoins en eau. La figure 78, illustre cette synergie.

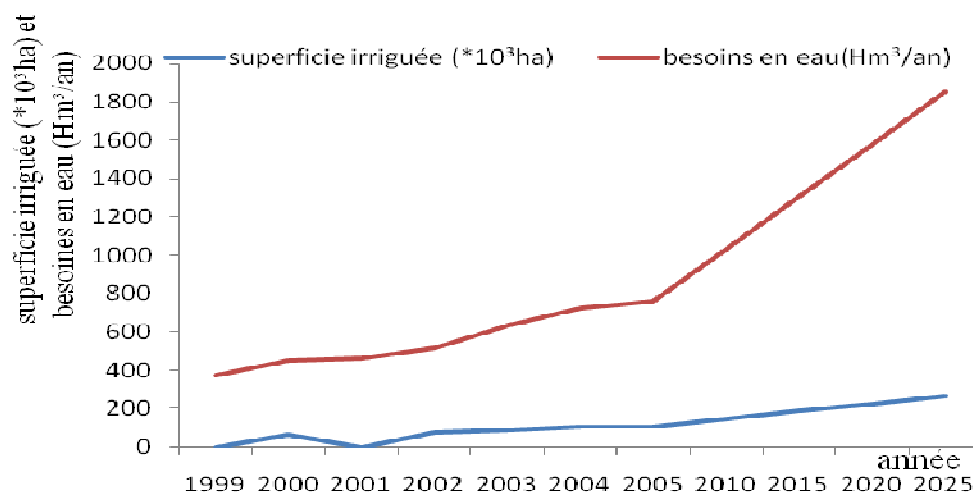


Fig. 78 : Evolution des besoins en eau d'irrigation dans le temps.

2-3-Besoins en eau industrielle :

Le secteur industriel est peu développé dans la région. De ce fait les consommations en eau sont relativement faibles, le tableau 72, donne un aperçu sur la provenance des eaux destinées à l'industrie.

Tableau 72 : Consommation en eau de différentes industries à Biskra.

Unité industrielle (UI)	Origines des eaux	Volume consommé (l/s)	Volume consommé (Hm ³ /an)
E.N.I.C.A.B	Forage de l'unité	2.8	0.08830
ELATEX	Forage de l'unité	22.2	0.70009
NAFTAL	Réseau d'AEP	0.2	0.00630
AGLO-Béton	Réseau d'AEP	0.3	0.00946
Carreau- grani	/	1.7	0.05361
LES MOULINS DES ZIBANS	Réseau d'AEP	0.62	0.01955
Total	/	27.2	0.87731

Source DHW de Biskra 1986.

Cette consommation est croissante en raison du développement socio-économique important que vit la wilaya surtout dans les régions à grande population telles que Biskra.

Les ressources en eau des unités industrielles proviennent essentiellement des forages.

En effet, Les volumes calculés sont relatifs à la consommation en eau de l'année 1986 et pour les horizons avenir on peut faire une projection des besoins en eau pour l'industrie avec une augmentation de 10% des besoins actuels pour chaque cinq années on aboutira aux résultats mentionnés sur le tableau qui suit tableau.73 et la figure (79).

Tableau 73 : Evolution des besoins en eaux industrielles de la wilaya de Biskra.

Année	1986	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Besoins Industrie (Hm ³ /an)	0.90	0.96	1.14	1.23	1.31	1.40	1.50	1.56	1.66

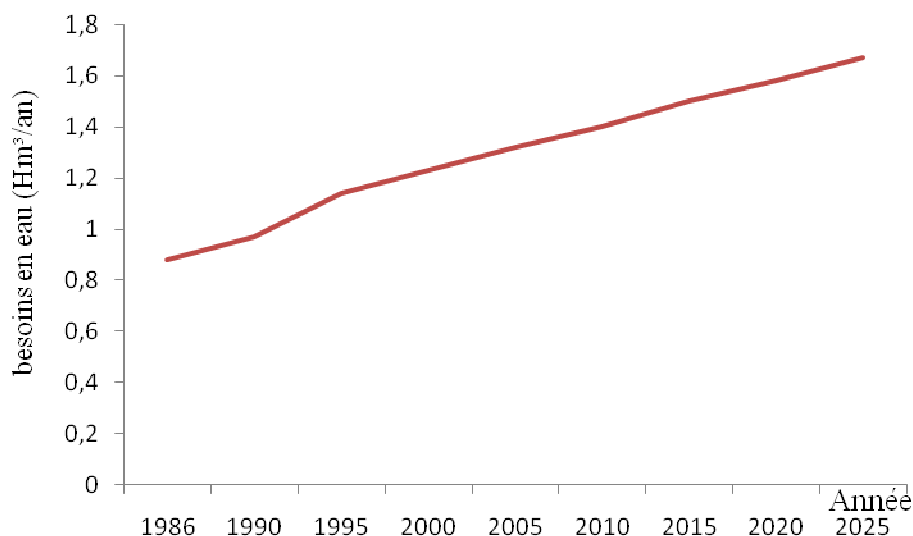


Fig.79: évolution dans le temps de la demande en eau (Hm³/an) pour l'industrie dans la wilaya de Biskra.

Le tissu industriel est relativement faible, la région d'étude enregistre 06 unités industrielles réparties sur 04 communes situées à l'intérieur de la wilaya. Les besoins en eau de ces unités sont estimés à près de 1.66 Hm³/an.

Le volume d'eau utilisé par l'industrie sont estimé à 0.75hm³/an et qui répond aux besoins actuelles provient de réseau urbain et de 02 forages particuliers. Les unités industrielles situées dans les communes de Biskra, Tolga et El Kantara consomment un très peu d'eau et ce, en raison de sa vocation essentiellement agricoles. Compte tenu du faible tissu industriel de la région d'étude, la demande en eau est entièrement satisfaite

A la lecture des chiffres extraits des différents dépouillements et des constatations faites, il ressort que l'alimentation en eau potable et industrielle des populations de la wilaya de Biskra, est satisfaite uniquement à partir des eaux souterraines. Les eaux de surfaces sont utilisées principalement à l'irrigation des périmètres et des grandes surfaces en épandage en période de crue.

2-4-Bilan globale des besoins :

Il est nécessaire d'évaluer et recenser le volume global (tableau 74 et Fig. 80) utilisé par l'ensemble des secteurs utilisateurs (alimentation en eau potable, alimentation en eau d'irrigation et eau industrielle).

Tableau 74 : Evolution des besoins globaux en eau dans le temps de la wilaya de Biskra.

Année	A.E.P (Hm ³ /an)	A.E.I.R(Hm ³ /an)	A.E.I (Hm ³ /an)	Volume total (Hm ³ /an)
2005	15,8946	757,281	1.3158	774.49
2010	18,9692	1031,611	1.4035	1051.98
2015	22,5734	1305,941	1.4912	1330.00
2020	26,8623	1580,271	1.5789	1608.71
2025	31,9661	1854,601	1.6666	1888.23

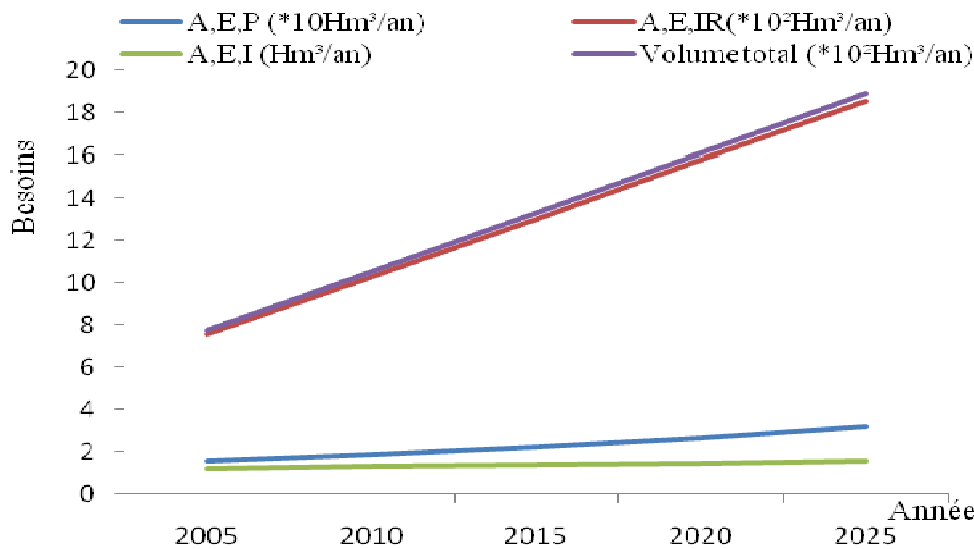


Fig. 80: Evolution des besoins globaux dans le temps de la wilaya de Biskra.

Actuellement, les volumes produits ne satisfont guère la demande de tous les secteurs confondus. Dépassant largement l'offre à moyen terme, un déficit plus accru sera engendré par la forte demande en eau d'où l'impératif d'une exploitation rationnelle des ressources avec tout ce que cela suppose comme investissement.

Les ressources en eau et, plus particulièrement, les eaux souterraines sont encore mal exploitées. Aucun captage ne fait l'objet d'une protection réglementaire destinée à limiter les impacts négatifs des activités humaines sur la qualité de l'eau. Il est évident que les réserves actuelles ne seront plus une solution pour les besoins sans cesse croissants en eau, ce qui impose la mise en place d'une nouvelle stratégie de gestion des ressources plus fiable et plus efficace.

3-Taux de satisfaction :

Le taux de satisfaction est un paramètre indicatif de la situation en Alimentation en Eau des agglomérations ; il évalue le taux de réponse aux exigences du consommateur. Il est représenté par le rapport du volume demandé sur le volume distribué (Il est calculé en fonction des débits d'exploitation des forages).

Les volumes soutirés à partir des forages dans les différentes communes situées à l'intérieur de la wilaya de Biskra sont présentés dans le chapitre précédent.

3-1:Taux de satisfaction en eau potable:

L'absence d'une normalisation nationale de la dotation pour la détermination des besoins en eau, leur estimation est faite par rapport à l'importance de la population, l'hypothèse suivante a été adaptée (ANAT 2003) :

*262 L/J/hab. en zone urbaine

*226 L/J/hab. en zone rurale

Les résultats du calcul de taux de satisfaction est résumé dans le tableau 75.

Tableau 75 : Taux de satisfaction (%) en eau potable de l'année 2008.

Daïra	Besoin en 2008	distribution en 2008	Taux de
--------------	-----------------------	-----------------------------	----------------

	(Hm ³ /an)	(Hm ³ /an)	satisfaction en %
Djemourah	1.11	0.19	17.27
El Kantara	0.91	0.18	19.78
El Outaya	0.56	2.74	489.29
Sidi Khaled	3.33	13.3	399.4
Tolga	5.04	1.21	24
Foughala	1.19	0.7	58.82
O.Djellal	4.45	10.55	237.08
Zribet.O	1.68	5.30	315.47
Sidi Okba	2.27	14.38	633.48
Ourellal	1.99	1.8	90.45
M'Chounech	0.60	2.88	480
Biskra	13.94	6.4	45.91

Trois états de satisfaction sont distingués au niveau de la wilaya de Biskra, à savoir:

Des populations suralimentées ayant des taux très considérables : exemple 633.48% pour Sidi Okba, 399.4% pour Sidi Khaled.

Des populations moyennement satisfaites de 40 à 90% pour Ourellal, Biskra, Foughala.

Des Populations accusant un énorme déficit en eau avec un taux inférieur à 25%, tels que Tolga, El Kantara Djemourah,

3-2-Taux de satisfaction en eau d'irrigation :

Le tableau ci-dessous permet de préciser par Daïra l'état de satisfaction en eau d'irrigation.

Tableau 76 : Taux de satisfaction (%) en eau d'irrigation de l'année 2008.

Daïra	Besoin en A.E.IR 2008		Taux de satisfaction en %
	(Hm ³ /an) pour 7000 m ³ /ha/an	distribution en 2008 (Hm ³ /an)	
Djemourah	47.31	0.19	0.4
El Kantara	19.37	0.47	2.42
El Outaya	7.74	10.43	134.75
Sidi Khaled	35.78	23.21	64.87
Tolga	31.54	73.36	232.6
Foughala	9.4	27.98	297.66
O.Djellal	73.64	114.4	155.35
Zribet.O	138.92	63.09	45.41
Sidi Okba	30.23	115.66	382.60
Ourellal	184.28	55.23	29.97
M'Chounech	59.31	0.7	1.18
Biskra	129.52	20.85	16.10

D'après le tableau 75, on note toujours trois états de taux de satisfaction en eau d'irrigation :

- Régions suralimenté en eau d'irrigation exemple El Outaya où l'irrigation des périmètres agricoles est assurée par le barrage des Fontaines des Gazelles.
- Régions moyennement satisfaites de 30 à 65% pour Sidi Khaled et Zribet El Oued.
- Région accusant un énorme déficit en eau (Biskra) avec un taux inférieur à 20%

Notons que les trois agglomérations (Djemourah et M'Chounech et El Kantara) sont au plus bas niveau de desserte en eau d'irrigation.

Pour combler le déficit de certaines agglomérations et satisfaire la demande en eau à moyen et long terme, la solution de transfert peut être envisagée et ce, à la condition de s'assurer que les régions d'emprunt disposent d'assez de ressources pour horizons lointains.

4-Comparaison entre l'offre et la demande en eau :

A la lecture des chiffres extraits des différents dépouillements et des constatations faites, il ressort que l'alimentation en eau potable et industrielle des populations de la wilaya de Biskra, est satisfaite uniquement à partir des eaux souterraines. Les eaux de surfaces sont utilisées principalement à l'irrigation des périmètres et des grandes surfaces en épandage en période de crue.

Cette constatation a permis aussi, de faire ressortir les limites des ouvrages de mobilisation des eaux de surface, l'intérêt qui sera accordé pour leur renforcement et aussi la nécessité de construire d'autres barrages de différentes catégories.

Les eaux de surfaces, dont la disponibilité est aléatoire (conditions climatiques) ne peuvent à elles seules satisfaire la demande en eau potable et industrielle de la wilaya, elles peuvent compléter le captage des eaux souterraines dans les zones où il y a un déficit.

Ces eaux superficielles, si elles sont mobilisées, peuvent satisfaire dans une large mesure l'irrigation des palmeraies et des périmètres en exploitation ou projetés.

Cette ressource naturelle permet aussi, la fixation des populations rurales et génère des revenus substantiels à ces dernières.

5-Conclusion :

Le volume d'eau estimé des principales nappes souterraines est de 894,70 Hm³/an pour un volume distribué de 565.66 Hm³/an avec une dotation moyenne de 150 l/j/hab. le taux de perte (sur un réseau) est estimé à 20 à 40%.

La demande en eau dans la wilaya de Biskra est en augmentation constante pour tous les secteurs (AEP, irrigation et industrie).

D'après les études faites auparavant, à l'horizon 2025, tous les secteurs vont doubler leurs besoins ;

- ✓ Pour le secteur de l'industrie, les besoins sont estimés à 1.4035 Hm³/an.
- ✓ Pour l'agriculture, ils passent de 757,281 Hm³/an à 1854,601 Hm³/an.
- ✓ Pour l'alimentation en eau potable, ils passent de 19 Hm³/an à près de 32 Hm³/an. Cette demande augmente avec l'accroissement de la population.

La croissance des besoins en eau pour les horizons 2015, 2020 et 2025 avec des volumes respectivement 1330, 1608.71 et 1888.23 Hm³ impose une gestion rationnelle de la ressource, un meilleur entretien des infrastructures existantes et une investigation pour éventuellement d'autres ressources.

Chapitre -VI-
Hydrochimie des eaux

1^{ère} partie: Hydrochimie des eaux.

L'eau, au contact des roches, se charge en divers éléments, ces derniers vont influencer sa composition chimique. Par ailleurs certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, d'autres doivent leurs présences aux écoulements qui les ramènent d'autres régions.

L'étude de la chimie des eaux, vient en complément à toute étude hydrogéologique, elle permet d'expliquer les mécanismes qui régissent la qualité des eaux. Elle apporte de nombreuses informations sur les échanges qui s'effectuent entre l'aquifère et son environnement c'est-à-dire sur la nature de l'encaissant, sur les zones d'alimentation et de circulation, ...

La connaissance de la qualité des eaux est un paramètre important surtout lors de la prise de décision concernant l'implantation et la destination d'un forage.

La chimie des eaux est très importante pour la région d'étude, eu égard au contexte particulièrement difficile où interfère l'agriculture grosse consommatrice d'eau et un climat aride caractérisé par une faiblesse des précipitations.

1-Introduction :

Pour réaliser notre travail, nous disposons des analyses chimiques réalisées en 2006 et 2008. La première étape a été consacrée à la détermination des caractéristiques des eaux, cette dernière a été faite à partir des résultats des cent soixante quatre échantillons prélevés et analysés (164) en 2008. Les échantillons prélevés et analysés se rapportent aux forages situés à (fig.81) Biskra, Tolga et Sidi Okba. Les eaux de ces forages sont destinées à l'AEP et l'irrigation.

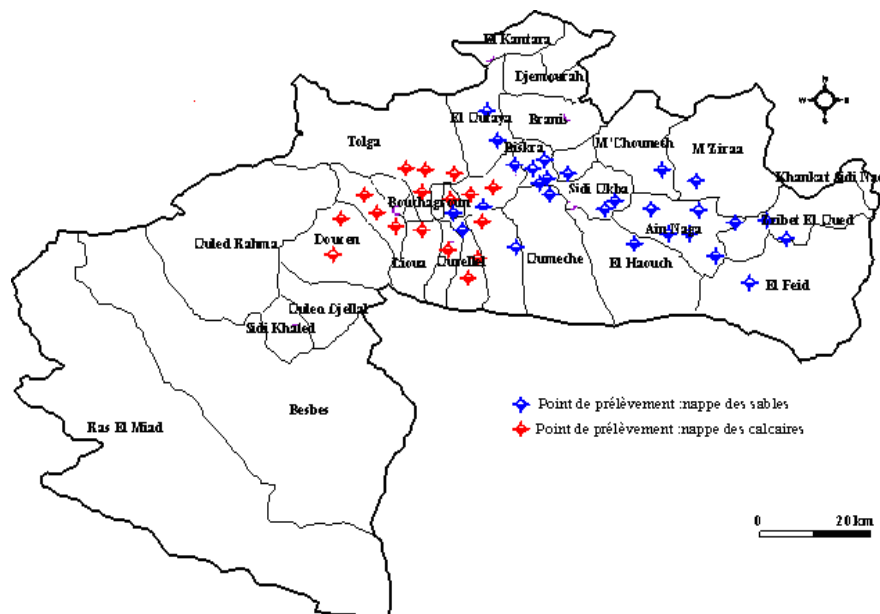


Fig.81 : Carte d'inventaire des points prélevés et analysés.

Les analyses ont été réalisées au laboratoire de chimie des eaux de l'ANRH Ouargla.

2-Fiabilité des analyses :

Le calcul de la balance ionique permet le calcul de l'erreur, selon la formule :

$$BI = (\sum c - \sum a / \sum c + \sum a) * 100.$$

Pour une erreur de 10%, nous déduisons que l'analyse est bonne.

Le 10% se justifie par le fait que les eaux de la région sont très chargées et par le temps mis pour la réalisation de l'analyse.

3-Interprétations des résultats:

3-1:Les principaux paramètres physiques :

3-1-1:La température de l'eau:

Les valeurs de la température observées sont résumées dans le tableau 77.

Tableau 77 : Valeurs de la température des eaux de la région de Biskra.

Paramètres statistiques		Nappe	
		Nappe des sables	Nappe des calcaires
Température	Max	28.4	29.1
	Moy	21.24	26.32
	Min	13.4	22.2
	Ecart type	4.56	2.42

Le tableau 77, montre une variation significative de la température entre les deux nappes. Cette variation est de l'ordre d'environ 5 °c.

L'observation de la fig.82, montre une variation de température d'un point à un autre. Concernant la nappe des sables, elle oscille entre 13.4 et 28.4°C, les plus faibles températures sont mesurées en hiver et les plus fortes températures caractérisent l'été. En revanche pour la nappe des calcaires la température varie entre 22.2 et 29.1°C. On remarque que les eaux de la nappe des calcaires sont plus chaudes que celles de la nappe des sables. Vu leurs profondeurs, ces eaux restent à l'abri de toutes influences externes (saisonniers).

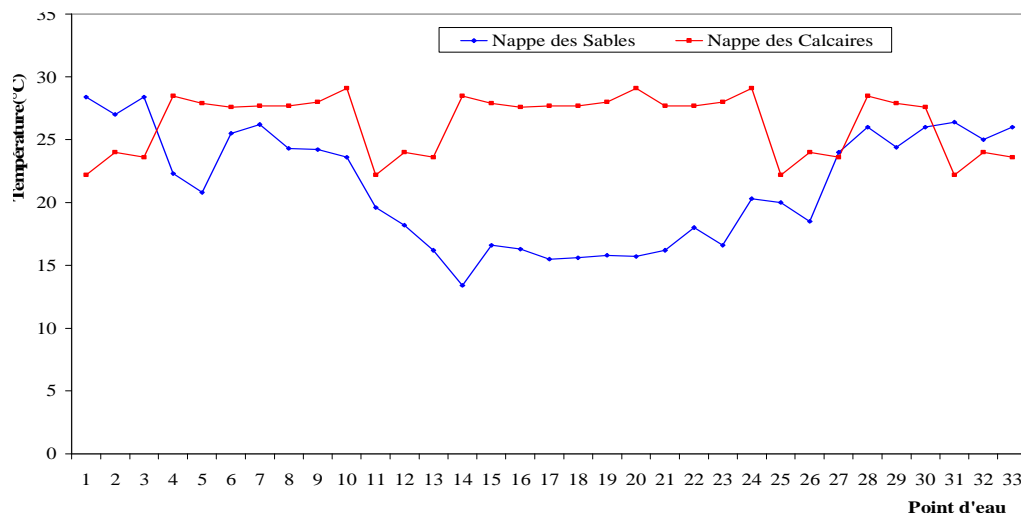


Fig.82 : Variations des températures des eaux des deux nappes.

3-1-2:La dureté total (T.H (°F)):

Elle exprime la teneur de l'eau en sel de calcium et de magnésium. Dans le secteur d'étude, la dureté totale oscille entre 67 et 121°F pour la nappe des calcaires et entre 100 et 185°F pour celle des sables.

Tous les points d'eau analysés présentent des eaux très dures (TH> 30°F).

3-1-3: La conductivité électrique:

La conductivité électrique varie d'une nappe à l'autre. Ainsi pour les eaux des forages captant la nappe des sables, elle varie entre 0.91 et 7.63mS/cm avec une valeur médiane de 5.02 ± 1.5 mS/cm, en ce qui concerne la nappe des calcaires, elle est comprise entre 0.66 et 8.22mS/cm (médiane = 4.67 ± 1.17 mS/cm). Ceci montre une minéralisation élevée.

Tableau 78: Valeurs des conductivités des eaux de la région de Biskra.

Paramètres statistiques		Nappe	
		Nappe des sables	Nappe des calcaires
Conductivité mS/cm	Max	7.63	8.22
	Moy	5.02	4.67
	Min	0.91	0.66
	Ecart type	1.50	1.17

En comparant, les eaux des nappes aux normes de minéralisations (tableau 79), on remarque, que les eaux des nappes étudiées sont comprises entre les tranches faibles à très élevées, dans ce cas la conductivité oscille entre 450 à plus de 3000 % μ S/cm.

Tableau 79: Classification de degré de minéralisation à partir de la conductivité électrique.

Conductivité électrique (μ S/cm)	Degré de minéralisation	Pourcentage des échantillons (%)	
		Nappe des sables	Nappe des calcaires
<450	Très faible	0	0
450-750	Faible	12.38	1.37
750-1500	Moyen	17.25	15.07
1500-2300	Moyennement élevé	7.51	42.47
2300-3000	Elevée	12.86	23.29
> 3000	Très élevée	50	17.80

La figure 83, montre la variation de la conductivité au niveau des deux nappes. Concernant la nappe des sables, la conductivité varie entre 1 et 7 mS/cm. Les plus valeurs faibles se situent au niveau de la zone de M'zirâa, Zeribet El Oued et Sidi Okba. Les plus fortes valeurs se situent au niveau de chott Melghrir et les sebkhas (exemple sebkha d'Ain Benoui) .Cette répartition est conforme au schéma de fonctionnement hydrodynamique donné dans le chapitre hydrogéologie. La conductivité est plus influencée, par les évaporites que par les carbonates .Elle est associée, le plus souvent, à des pH légèrement alcalins ($7,20 < \text{pH} < 8$).

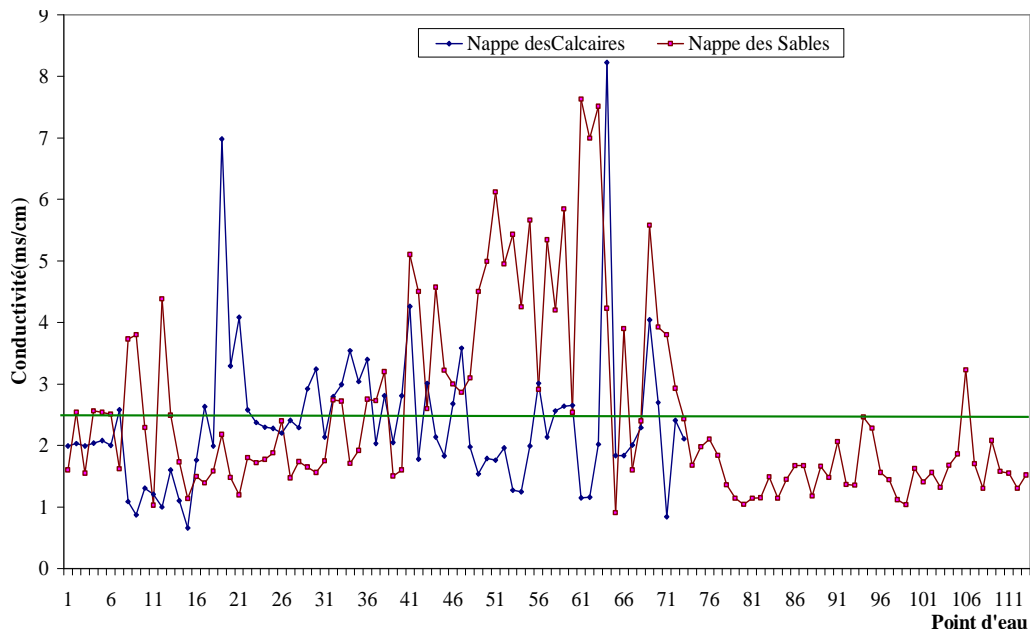


Fig.83: Distribution des conductivités des eaux des nappes étudiées.

Concernant la nappe des calcaires, la conductivité varie entre 0.5 et 7.5 mS/cm (fig.83). Les plus faibles valeurs sont enregistrées au niveau de la zone située au Nord/Ouest de Doucen. Ceci explique la bonne qualité d'eau de cette zone. Les fortes valeurs, se rapportent aux deux communes de Tolga et de Doucen.

D'une manière générale, la majorité des échantillons présentent une conductivité dépassant 2.5 mS/cm, donc les eaux de la nappe des sables et ceux des calcaires sont caractérisée par une salinité élevée. Cette dernière contamine les sols par le biais de l'irrigation, ce qui nécessite un bon drainage.

3-1-4- Résidus secs :

Pour l'utilisation des eaux de la région en agriculture, nous avons classé les eaux en fonction du résidu sec. La classification adoptée tableau 80 est basée sur les classes suivantes

a: nappe des sables : 113 échantillons ont été analysés.

-RS<1.5 g/l : 3/ 113 échantillons (2.65%), sont de bonne qualité, donc utilisables sans précautions

-1.5<RS<3 g/l: 51, échantillons (45,15%), présentent une qualité moyenne vis-à-vis de l'irrigation.

-3<RS<5 g/l: 38, échantillons (33.62%), sont des eaux à utiliser avec précautions.

-5<RS<7 g/l: 21, échantillons (18.58%), sont des eaux saumâtres donc très peu utilisables.

b-nappe des calcaires: 75 échantillons ont été analysés.

-RS<1.5 g/l : 3/75 soit 4% des échantillons, sont bonne qualité et ne posent aucun problème.

-1.5<RS<3 g/l: 42, échantillons (56%), sont des eaux de qualité moyenne mais utilisables pour l'irrigation

-3<RS<5 g/l: 25, échantillons (33.33%), sont utilisables avec quelques précautions.

-5<RS<7 g/l: 5, échantillons (6.67 %), présentent des eaux saumâtres, souvent inutilisables.

Tableau 80: Classes du Résidu sec des eaux des nappes(2008).

Résidu Sec (g/l)	Pourcentage des échantillons (%)	
	Nappe des sables	Nappe des calcaires
RS<1.5	2.65	4

1.5<RS<3	45.15	56
3<RS<5	33.62	33.33
5<RS<7	18.58	6.67

On remarque selon la classification adoptée que, les eaux des nappes étudiées, sont dans leurs globalités utilisables pour l'irrigation (nappes des sables 48 %, pour la nappe des calcaires 60%). Nous remarquons qu'environ 34 % des eaux des deux nappes restent utilisables mais certaines précautions doivent être prises au préalable. Parmi ces conditions, nous devons connaître le seuil de tolérance à la salinité des plantes à cultiver, la nature du sol et la réalisation d'un bon drainage.

Nous remarquons que 18.5% des eaux de la nappe des sables sont saumâtres, ce qui reste considérable comparativement à la nappe des calcaires (6.7%). Ces eaux sont souvent perdues pour l'irrigation sauf dans le cas des plantes très tolérantes en sel, comme le palmier, qui peu absorber une eau dont la conductivité peut dépasser 10 000 $\mu\text{s/cm}$ (in Todd 1980).

Le tableau suivant 81, récapitule les résultats obtenus.

Tableau 81: Statistique élémentaire : Résidu sec des eaux des nappes.

Paramètres statistiques		Nappe			
		Nappe des sables		Nappe des calcaires	
		Année (2000)	Année (2008)	Année (2000)	Année (2008)
Résidu sec (g/l)	Max	5.5	8.59	4.7	9.05
	Moy	2.29	3.48	1.97	6.28
	Min	0.22	1.32	0.67	1.3
	Ecart type	1.04	1.5	1.97	1.44

L'observation du précédent tableau, montre une certaine stabilité du RS, au niveau de la nappe des sables (de 2.29 à 3.48g/l), par contre on note une grande variation au niveau de la nappe des calcaires (de 1.97 à 6.28g/l).

Le graphe réalisé, montrant la variation du résidu sec au niveau de la nappe des sables (fig.84), montre un léger accroissement du RS entre les deux périodes considérées. Cet accroissement est particulièrement remarquable entre les puits P6 et P51.

-Nous remarquons au niveau du point P6, situé à Sidi Okba, le RS augmente de 2.9g/l de l'an 2000 à 8.6g/l à l'an 2008;

-Dans la partie Nord/Est de la commune d'El Haouch (P51), le RS passe de 2.5 à 7.5g/l sur une période de 8 ans (fig.84). Par contre, la zone située au Nord- Ouest de Sidi Okba et de M'Ziraa et l'écart du résidu sec n'est pas très important.

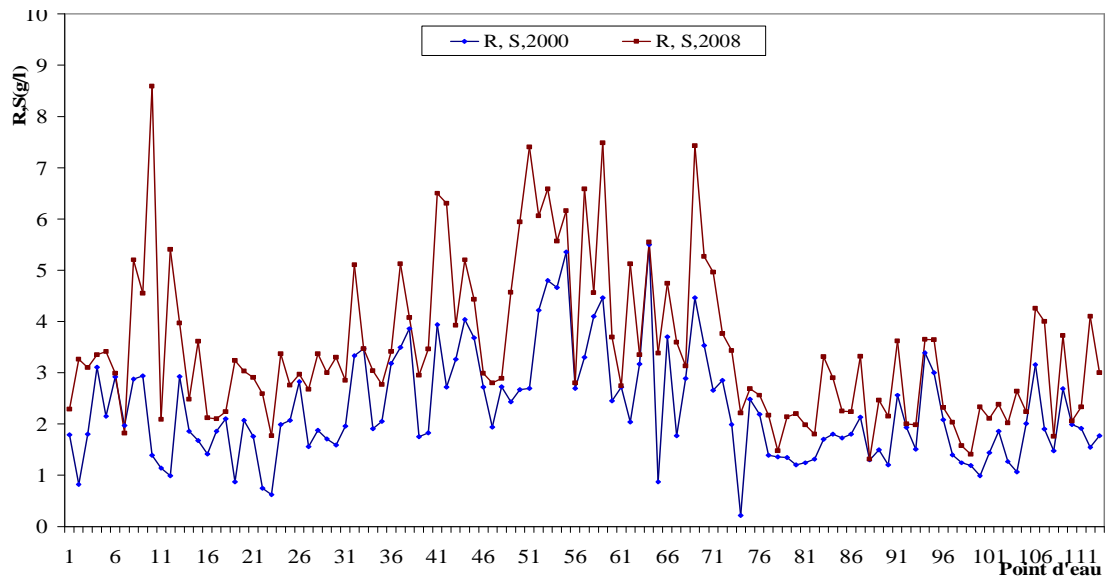


Fig. 84: Variations spatiales du résidu sec de la nappe des sables.

Le graphe établit, montrant la variation du résidu sec au niveau de la nappe des calcaires, montre une variation importante du RS, entre les deux périodes considérées (fig. 85). Cette variation est particulièrement importante au niveau des puits 4 à 19 situés à Oumeche, les puits 20 à 46, situés à Tolga et les puits 64 à 70 de Doucen où les valeurs de RS s'accroît respectivement de 3 à 6.8g/l, de 3 à 8.5 g/l et de 1.5 à 9g/l.

La zone située au Nord/Ouest de Doucen présente les valeurs les plus faibles avec un écart entre les deux périodes de l'ordre de 0.5 g/l, ce qui montre que ces eaux sont de bonne qualité.

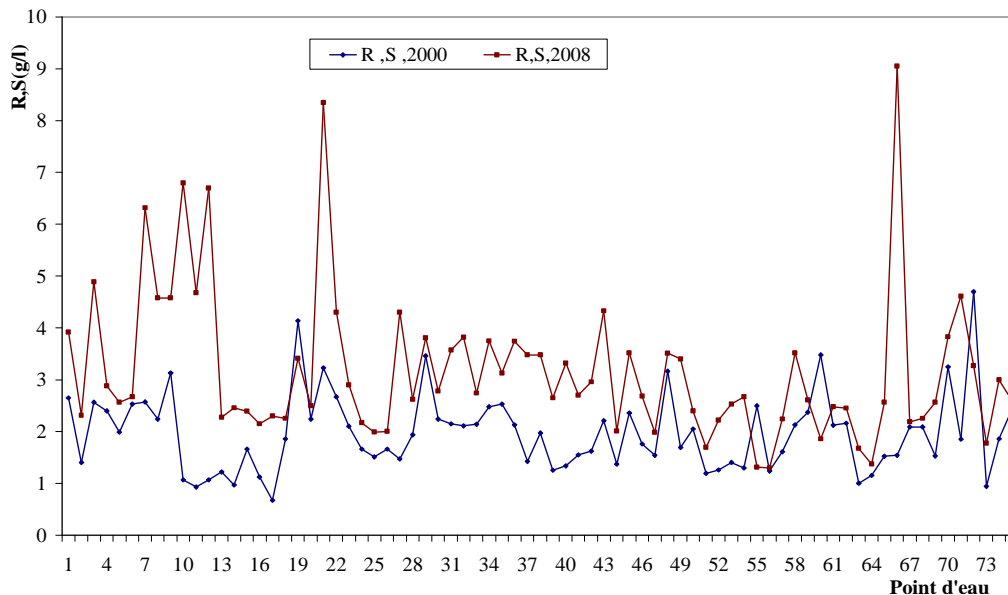


Fig.85: Distribution spatiale du résidu sec de la nappe des calcaires

La variation du résidu sec, suit celle de la conductivité, elle serait liée à l'état de sollicitation de la nappe du complexe terminale (nappe des sables et des calcaires). Le nombre d'ouvrage d'exploitation est passé de 351 en 2000 à 5705 en 2008. Cette augmentation a généré une surexploitation des nappes. De ce fait le retour des eaux d'irrigation transitant par le sol contenu dans des formations gypsifères serait devenu plus chargé en sels, entraînant un accroissement de la minéralisation. En effet les sels contenus

dans les eaux vont percoler vers les nappes entraînant une augmentation de la salinité des eaux. Par ailleurs le mode d'exploitation actuelle a généré une surexploitation de la ressource, confirmée par le nombre élevé d'ouvrages abandonnés et par la profondeur (augmentation) des ouvrages captant actuellement les nappes.

En observation les valeurs de la minéralisation des eaux de la nappe des calcaires, deux familles se dégagent :

-Les eaux dont le résidu sec est inférieur à 1.5g/l, ces dernières sont de bonne qualité, elles sont localisées sur la bordure occidentale de la zone d'étude. Dans cette zone la nappe est contenue dans des calcaires marneux.

-Les eaux dont le RS > 1.5 g/l, ces eaux sont issues des ouvrages localisés dans la partie orientale, particulièrement les régions, d'Oumeche, d'Ourellal, de Tolga, de Doucen et de Chott Melghrir.

3-2-Statistique élémentaire :

Le calcul de la moyenne et de l'écart type, pour chaque élément, permet de déterminer la relation entre les éléments. Appliquée aux 42 échantillons des eaux prélevées à partir des points d'eau captant l'aquifère des sables et des calcaires de la région de Biskra (tableau 82 et fig.86), on remarque que les sulfates, le magnésium et le sodium présentent les valeurs moyennes les plus élevées.

Tableau 82 : Caractéristiques statistiques des éléments chimique majeurs.

Paramètre meq/l	Ca		Mg		Na		K		Cl		HCO ₃		SO ₄	
	Nappe des sables	Nappe des calcaires	Nappe des sables	Nappe des calcaires	Nappe des sables	Nappe des calcaires	Nappe des sables	Nappe des calcaires	Nappe des sables	Nappe des calcaires	Nappe des sables	Nappe des calcaires	Nappe des sables	Nappe des calcaires
Moy	9.12	15.15	14.29	12.22	19.28	11.62	2.91	2.99	16.86	9.89	2.31	2.90	22.13	25.18
Ecart type	2.8	9.82	6.75	4.56	9.47	8.25	4.93	3.21	7.35	5.95	0.66	0.99	6.91	13.78
Min	6.7	4.4	2.5	5.41	4.35	5.39	0.46	0.44	5.14	3.22	1.2	1.66	6.75	3.14
Max	18.4	41	27.41	22	39.13	30.43	21.79	10.25	32.85	27.71	4.29	4.84	34.67	57.5

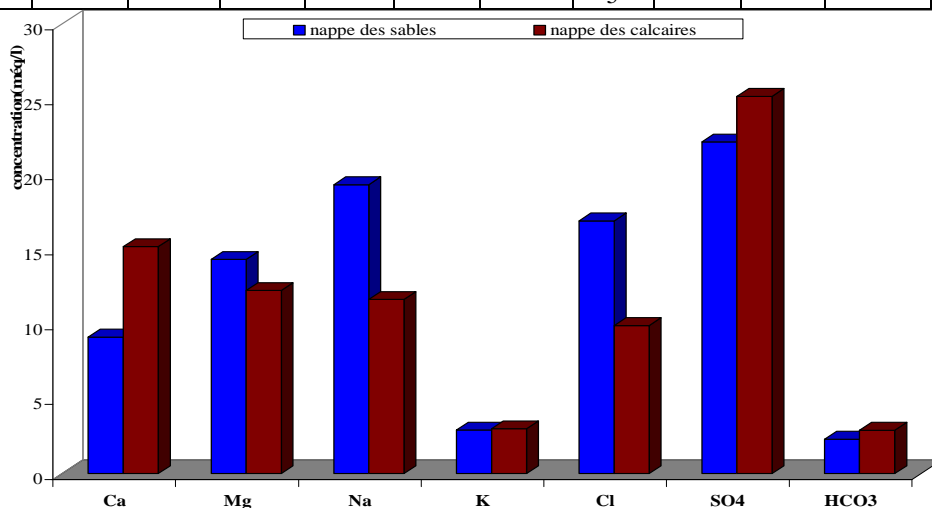


Fig.86: Moyennes des éléments majeurs de la nappe des sables et celle des calcaires.

4 -Faciès chimique des eaux : il détermine les éléments dominant dans l'eau analysée.

4-1:Apports des rapports : $Mg^{++}/Na^+-SO_4^{--}/Cl^-$:

A partir des valeurs des rapports, nous avons déterminé trois familles au niveau de chaque nappe. Chaque famille correspond à un faciès chimique.

Pour la nappe des sables (fig.87), on remarque que les eaux sont soit sulfatées sodiques soit sulfatées magnésiennes. Par ailleurs le faciès chloruré sodique n'est représenté que par un seul point.

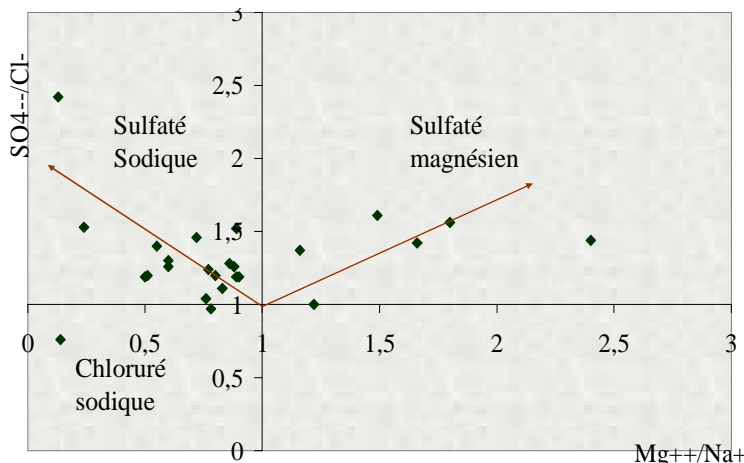


Fig.87. Faciès chimiques de la nappe des sables.

Pour les eaux de la nappe des calcaires (fig.88), on retrouve les mêmes faciès mais au niveau de cette nappe les eaux sulfatées magnésiennes dominant par rapport aux eaux sulfatées sodiques. Les eaux chlorurées sodiques sont toujours représentées par un seul échantillon.

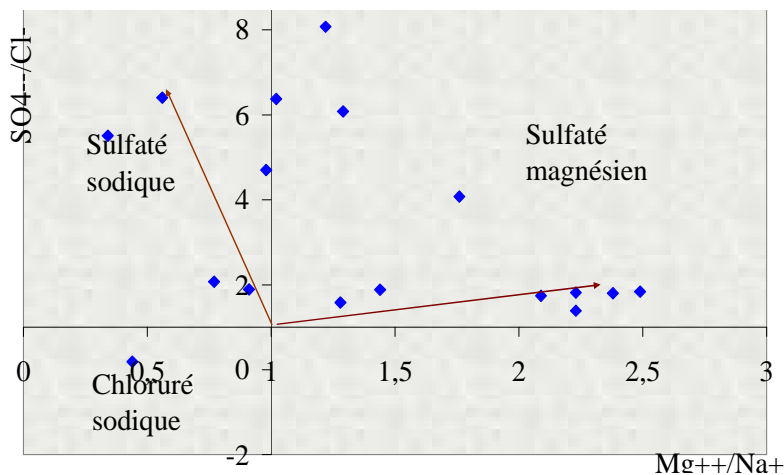


Fig.88. Faciès chimiques de la nappe des calcaires.

4-2:Les faciès secondaires :

a-nappes des sables :

- Sulfatée sodique : $r SO_4 > r Cl > r HCO_3$ & $r Na > r Mg > r Ca$.
- Sulfatée magnésienne : $r SO_4 > r Cl > r HCO_3$ & $r Mg > r Na > r Ca$
- Sulfaté calcique: $r SO_4 > r Cl > r HCO_3$ & $r Ca > r Mg > r Na$.

Au niveau de cette nappe le faciès secondaire est chloruré. Les chlorures viennent en seconde position après les sulfates.

b-nappe des calcaires:

- Sulfatée magnésienne : $r SO_4 > r Cl > r HCO_3$ & $r Mg > r Na > r Ca$

- Sulfaté calcique: $r SO_4 > r Cl > r HCO_3$ & $r Ca > r Mg > r Na$.
- Sulfatée sodique: $r SO_4 > r Cl > r HCO_3$ & $r Na > r Mg > r Ca$.
- Chlorurée sodique: $r Cl > r SO_4 > r HCO_3$ & $r Na > r Mg > r Ca$

Au niveau de cette nappe le faciès secondaire est bicarbonaté. Les bicarbonates viennent en seconde position après les sulfates.

Ces faciès caractérisent des eaux typiques du Sahara où les sulfates dominent dans la nappe des calcaires.

4-3-Confirmation par le diagramme de Piper : Ce diagramme permet de dégager les familles des eaux.

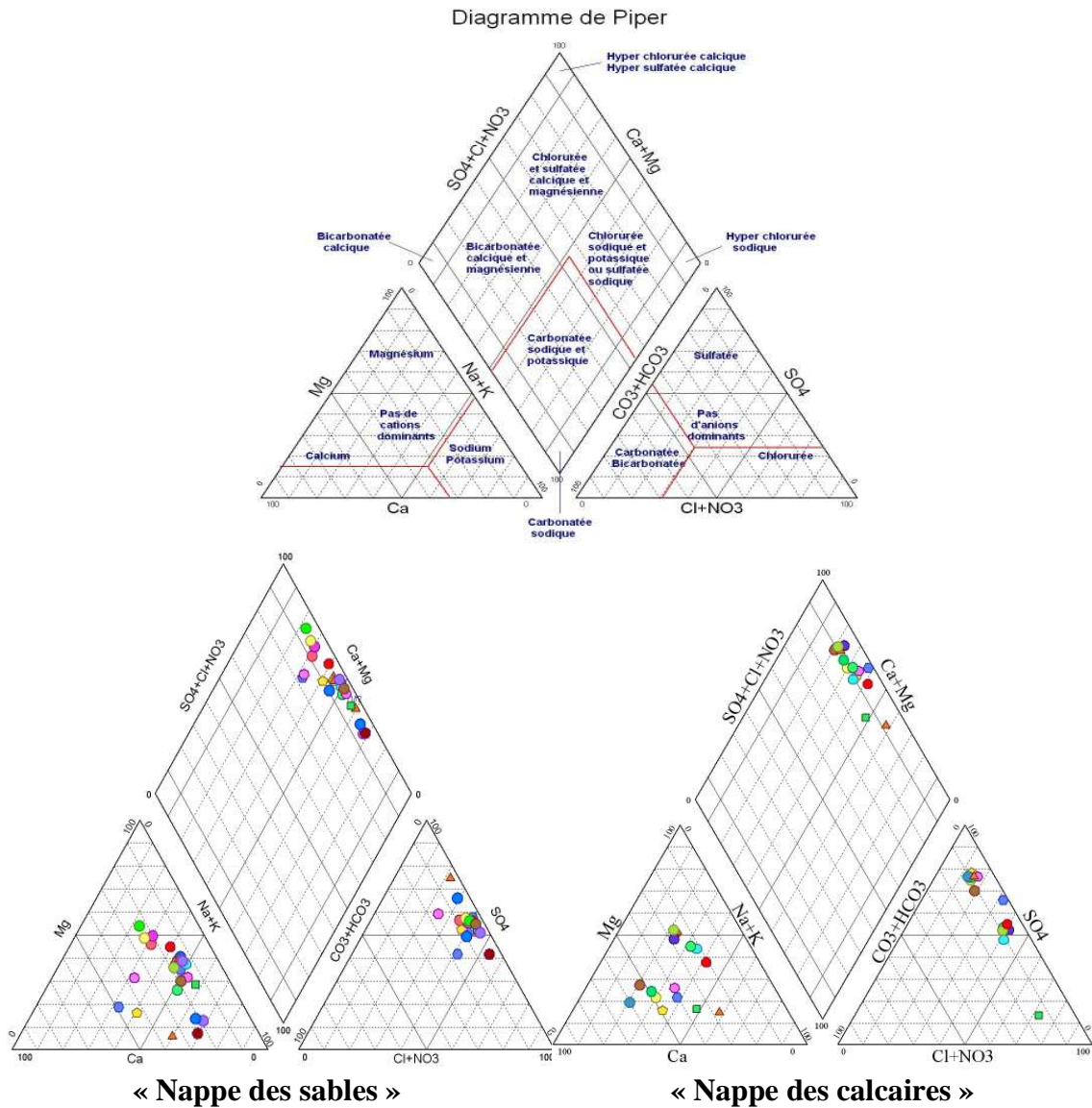


Fig. 89 Diagramme de piper.

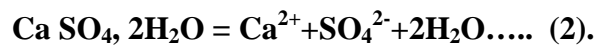
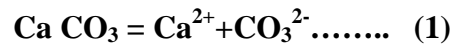
L'observation des diagrammes montre (fig.89) :

- Au niveau de la nappe des sables, la présence de deux familles d'eau, la première caractérise, les eaux sulfatées magnésiennes calciques et la seconde indique la présence d'eau sulfatée sodique voire chlorurée sodique.
- Au niveau de la nappe des calcaire, on a une seule famille d'eau, c'est celle des eaux sulfatées magnésiennes à calciques.

5: Teneurs maximales admissible pour l'A.E.P:

5-1-Le calcium Ca⁺⁺ :

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO₄).



Ils n'existent pas de limites pour la teneur en calcium, mais une eau dure présente de nombreux inconvénients. L'O.M.S donne des limites pour le Ca⁺⁺ de 100 à 200 mg/l.

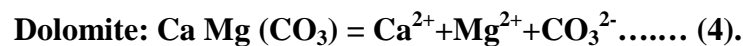
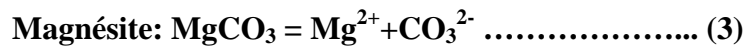
Les résultats de mesure obtenus au laboratoire montrent que tous les points d'eau de la plaine (eaux de la nappe du complexe terminal) présentent des concentrations supérieures à 100 mg/l, elles varient de 134 et 368 mg/l au niveau des forages implantés dans la nappe des sables (moyenne 187.77 ± 60.96 mg/l) et de 340 à 820 mg/l (moyenne 447.55 ± 164.01 mg/l) au niveau des eaux de la nappe des calcaires.

Ce constat, nous permet de dire que les eaux de la nappe des sables restent dans les limites de potabilité par contre les eaux de la nappe des calcaires sont impropres à la consommation.

L'ion Ca⁺⁺, peu provenir soit de la dissolution des formations carbonatées (1) et la dissolution des formations gypseuses (2).

5-2- Le magnésium Mg⁺⁺ :

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).



Les teneurs en magnésium sont comprises entre 30 à 268 mg/l (moyenne 148.61 ± 78.67 mg/l) pour les eaux des sables et 65 à 264 mg/l (moyenne 133.22 ± 71.18 mg/l) pour ceux des calcaires.

L'évolution des teneurs est identique à celle du calcium, la comparaison des concentrations avec les normes de potabilité montre qu'une grande partie des points d'eau (91.67% nappe des sables) possède des teneurs supérieures à la norme de potabilité (50 mg/l).

5-3- Les Chlorures Cl⁻ et le sodium Na⁺ :

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des minéraux salifères.



La teneur moyenne en chlorures de la nappe des sables est de 550 ± 252.59 mg/l (minimum = 180 mg/l, maximum = 1150 mg/l). Pour celle des calcaires, cette teneur varie entre 113 et 970 51, mg/l (moyenne 323.22 ± 284.19 mg/l).

Dans le cas des eaux des nappes étudiées, nous remarquons que 74 % des points d'eau dépassent la norme de 250 mg/l.

Les teneurs du Sodium sont comprises entre (100 et 900 mg/l) pour la nappe des sables (moyenne 414.88 ± 216 mg/l) et de 124 à 700 mg/l (moyenne 341.33 ± 228.26 mg/l) pour les calcaires.

Les chlorures sont dangereux pour les personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires, mais en général des teneurs de 700mg/l de Na Cl ne présentent aucun inconvénient pour l'homme.

5-4-Le potassium K^+ :

Les résultats de mesure ont données des teneurs de l'ordre de (1 à 100mg/l), supérieures à la limite de potabilité (12mg/l) fixé par l'OMS.

Les concentrations en potassium sont comprises entre 2 et 850 mg/l pour les eaux des sables (moyenne 124 ± 231.28 mg/l), pour la nappe des calcaires, elles oscillent entre 68 et 400 mg/l (moyenne 193.55 ± 130.36 mg/l).

5-5.Les sulfates SO_4^{2-} :

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypsifères. Les teneurs déterminées sont comprises entre (324 et 1468 mg/l) avec une moyenne de (1011 ± 311 mg/l) pour les forages implantés dans la nappe des sables, par contre la nappe des calcaires montre des teneurs, dont la variabilité reste importante, les teneurs varient fortement de 151mg/l au niveau du forage 1 situé sur la route menant à Boussaâda à 2760 mg/l à Doucen (M27) durant la période d'étude (écart type : 803.55 mg/l).

Remarque : les concentrations observées, sont supérieures à la norme de potabilité (500mg/l pour les eaux souterraines). Cependant, certains points présentent des concentrations inférieures à la norme, c'est le cas du forage M6, d'El Hadjeb, dont la concentration en sulfates est de l'ordre de 151mg/l, ce point caractérise la nappe des sables. Au niveau de la nappe des calcaires, le forage P9, situé à M'Ziraa, présente une concentration de l'ordre de 324 mg/l.

5-6-Les bicarbonates HCO_3^- :

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires. Les teneurs en bicarbonates déterminées sur l'ensemble des points d'eaux analysés varient entre 73mg/l et 295 mg/l. Les forages à faibles concentrations se localisent dans la région d'El Outaya, c'est le cas du forage P15, captant la nappe des sables. Les plus fortes concentrations caractérisent la nappe des calcaires, c'est le cas du forage M19, situé à Foughala.

5-7-Les nitrates NO_3^- :

Ils 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.

Les teneurs en nitrates sont faibles et varient de 8 et 37 mg/l) au niveau des forages de la nappe des sables, elles oscillent entre (25 et 90 mg/l) au niveau de la nappe des calcaires. Nous remarquons que quelques points (M20 à Tolga), présentent des concentrations très élevées (90mg/l) sont impropres à la consommation.

5-8-Le Fluor F^- :

Le fluor étant l'élément le plus chimiquement réactif du tableau périodique, on ne le trouve pas naturellement sous son état élémentaire, mais plutôt sous forme de fluorure inorganique. Il pourra être

libre en solution, lié par des liaisons de coordination à des cations en solution, ou lié à une matrice minérale solide ou de fluorure organique. Les formes solides de fluorures qui sont susceptibles de se trouver dans les eaux naturelles sont la fluorine CaF_2 et la sellaïte MgF_2 . Lorsque le phosphore est présent dans le milieu, on peut aussi trouver la fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). Il est l'halogène le plus abondant des roches sédimentaires (Wedepohl, 1974). La fluorine et la fluorapatite des bassins phosphatés sont les principaux minéraux fluorurés de ces roches et en l'absence des phosphates, l'origine doit être recherchée au niveau du toit argileux des aquifères (Schoeller, 1948).

Les eaux du Sud Algérien contiennent du fluor, cet élément en quantité faible ou importante pose des problèmes de santé à la population locale. Ainsi en petite quantité il expose les enfants aux caries dentaires par contre en grandes quantités il entraîne des maladies osseuses tel que la fluorose osseuse.

Pour cela l'OMS en 1994, a fixé un plafond de 1.5 mg/l sur la base d'un taux de consommation quotidienne d'eau de 2 litres, pour un adulte de corpulence moyenne et d'un régime alimentaire contenant 0.2 à 0.5 mg de fluor. Cependant dans les régions du monde où se pose le problème de la fluorose, la concentration du fluor dans l'eau est de l'ordre de 4 à 5 mg/l. Elles se caractérisent par un climat chaud, ce qui entraîne une augmentation de l'ingestion quotidienne d'eau par habitant.

Les résultats des analyses réalisées tableau 83.

Tableau 83 : Teneur en fluore (F^-) dans les eaux de Biskra.

Nappe captée	Nom de forage	Teneur en F^- (mg/l)
Nappe des sables	M'Cid n°2	1.49
	El Alia Sud	1.33
	Jardin london	1.49
	F.Wilaya	1.48
Nappe des calcaires	Ouled Djellal	2.01
	Chaiba	2.63
	Doucen	2.94

Les teneurs en fluor (Cf. Tableau 83) observées au niveau la nappe du Complexe Terminal (sables du Miopliocène et calcaires d'Eocène inférieur) de la wilaya de Biskra, varient entre 1.33 et 2.94 mg/l. Les concentrations enregistrées dépassent dans leur totalité 1 mg/l. Les concentrations les plus élevées proviennent essentiellement des eaux de la nappe des calcaires où nous avons enregistré des concentrations de 2,01, 2.63 et 2.94 mg/l dans les forages Ouled Djellal, Chaiba et Doucen situés dans la zone Sud Ouest de la ville de Biskra.

On remarque la présence d'une concentration en fluor dépassant légèrement les normes dans les eaux de Biskra du fait que cet élément est présent dans les dattes, les aliments et le thé, il peut s'accumuler et présenter un danger pour la santé des habitants et en particulier la fluorose sachant que la norme acceptable est de 0,60 à 0,80 mg/l (Achour et Youcef, 2001).

Les résultats obtenus sont analogues à ceux déterminés par les méthodes potentiométriques (Biskra), (Achour, 1990 ; Tabouche 2004 et 2011, Guendouz et al, 2003).

Normes de l’OMS, 1994 : applications aux eaux des nappes étudiées.

Potabilité	RS (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	Na (mg/l)	Th °F	Fluor (mg/l)
Non potable	8000	7840	2034	1860	400	1.5
Potabilité momentanée	4000	1420	1152	920	100	
Potabilité permanente	<4000	<1420	<1152	<920	<100	

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau 84.

Tableau 84: Classe de potabilités des eaux des nappes étudiées (selon OMS, 1994).

Potabilité	Pourcentages des échantillons(%)	
	Nappe des sables	Nappe des calcaires
Non potable	/	11.76
Potabilité momentanée	94.44	82.36
Potabilité permanente	5.56	5.88

D’après les normes d’OMS, 1994, la majorité des eaux analysées de la nappe du complexe terminal appartiennent à la classe de potabilité momentanée (94.44% des eaux de la nappe des sables et 82.36% pour ceux des calcaires).

6: Aptitude des eaux à l’irrigation :

La zone d’étude étant à vocation agricole, sur la base des résultats des analyses chimiques réalisées, nous avons jugé utile de traiter de l’utilisation des eaux pour l’irrigation et des risques encourus par l’utilisation de ces eaux dans le domaine agricole. Partant du constat que les sels minéraux contenus dans l’eau ont des effets néfastes sur le sol et les plantes. En effet les sels en quantité, peuvent perturber le développement des plantes. Ces sels agissent sur le processus osmotique, en causant des réactions métaboliques, ils causent également des changements dans la structure du sol (sur sa perméabilité et son aération), affectant directement le développement de la plante (Person, 1978).

L’aptitude de l’eau à l’irrigation est fonction non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il devient donc impératif d’étudier les paramètres définissant les eaux destinées à l’irrigation; tel que :

- Salinité: contenu total en sel soluble.
- Sodium: proportion relative des cations sodium (Na+) par rapport aux autres.
- Alcalinité et Dureté: concentration d’anions Carbonate (CO₃) et bicarbonate.
- pH de l’eau.

Les deux premiers critères sont très importants, car un excès de sel baisse la perméabilité du sol empêchant ainsi le développement des plantes. Ce qui provoque une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d’humidité, les plants flétrissent parce que les racines n’absorbent pas suffisamment d’eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

6-1: Risque de sodicité et de salinité

6-1-1: risque de Salinité :

6-1-1-1: Conductivité :

Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- Si la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation;
- Si la conductivité varie entre 700 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne;
- Si la conductivité est supérieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

Appliquée aux eaux de la région, nous remarquons (Cf. tableau 85) que la majorité des points d'eau exigent une restriction légère à modérée avec 74.34 (nappe des sables) et 80.82% (nappe des calcaires). Le reste des points appartient à la zone restriction forte, avec 25.66% pour la nappe des sables et 17.80% pour la nappe des calcaires.

Tableau 85: Convenance à l'irrigation des eaux des nappes de la région selon la conductivité.

Restriction pour l'irrigation	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Pourcentage des échantillons (%)	
		Nappe des sables	Nappes des calcaires
Aucun	< 700	0	1.36
Légère à modéré	700 – 3000	74.34	80.82
Forte	>3000	25.66	17.80

6-1-1-2-Tolérance aux sels:

Le tableau 86, montre la variation du rendement de certaines cultures en fonction de la salinité. On remarque que plus la salinité augmente plus le rendement baisse. Pour éviter cela, il est recommandé l'utilisation d'eaux correspondant aux cultures pratiquées, en fonction de la salinité des eaux. Il faut prendre les précautions nécessaires en matière de drainage par exemple.

Tableau 86: Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT ,1988).

Culture	Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			
	5300	6700	8700	12000
Orge	5300	6700	8700	12000
Blé	4000	4900	6400	8700
Chute de rendement en %	0	10	25	50

6-1-2- Risque de sodicité :

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément provient soit de l'altération de la roche et du sol, de l'intrusion marine ou des eaux d'irrigation.

Le Sodium augmente la salinité de l'eau par échange de base et peut être toxique pour des cultures sensibles. Un excès de sodium réduit la perméabilité, empêchant ainsi l'infiltration de l'eau d'irrigation, ce qui entraîne une asphyxie des plantes

Le risque du Sodisation est exprimé par le ratio SAR, qui décrit le pouvoir alcalinisant calculé par une formule appelée sodium adsorbable, « Sodium Adsorption Ratio : SAR ».

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad (\%)$$

6-1-2-1- Classifications des eaux destinées à l'irrigation :

Plusieurs classifications existent pour les eaux destinées à l'irrigation, qui sont basées essentiellement sur la salinité exprimée par le TDS (ex : classification Russe), la conductivité électrique (CE), et le Sodium échangeable exprimé par le ratio (SAR). La classification la plus utilisée est celle du laboratoire américain de salinité (USDA) développée par Richards en 1954, basée sur la combinaison du SAR avec la conductivité électrique sous forme d'un diagramme de classes.

6-1-2-1.:Diagramme de Richards

Le diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique.

a-nappe des sables:

L'observation du diagramme (fig.90), montre que les eaux de la nappe des sables se répartissent en cinq classes : C3S1 (3 échantillons), C3S2 (1 échantillon), C4S1 (plus de 10 échantillons) et C4S2 (plus de 10 échantillons), plus quelques échantillons hors classe.

Dans le détail, nous observons que la classe C4S1, contient 32% des échantillons, la classe C4S2 56 % des échantillons, le reste 12% est partagé entre les trois classes restantes.

Nous déduisons que les eaux de cette nappe, sont médiocres fortement minéralisées, pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

Les échantillons hors classe ne conviennent pas à l'irrigation.

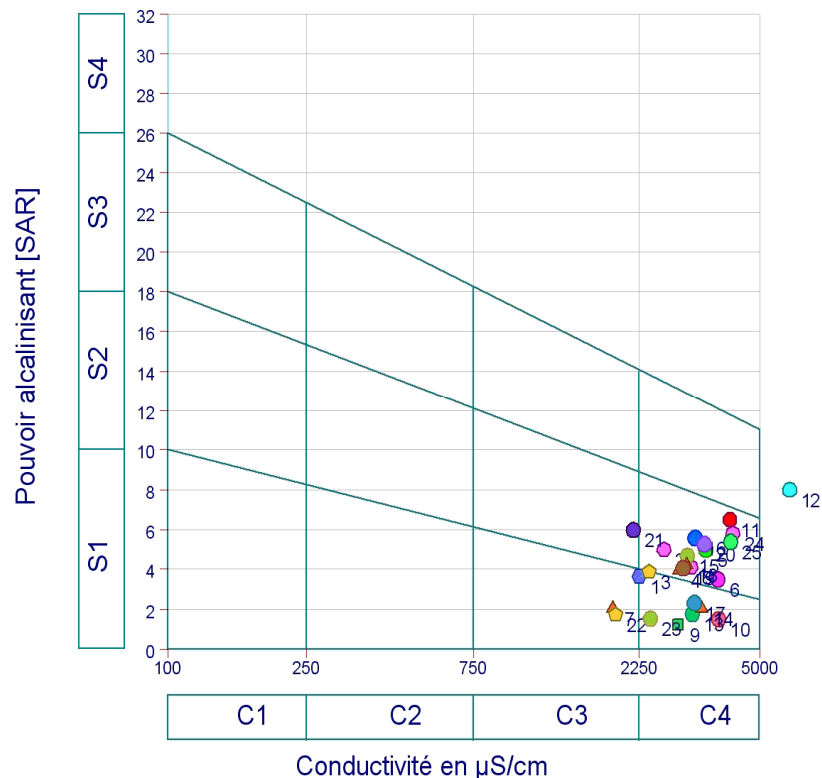


Fig.90. Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards) - nappe des sables-

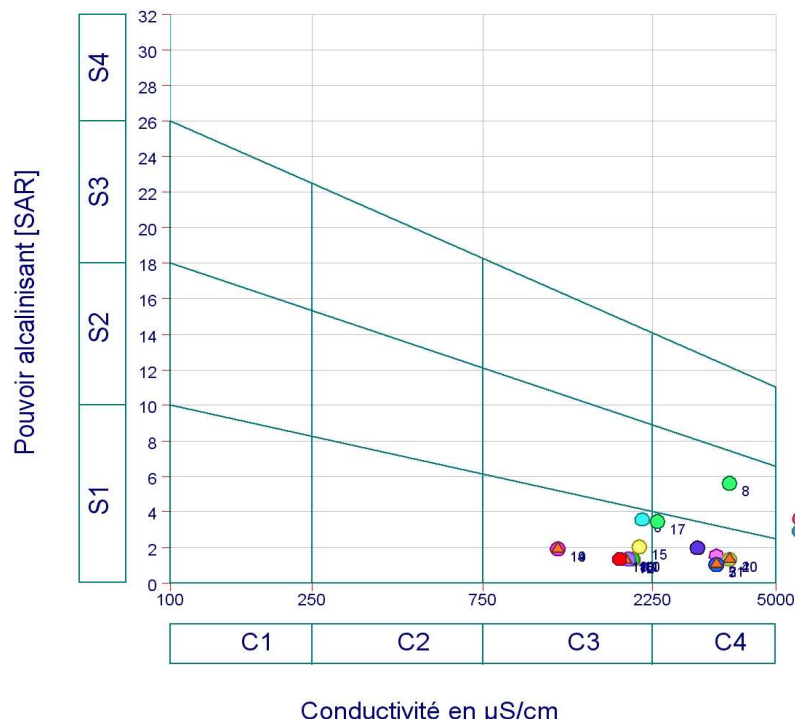
b- nappe des calcaires:

L'observation du diagramme de Richards (fig.91), montre la répartition suivante :

- ✓ 47.06 % des échantillons, appartiennent à la classe C4S1;
- ✓ 41.17 % des échantillons sont situés dans la classe C3S1;
- ✓ 5.88 % des échantillons, appartiennent à la classe C4S2;
- ✓ 5.89 % des échantillons sont hors classe.

Nous remarquons que les eaux de la nappe des calcaires sont admissibles pour l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés et où l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée (C3S1). Pour les deux autres classes (C4S1 et C4S2), il s'agit d'une eau médiocre fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation mais pouvant être utilisée pour des sols bien drainés et lessivés.

Les eaux situées hors classe sont inutilisables.



**Fig.91. Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards).
- nappe des calcaires-**

Nous remarquons que les eaux de la nappe des calcaires conviennent mieux à l'irrigation, comparativement aux eaux de la nappe des sables.

6-1-2-2:Diagramme de Wilcox:

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de Na^+ , elle s'écrit :

$$\% \text{Na} = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100.$$

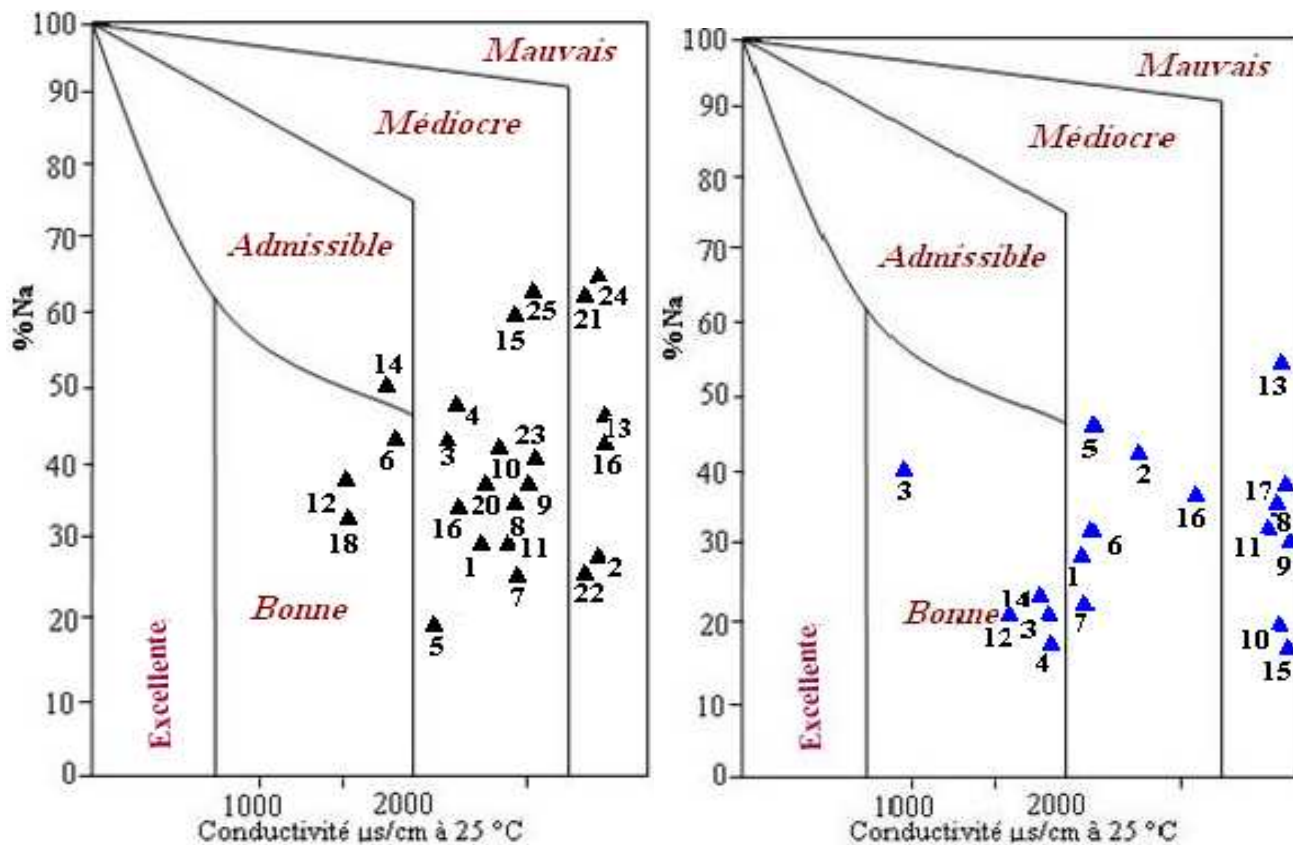
La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définit cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

a-nappe des sables:

Dans ce cas (fig.92 a) on a quatre classes (bonne, admissible, médiocre et mauvaise) avec:

- ✓ Classe bonne: 12 % des échantillons analysés;
- ✓ Classe admissible: 4% des cas étudiés;
- ✓ Classe médiocre: 68% des cas analysés;
- ✓ Classe mauvaise: 16% des points analysés.

On remarque que, la plus part des points sont situés dans la classe médiocre. Cette la classe correspond aux eaux à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation.



a- nappe des sables **b- nappe des calcaires**
Fig. 92: Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox).

b- nappe des calcaires (fig.92b):

Les eaux se répartissent dans les classes suivantes :

- ✓ Eau de bonne qualité avec 23.54 % des échantillons,
- ✓ Eau de qualité médiocre avec 35.26 % des échantillons,
- ✓ Eau de mauvaise qualité avec 41.17 %.

Nous remarquons que les eaux sont de mauvaise qualité dominante, ce qui hypothèque l'utilisation des eaux sans conditions préalables.

Le diagramme de Wilcox confirme les résultats obtenus à partir de l'interprétation du diagramme de Richards. En effet on retrouve une domination de la classe des eaux à forte salinité mais à faible danger d'alcalinisation.

Nous remarquons que quelques points d'eaux sont de bonne qualité et conviennent à l'irrigation sans conditions.

6-1-3-Degré de restriction à l'usage des eaux d'irrigation:

Richards, en 1969 à établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de la salinité évaluée par leur conductivité électrique (Faby et Al, 2000).

Tableau 87 : Classe de salinité selon Richards (Faby et Al, 2000).

Sels correspondants estimés en Na Cl (mg/l)	Conductivité de l'eau (mmohs/s)	Sels correspondants estimés en Na Cl (mg/l)	Pourcentage d'échantillons par nappe (%)	
			Nappe des sables	Nappe des calcaires
Excellents	<0.25	< 160	0	0
Faible salinité	0.25-0.75	160-500	0	1.37
Forte salinité	0.75-2.25	500-1500	58.04	52.05
Très forte salinité	2.25-5	1500-3600	41.96	46.58

Cette classification s'appuie sur la présence des sels de NaCl dans les eaux et sur les valeurs de la conductivité. Appliquée aux eaux de la régions, nous remarquons (tableau 87), que les sels ont teneurs oscillant entre 500 et 3600mg/l, par contre la conductivité varie entre 0.75 et 5 m.mohs, ce qui nous permet de déduire que les eaux des nappes peuvent être rangées dans les classes suivantes : forte salinité (58.04 % des échantillons de la nappe des sables et 52.05 % des échantillons de la nappe des calcaires) et très forte salinité (42% des échantillons nappe des sables et 46.58 % des échantillons de la nappe des calcaires).

6-1-4-Etude de la toxicité des végétaux:

La toxicité se manifeste dans les végétaux suite à l'absorption et à l'accumulation de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation comme le sodium et les chlorures. Ces substances toxiques.

6-1-4-1-Le Sodium :

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Le sodium en excès entraîne une baisse de la perméabilité conduisant à une asphyxie des plantes. En prenant en compte les valeurs seuils données dans le tableau 88, on remarque que le sodium présente des concentrations oscillant entre 3 et 9 meq/l dans 25 % des cas par contre 75 % des eaux de la nappe des sables ont des concentrations dépassant 9 meq/l, ce qui implique des restrictions à l'utilisation de ces eaux. Au niveau de la nappe des calcaires, on a une parité entre la classe forte (56 %) et la classe légère à modérer (44 %).

6-1-4-2-Les Chlorures :

Pour évaluer le degré de toxicité par les chlorures, on utilise des valeurs seuils Cf. tableau 88. Ce qui nous permet de déduire que les chlorures présentent des concentrations comprises entre 4 et plus de 10 meq/l. Nous remarquons au niveau de la nappe des sables que 24 % des eaux les chlorures oscillent entre 4 et meq/, le reste c'est-à-dire 76 %, présentent des concentrations en chlorures supérieures à 10meq/l, ce qui traduit de fortes restrictions pour l'irrigation. Concernant la nappe des calcaires, nous remarquons

une parité entre les deux classes (59% légère à modérée) et 41 % (forte). Nous déduisons que les eaux de la nappe des calcaires conviennent mieux à l'irrigation.

Tableau 88: Directives pour l'irrigation (Na⁺, Cl⁻). Application aux eaux de Biskra.

Restriction pour l'irrigation	Sodium (mécq/l)	% des points d'eau		Chlorures (mécq/l)	% des points d'eau	
		Nappe des sables	Nappe des calcaires		Nappe des sables	Nappe des calcaires
Aucune	<3	0	0	<4	0	0
Légère à modérée	3 à 9	25	44.44	4 à 10	24	58.82
Forte	>9	75	55.56	>10	76	41.18

Les parties développées, ont montré que les eaux des deux nappes restent très minéralisées et ne peuvent toutes être consommées ou l'utilisées sans restrictions dans l'irrigation. Ceci nous conduit à rechercher les origines de cette minéralisation.

7-Origines de la minéralisation :

Le nombre de faciès chimique déterminé (4), montre une hétérogénéité des formations géologiques, ces dernières influencent la composition chimique des eaux et par conséquent leur minéralisation. Nous allons nous intéresser à l'acquisition du chimisme des eaux.

7-1-Relations Mg²⁺ – HCO₃⁻ :

a-nappe des sables:

Le graphe réalisé (fig.93) montre la présence de deux familles, une première caractérisée par un excès de magnésium, la seconde mixte, c'est-à-dire liée à la présence des deux éléments. Le magnésium est probablement issu des formations gypsifères présentes dans la région.

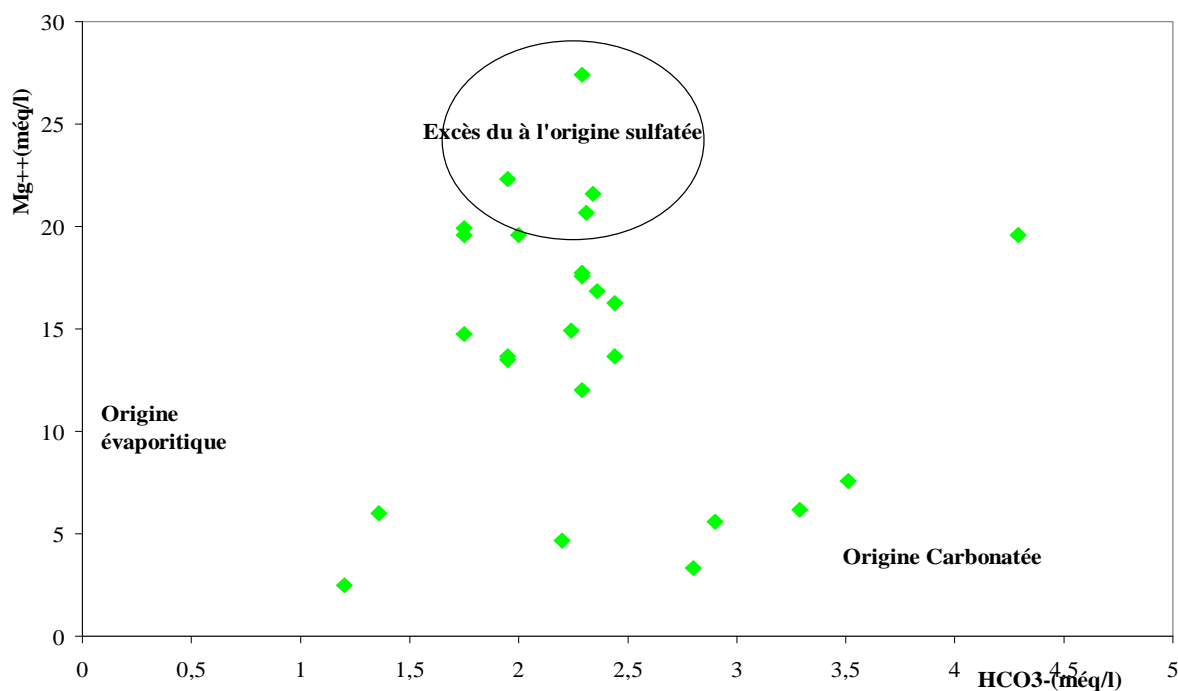


Fig. 93: Origines du Magnésium dans la nappe des sables-

b- nappe des calcaires:

L'examen du graphe (fig.94), montre deux familles, une première caractérisant l'excès du Magnésium, elle englobe le maximum de points. La deuxième famille caractérise un domine mixte, donc les bicarbonates ne dominant pas. De ce fait les deux éléments n'ont pas toujours la même origine.

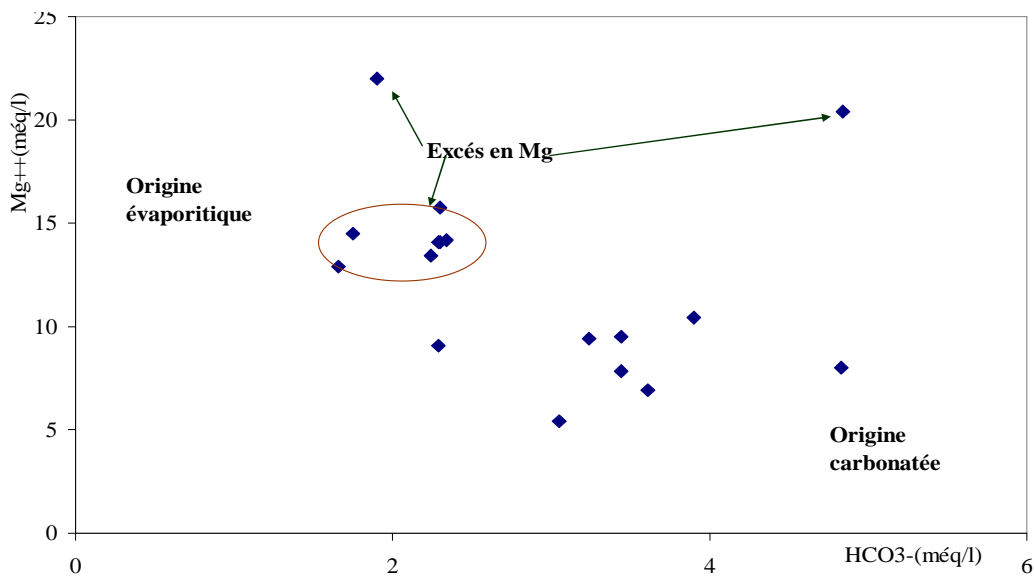


Fig. 94: Origines du Magnésium dans la nappe des calcaires-

7-2-Les éléments Na⁺ - Cl⁻ :

a-Nappe des sables:

Le graphe (fig.95), montrant l'évolution des chlorures en fonction du sodium, met en évidence un alignement des points (en majorité), ce qui laisse supposer la même origine des deux éléments. Cependant quelques points ne s'alignent pas sur la droite, ce qui met en évidence d'autres origines. Ceci tend à confirmer par exemple l'échange de base qui se produit entre l'eau et le sol, ce dernier libère le Ca²⁺ et capte le Na⁺, se traduisant donc par de fortes concentrations de Na⁺, dans l'eau.

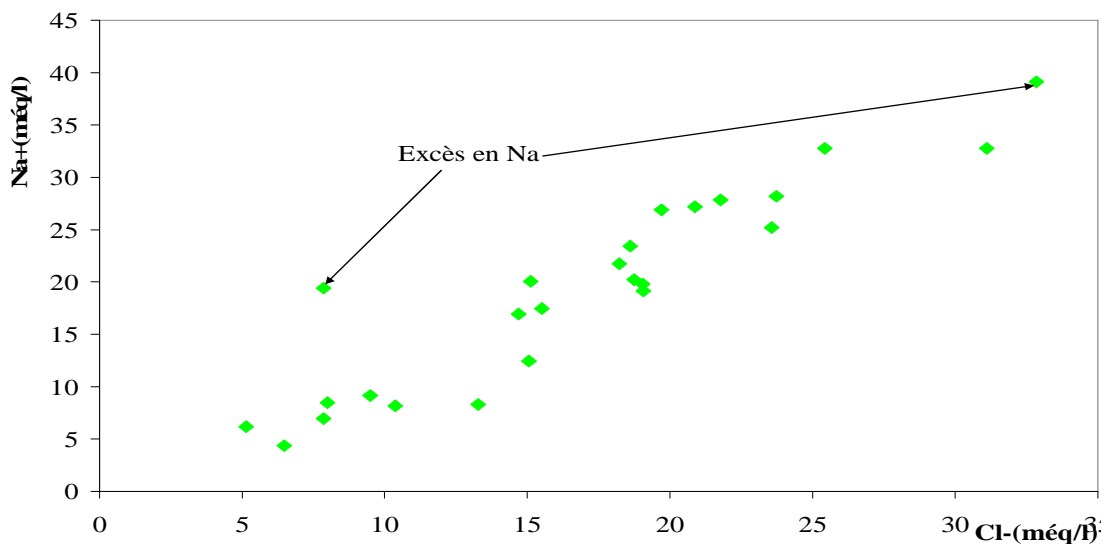


Fig. 95: Origines du sodium dans la nappe des sables

b-Nappe des calcaires:

L'examen de la fig. 96, montre une évolution presque analogue à celle de la nappe des sables. De ce fait nous pouvons dire que l'augmentation des teneurs en Na⁺, s'accompagne de faibles teneurs en Cl⁻, provoqué par l'échange de base, confirmant ainsi les observations déduites de la figure 98 b)

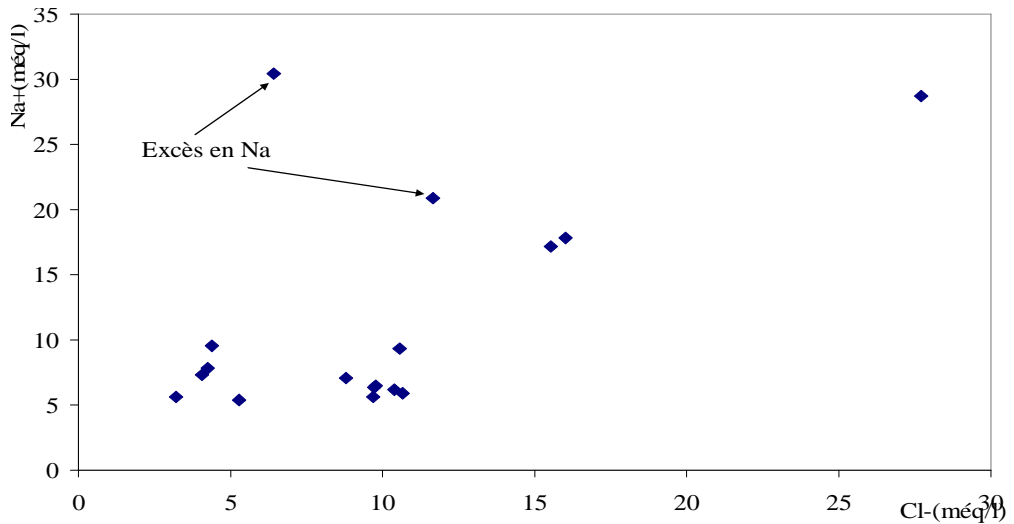


Fig. 96: Origines du sodium dans la nappe des calcaires

7-3-Détermination de l'indice d'échange de base par le graphe $Mg / (HCO_3 + SO_4) = f (Na/Cl)$.

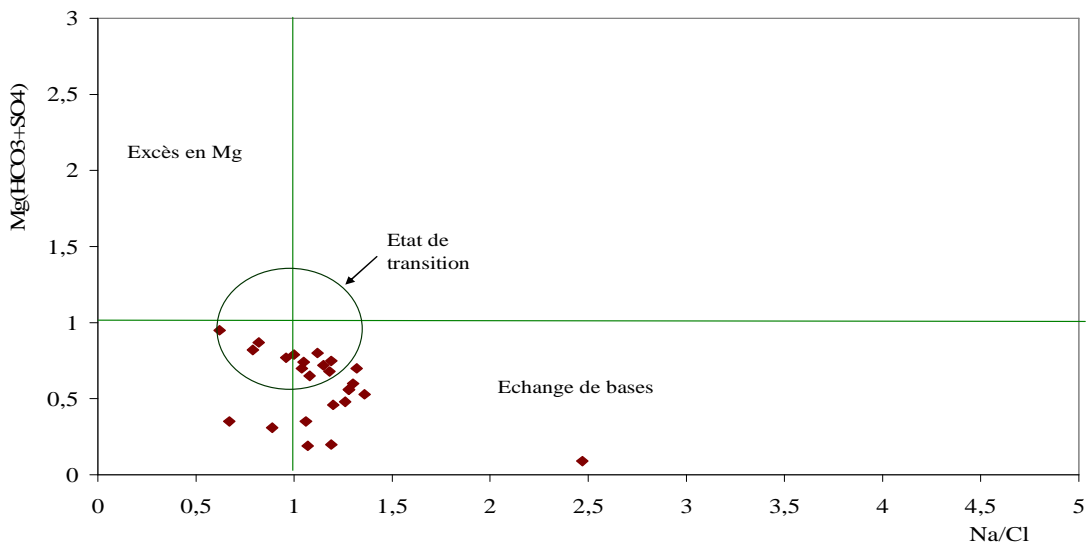
L'observation du graphique (fig. 98 a et b) met en évidence, trois familles d'eau:

La première famille correspond à la zone de mélange ou transition, dans ce cas aucun élément chimique ne semble dominer,

La deuxième famille caractérise les eaux riches en sulfates et bicarbonates (rapport <1),

La troisième famille, indique un échange de base entre l'eau et le sol.

a : Nappe des sables



b-Nappe des calcaires.

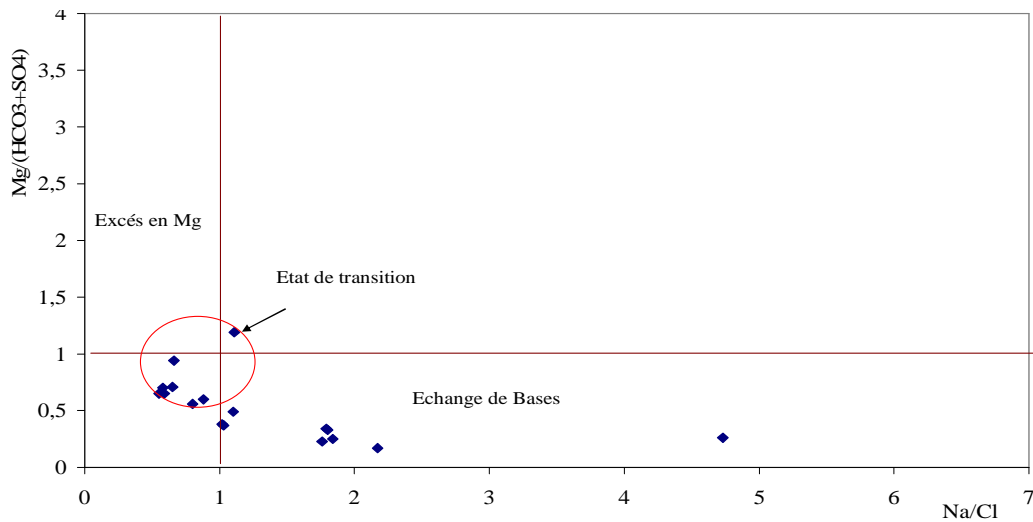


Fig.97 (a et b): Graphique $Mg/(HCO_3+SO_4) = f(Na/Cl)$.

7-4: Les éléments $Cl-SO_4^{2-}$:

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO_4^{2-} provient du gypse et le Cl^- provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique.

a-Nappe des sables: le graphique réalisé (fig.99 A), montre que les rapports sont en majorité inférieurs à l'unité, ce qui implique que les sulfates dominent par rapport aux chlorures, ceci laisse supposer que la salinité des eaux est très influencée par les formations évaporitiques.

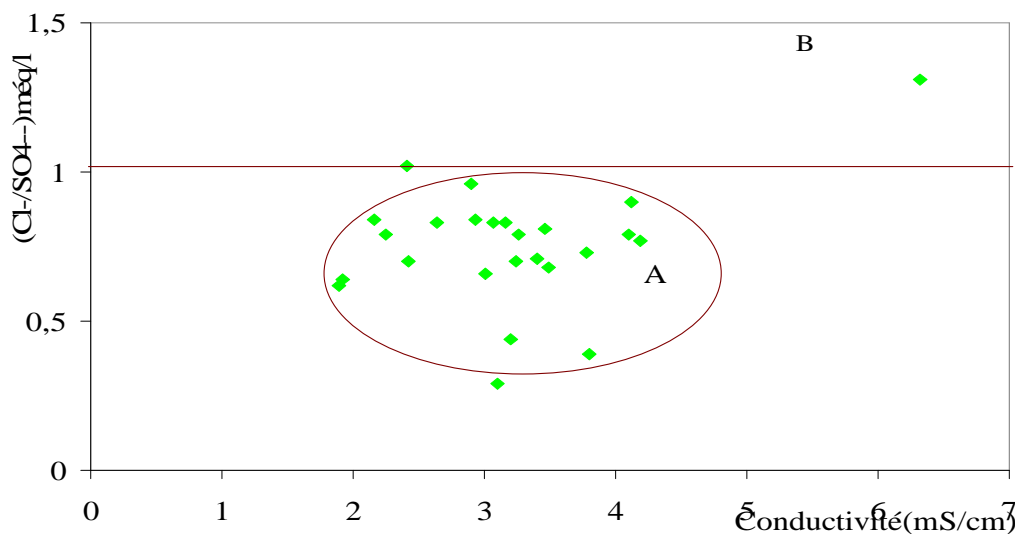


Fig. 98: Variations des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité - Nappe des sables-

b-nappe des calcaires:

Le graphe (fig.100), met en évidence une domination des sulfates identique à celle observée au niveau de la nappe des sables. Ceci indique que les formations évaporitiques influencent la minéralisation des eaux de cette nappe.

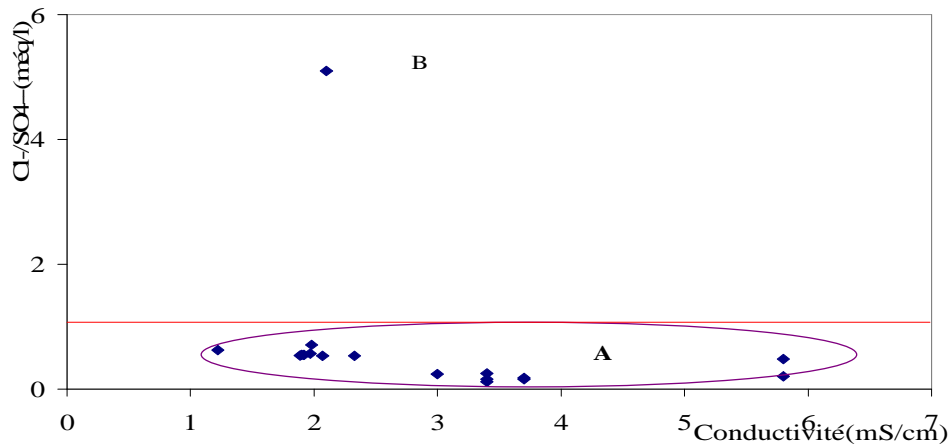


Fig.99: Variations des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité
-Nappe des calcaires-

8. Conclusion :

Les graphes réalisés, nous ont permis d'étudier la variation de la minéralisation dans deux nappes. Les résultats obtenus montrent que cette dernière est très influencée par les formations évaporitiques. Ces dernières par le biais de l'échange de base s'enrichissent en sodium. L'excès de sodium, cause une baisse de la perméabilité du sol, ce qui hypothèque la production agricole. Les fortes teneurs déterminées constituent un obstacle à la consommation de ces eaux par l'être humain.

2^{ème} partie: Détermination du degré de vulnérabilité des eaux de la nappe des sables (Biskra) à la pollution.

1-Introduction :

Les eaux souterraines et les eaux de surface constituent une ressource économique importante et un patrimoine écologique sensible qu'il importe de gérer et de préserver. La protection naturelle des eaux souterraines est assurée par un ensemble de conditions d'alimentation, de gisement et d'écoulement, définissant le degré de vulnérabilité de l'aquifère. Un grand nombre de modèles déterministes existe, permettant de suivre l'évolution et le comportement des polluants dans le milieu souterrain. Ces modèles sont peu utilisables, exigeant une masse importante d'informations fiables souvent non disponibles.

L'introduction du concept de vulnérabilité des eaux à la pollution exprime la sensibilité de la nappe aux différents agents pollueurs. L'étude de la vulnérabilité s'adapte efficacement en insuffisance de données.

L'objectif du présent travail consiste à évaluer non seulement la vulnérabilité mais aussi la sensibilité de la nappe des sables de Biskra, très sollicitée par l'homme.

2-Description de la méthode utilisée :

L'indice de sensibilité à la pollution de l'eau (IS) est le produit de l'indice DRASTIC de vulnérabilité (IV) et de l'indice de qualité des eaux (IQ) (Pusalti et al. 2009). $IS = (IV) * (IQ)$ (6)

Le risque de dégradation de la qualité des eaux souterraines est mesuré par l'indice IV, obtenu par la méthode DRASTIC. Toutefois, des hypothèses sont émises : (i) la méthode DRASTIC est applicable à l'échelle régionale ; (ii) la source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface ; (iii) la qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité. Il est à noter que l'estimation de l'indice final (IV) nécessite d'évaluer d'abord l'indice DRASTIC partiel pour chacun des sept paramètres (D, R, A, S, T, I et C). Cet indice partiel est assigné d'un poids et d'une côte allant, respectivement, de 1 à 5 et de 1 à 10, définissant le degré de vulnérabilité (Aller et al. 1987). L'indice DRASTIC (IV) correspond à la somme pondérée des poids par les côtes des sept paramètres propres à chaque région hydrogéologique.

L'indexation de la sensibilité de la qualité de l'eau tient compte de la classification des eaux en cinq groupes en fonction de chaque concentration des ions pris en compte : I : eau très bonne, II : bonne, III : utilisable, IV : utilisable avec prudence et V : nocive. Les limites de chaque classe, utilisées pour les paramètres considérés, sont énumérées dans les tableaux 89 et 90. L'indice de qualité ponctuelle est

calculé selon la formulation (7) suivante :
$$IQ = \sum_i^n (C_i)^2$$
 (7)

La sommation est globalement considérée comme un paramètre de qualité (des ions). Ci est la classe du paramètre i (ion) ayant une valeur entière entre 1 et 5 à un endroit donné. L'utilisation du carré de la concentration Ci de chaque ion permet de renforcer l'effet des classes de mauvaise qualité.

Tableau 89: Classification de l'eau d'irrigation (Pusalti et al, 2009).

Paramètres	Classe I (très bonne)	Classe II (bonne)	Classe III (utilisable)	Classe IV (utilisable avec prudence)	Classe V (nocive)
EC ($\mu\text{S/cm}$) (à 25°C)	0 - 250	250 - 750	750 - 2000	2000 - 3000	> 3000
Cl (mg/l)	0 - 142	142 - 249	249 - 426	426 - 710	> 710
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0 - 10	10 - 30	30 - 50	50 - 100	> 100
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	0 - 192	192 - 336	336 - 575	576 - 960	> 960
Na ⁺ (mg/l)	0 - 69	69 - 200	200 - 252		> 252

Tableau 90: Classification de l'eau potable (Neubert et al, 2008; in Saïdi et al, 2009).

Paramètres	Classe I (très bonne)	Classe II (bonne)	Classe III (utilisable)	Classe IV (utilisable avec prudence)	Classe V (nocive)
EC ($\mu\text{S/cm}$) (à 25°C)	0 - 180	180 - 400	400 - 2000	2000 - 3000	> 3000
Cl (mg/l)	0 - 25	25 - 200			> 200
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0 - 10	10 - 25	25 - 50		> 50
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	0 - 25	25 - 250			> 250
Na ⁺ (mg/l)	0 - 20	20 - 200			> 200

L'indice de la qualité de l'eau d'irrigation (IQ irrigation) et l'indice de la qualité de l'eau destinée à l'AEP (IQ AEP) sont calculés, en utilisant les données des analyses chimiques en saison sèche (basses eaux, octobre 2007), période où la nappe est très sollicitée par les agriculteurs.

Seuls les éléments chimiques dont la concentration est élevée sont pris en considération, à savoir :

Chlorures, sodium, nitrates et les sulfates ainsi que la valeur de la conductivité électrique (CE),

Un nombre entier (1 à 5) est attribué à chaque concentration Ci d'un élément i, défini dans les Tableaux 86 (eau d'irrigation) et 87 (eau potable AEP). L'indice de sensibilité de l'eau de chaque point d'eau est calculé en utilisant la formule (6).

La valeur de l'indice DRASTIC, pour chaque point d'eau considéré, est multipliée par la valeur de l'indice de qualité de l'eau à la pollution obtenue par la formule (7) pour le même point d'eau pris en considération.

Deux cartes de sensibilité sont élaborées : la carte de l'indice de sensibilité de l'eau d'irrigation (Fig. 8), et celle des eaux destinées à l'alimentation en eau potable

L'évaluation de la sensibilité à la contamination de l'eau de la nappe nécessite l'usage combiné du modèle DRASTIC (Aller et al, 1987), des systèmes d'informations géographiques (SIG) et de l'indexation de la sensibilité des eaux d'une nappe, proposée par Tolga et al (2009) et appliquée à la nappe de Menderes en Turquie.

2-1- Apports de la méthode DRASTIC :

La méthode utilisée dans le cadre de cette étude pour réaliser la carte de vulnérabilité est la méthode DRASTIC développée par l'Agence américaine de la Protection de l'Environnement, E.P.A. (Aller et al. (1987). Cette méthode a été appliquée pour la première fois en 1985 à travers tous les Etats –Unis

d'Amérique (Aller et Al 1987) où elle a donné un très bon résultat. Par la suite a été appliquée aux municipalités du Québec entre les années 1987-1993 (Chapui et Al 1993).

C'est une méthode à cotation numérique empirique qui repose sur trois hypothèses de base suivantes :

- Les sources de contamination potentielles se trouvent à la surface du sol ;
- De la surface du sol, les contaminants potentiels atteignent l'aquifère par le mécanisme d'infiltration efficace ;
- La nature des contaminants potentiels n'est pas pris en compte dans le calcul de l'indice.

Elle prend en compte 7 paramètres, qui sont pondérés par un facteur (Poids) de multiplication variant de 1 à 5 selon son importance. A chaque paramètre est attribuée une échelle comprenant des classes où une cote (1 à 10) est attribuée selon la particularité du milieu.

Les sept paramètres hydrogéologiques dont les initiales donnent l'acronyme DRASTIC sont :

D : Profondeur à la nappe,

R : Recharge,

A : Type d'aquifère,

S : Type de sol,

T : Topographie,

I : Impact de la zone vadose,

C : Conductivité hydraulique.

L'indice DRASTIC, mesure de la pollution potentielle, est calculé par la sommation du produit des côtes et des poids pour chaque facteur hydrogéologique de la manière suivante :

Indice DRASTIC = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw

Avec: r: rating (côte) et w: weights (poids).

La vulnérabilité augmente avec l'indice DRASTIC et cet indice représente une mesure relative de la vulnérabilité des eaux souterraines. Un site avec un indice DRASTIC faible n'est pas à l'abri d'une contamination, mais il est moins susceptible à la contamination par rapport à un site ayant un indice DRASTIC élevé (Osborn et Al., 1998).

2-2-Tracé de la carte des indices DRASTIC :

Pour chacun des paramètres DRASTIC est établie une carte sur laquelle sont délimitées des zones en fonction des intervalles préconisés par le système de cotation DRASTIC. Voir le détail en annexes 06.

La carte de synthèse (fig.100) est le résultat de la superposition de sept cartes thématiques relatives aux paramètres DRASTIC.

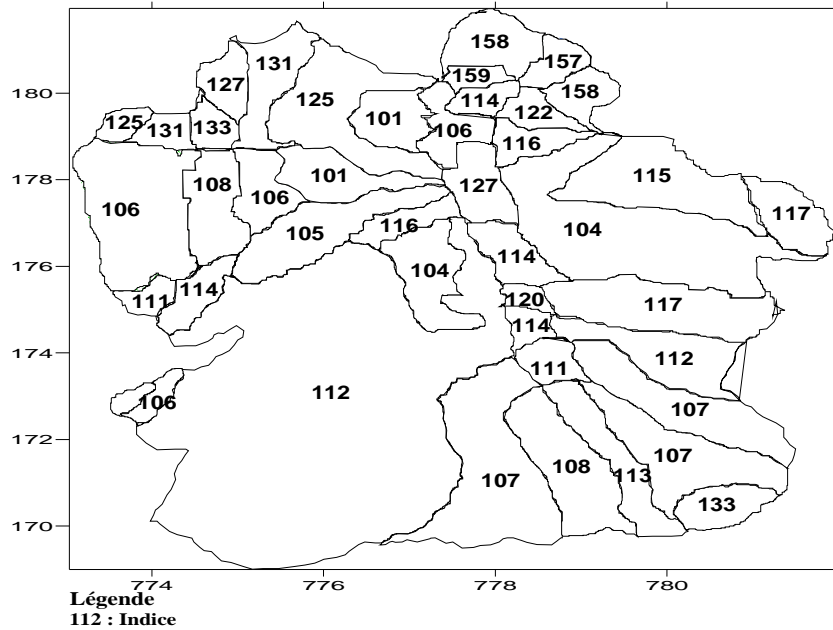


Fig. 100: Carte des indices DRASTIC (Carte de synthèse).

2-3-Etablissement de la carte de vulnérabilité:

L'observation de la carte de vulnérabilité (fig. 101), met en évidence deux classes :

- la première caractérisant une vulnérabilité moyenne $100 > I < 150$, occupant la plus grande partie de la zone d'étude,
- la seconde caractérisant la forte vulnérabilité $I > 150$, de faible extension, elle se localise dans une petite zone située au nord de la ville de Biskra, non loin du quartier d'El Alia.

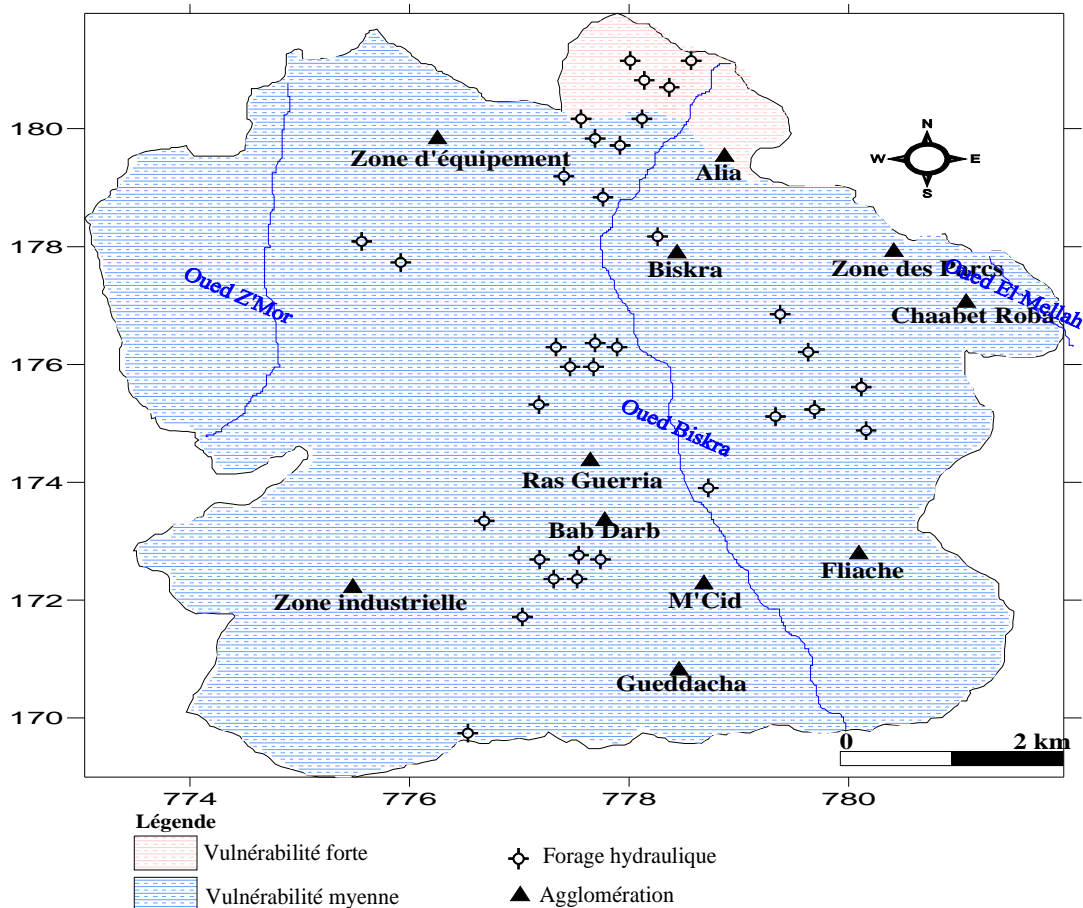


Fig. 101: Carte de vulnérabilité d'après la méthode DRASTIC.

2-4-Etablissement de la carte de la sensibilité à la pollution:

2-4-3-Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'irrigation: (Les résultats de calculs en annexe 07):

La carte réalisée (fig.102), montre que les eaux destinées à l'irrigation, montrent la présence de deux familles d'eau :

- la première indiquant une très forte sensibilité et occupant la grande partie de la zone,
- la seconde caractérisant une forte sensibilité et occupant une petite zone située au Sud- Est de la ville de Biskra.

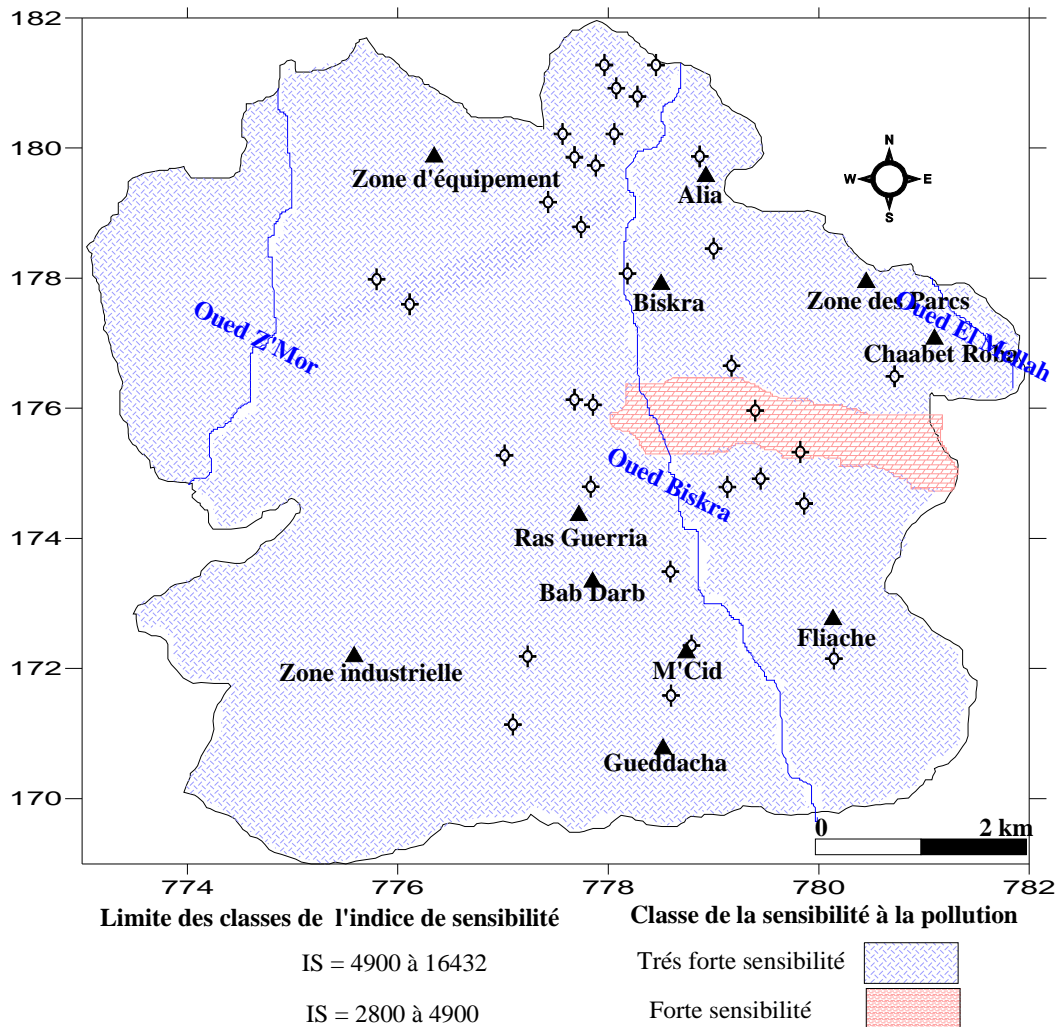


Fig. 102 : Carte de l'indice de sensibilité de l'eau d'irrigation de la nappe des sables de Biskra.

2-4-4-Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable. (Les résultats de calculs en annexe 07):

La carte réalisée (fig.103), montre que les eaux destinées à l'A.E.P présentent une sensibilité très forte, cette famille occupe la totalité de la région d'étude.

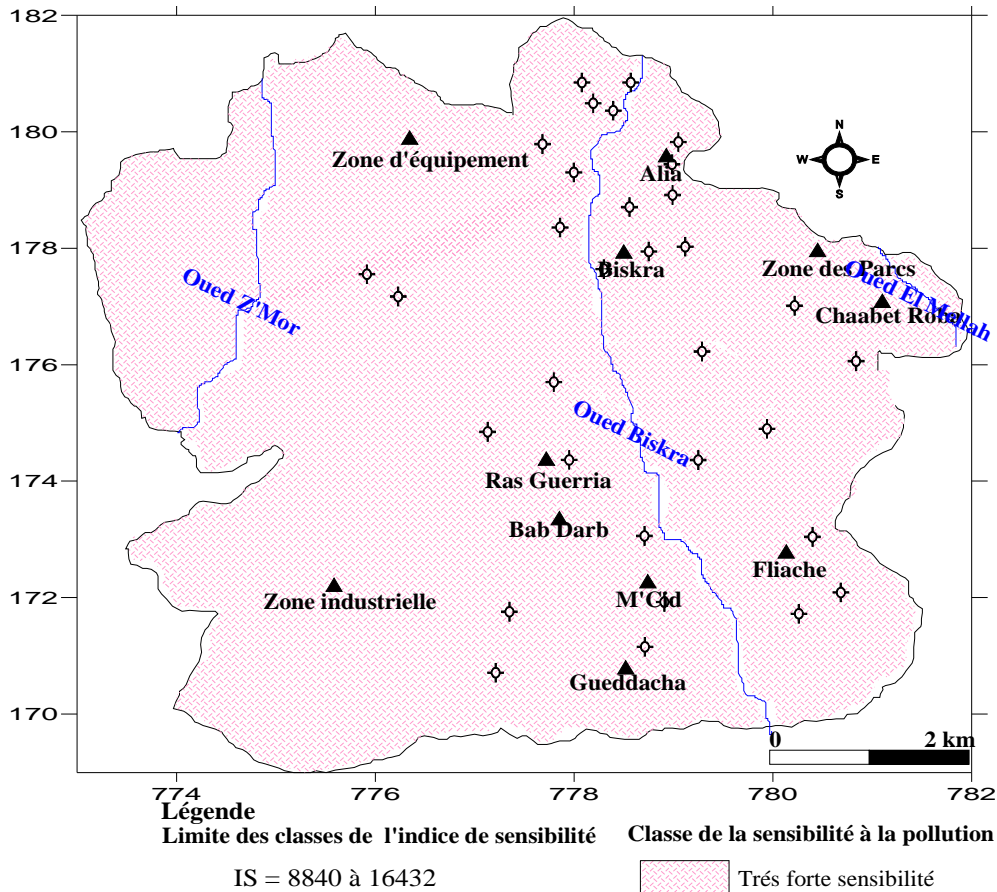


Fig.103: Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'A.E.P de la nappe des sables.

2-4-5-Carte des conductivités de la nappe des sables :

L'observation de la carte (fig.105), montre la domination de deux classes, la première caractérisant les eaux situées au Nord de Biskra, la conductivité dépasse 3 mS/cm. Toute fois nous remarquons l'apparition de quelques zones où la conductivité ne dépasse pas 3mS/cm, ces zones se localisent à Biskra et vers El Alia. Le sud de carte montre des conductivités faibles oscillant entre 2 et 3 mS/cm.

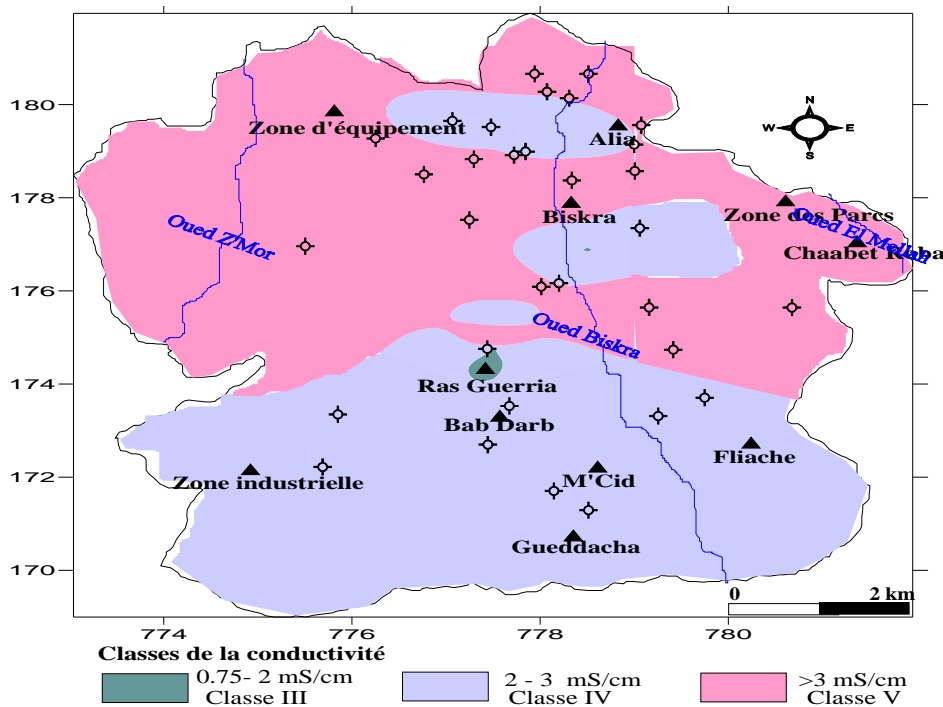


Fig. 104 : Carte des classes de la conductivité des eaux de la nappe des sables (Pusalti et Al, 2009)

Les cartes réalisées montrent une convergence des résultats obtenus. Les zones les plus vulnérables à la pollution sont également caractérisées par une sensibilité très élevée du point de point irrigation ou consommation humaine. Ceci reste favorisé par la perméabilité du sol ($4.5.10^{-4} < K < 9.4.10^{-4} \text{m/s}$), la nature lithologique du matériel de la zone vadose ainsi que par le type de sol à dominance sableuse permettant une percolation des substances polluantes vers la nappe. Cependant la profondeur du niveau statique ralentie la pollution.

3-Conclusion

Le présent chapitre, relatif à l'étude de la qualité des eaux a permis de mettre en évidence l'importance des caractéristiques physico-chimiques des eaux au sein de la région de Biskra. De manière générale, l'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe du complexe terminal de Biskra permet de dire que :

-Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de trois faciès dominants, qui sont le sulfaté magnésien, sulfaté sodique et sulfaté calcique ;

-La répartition spatiale des éléments chimiques montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe, suite à la dissolution des formations évaporitiques;

-L'évolution des éléments chimiques (SO_4^{2-} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- Ca^{2+}) qui caractérisent les formations géologiques principales de la région, a montré la dominance des ions gypsifères (Mg^{2+} , SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} , HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité. Ce bilan a également mis en évidence le phénomène d'échange de base entre les eaux de deux nappes et les passages argileux, ce dernier a été révélé par l'augmentation des teneurs en Na^+ par rapport à Cl^- .

La classification de Richards et celle de Wilcox ont prouvé la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

La combinaison du modèle DRASTIC et de la méthode d'indexation de la qualité des eaux a permis de compiler les données hydrogéologiques et hydrochimiques en se basant sur une cotation numérique, intégrant le SIG. Deux cartes de sensibilité sont élaborées, résultat du croisement des deux méthodes, la carte de sensibilité des eaux d'irrigation et celle des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. La comparaison des résultats obtenus permet de conclure que, non seulement, la méthode d'indexation identifie l'existence d'une pollution des eaux mais constitue aussi un outil appréciable d'aide à la décision dans les domaines de l'hydraulique et de l'environnement.

Les facteurs climatiques dans les régions semi-arides (cas de la région de Biskra) sont généralement caractérisés par l'irrégularité de la pluviométrie, ce qui ne favorise pas le phénomène de dilution. Les fortes températures qui sévissent provoquent une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la salinité qui peut expliquer la dégradation de la qualité des eaux.

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude s'est effectuée sur les ressources en eaux souterraines de Biskra appartenant au bassin versant de Chott Melghrir, au Sud Est Algérien. Elle s'étend sur une superficie de 21.671,2 km², ses limites géographiques sont: la wilaya de Batna au Nord, El Oued au Sud, la wilaya de Khanchela au Nord et à l'Est et enfin la wilaya de Djelfa au Sud Ouest.

La région d'étude appartient à la partie Nord du grand bassin sédimentaire des contres forts méridionaux de l'Atlas Saharien et la bordure septentrionale saharienne sans pour autant en avoir les mêmes caractéristiques naturelles et physiques.

L'étude géologique et la série stratigraphique type caractérisant la zone d'étude sont des formations d'origine sédimentaire à prédominance de sédiments carbonatés. Les affleurements rocheux qui constituent les principaux reliefs de la wilaya en l'occurrence les montagnes situées à la limite Nord sont des sédiments en grande majorité datant du secondaire, les grandes plaines du centre sont des sédiments du quaternaire ; alors que les plateaux sont en grande partie composés de formations datant du tertiaire.

Du point de vue lithologique, les principales roches et sédiments qui composent le sol de la wilaya sont des alluvions argilo-sableuses, des calcaires, des dolomies, des marnes, des argiles, des sables, des grès et des sels sédimentaires de chott ou de sel diapirique.

Du point de vue tectonique, le Nord de la wilaya est affecté par le grand accident tectonique connu sous le nom de « la flexure Sud-atlasique », qui est une sorte de cassure séparant la partie Nord du pays (le Tell) de la zone effondrée, désertique (le Sahara). Cet accident est caractérisé par la présence de multiples failles (tectonique cassante) et d'une structure souple et plissée (tectonique souple).

Du point de vue climatique, la région de Biskra est soumise à un climat nettement contrasté, à hiver frais s'étalant de décembre à février, et à été sec et chaud et très bien ensoleillé, répondent assez bien aux exigences de cette région.

Ce climat est influencé par:

- ✓ -Une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière (124.33mm /an durant la période 1990-2007);
- ✓ Des températures moyennes assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et très longue;
- ✓ Des transports éoliens importants;
- ✓ Une grande luminosité.

L'estimation des paramètres constituant le bilan hydrologique, nous en permis de faire ressortir les résultats suivant d'après la formule de Thornthwaite:

-Une RFU (réserve facilement utilisable) de 2.89 mm.

-L'évapotranspiration est très élevée, accentuée surtout par les vents, variant selon les méthodes d'estimations;

✓ Pour la station de Biskra de 1346.88 mm/an jusqu'à 1472,2 mm/an.

✓ Pour la station d'Ain Touta, de 996.12 mm/an jusqu'à 1343.28mm/an.

-Une évapotranspiration réelle (ETR) variant selon la méthode de Thornthwaite :

✓ Pour la station de Biskra, de 121.44 mm/an soit 98%;

✓ Pour la station de Ain Touta, de 225.15 mm/an soit 86%.

-Un ruissellement négligeable.

-Un taux d'infiltration:

✓ Pour la station de Biskra, de 1.6 mm/an soit 1.3%;

✓ Pour la station de Ain Touta, de 32.1 mm/an soit 12.33%.

Le bilan hydrologique de Thornthwaite fait ressortir un déficit pluviométrique annuel de l'ordre de 1102.62mm pour la station de Biskra et de 847.36 mm pour celle de Ain Touta.

La wilaya de Biskra présente plusieurs réservoirs aquifères d'importance bien distincte de part leur constitution lithologique, leur structure géologique et les facilités d'exploitation qu'ils présentent. Ces aquifères appartiennent aux étages suivants :

✓ Le Quaternaire (représenté la nappe superficielle (phréatique) du Quaternaire).

✓ Complexe terminal (nappe des sables du Miopliocène et la nappe des calcaires d'Eocène inférieur à Sénonien supérieur).

✓ L'Albien et le Barrémien (nappe des grés du continental intercalaire).

-La nappe phréatique : cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, elle est alimentée essentiellement par les eaux des précipitations, d'infiltration des Oueds et des eaux d'irrigation. Les nappes les plus importantes dans la wilaya, sont celles de l'oued Biskra et de l'oued Djeddi. Elle est fortement exploitée dans les régions de Ouled Djellal, Sidi Khaled et la ville de Biskra.

La profondeur de cette nappe est comprise entre 20 et 100 m avec un débit oscillant entre 05 et 20 l/s alors que la conductivité hydraulique est importante et peut atteindre 10^{-2} m/s.

-Le Complexe terminal comprend:

- Nappe des sables du Miopliocène.

- Nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et du Sénonien supérieur.

La nappe des sables : elle est constituée par une alternance de niveaux d'argile, sable, et cailloutis d'âge Mio-pliocène, elle couvre une grande superficie de la wilaya. Cette nappe est fortement exploitée dans la partie Est de la wilaya et surtout dans la zone de M'zirâa. La profondeur de cette nappe varie de 100 à 900 m, avec un débit qui oscille entre 20 et 60 l/s.

La variation de la lithologie de la nappe des sables conditionne la conductivité hydraulique qui est importante au Nord où elle atteint la valeur de 10^{-3} m/s, au centre de l'Est de la plaine de Biskra elle oscille entre 10^{-3} et 10^{-4} m/s alors qu'au Sud de la plaine et aux environs de Tolga, Lioua et Ourellal, la conductivité hydraulique devient faible. Elle est toujours inférieure à 10^{-6} m/s.

La nappe des calcaires : cette nappe est constituée essentiellement de calcaire fissuré d'âge Eocène et Sénonien, elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Ziban. Elle est appelée « Nappe de Tolga ». La profondeur de cette nappe varie de 100 à 1300 m, avec un débit qui oscille entre 20 et 60 l/s. La conductivité hydraulique est importante aux oasis de Tolga (Foughala jusqu'à El Hadjeb) où elle atteint 10^{-3} m/s. Dans la zone Doucen Ourellal -Oumeche, la conductivité hydraulique est moins importante (probablement à cause du faible taux de fissuration), elle est inférieure à 10^{-6} m/s. à l'Est de la plaine de Biskra.

- Le Continental Intercalaire

C'est un réservoir très important constitué essentiellement de grès et de marne d'âge Albien et Barrémien. Son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur qui dépasse les 2000 m, la température de l'eau peut dépasser les 60 °c. Cette nappe est exploitée dans la wilaya par 19 forages.

Du point de vue ressource en eau la zone d'étude renferme des potentialités hydriques importantes, La ressource mobilisée de la wilaya de Biskra est de 35% pour les eaux de surface, 43 % pour les eaux souterraines (nappe profonde du continental intercalaire et la nappe moins profonde du complexe terminal)

-Les eaux de surface sont mobilisées par les barrages Fontaines des Gazelles et Foum El Gherza. Le premier est situé en aval d'Oued el Hai. Il draine une surface de 1660 km², ayant une capacité normale de 55.5 hm³, actuellement il régularise un volume de 14 hm³, principalement destinés à l'irrigation. Le deuxième (barrage Foum El Gherza) draine une surface de 1300 km² le long de l'oued El Abiod, il reçoit moyennement un volume de 22.2 Mm³ et conçu pour contenir 47 Hm³, actuellement sa capacité est de 10.8 Hm³.

- L'évolution hydraulique dans les Ziban a été marquée au cours des dernières décennies par de nombreuses transformations. Les faits qui sont les plus caractéristiques sont la disparition de l'artésianisme et l'assèchement des sources. La modification des équilibres hydrostatiques reste le

problème hydraulique majeur des Ziban. La disparition de l'artésianisme à la suite de l'abaissement des niveaux piézométriques, entraîne certaines difficultés.

L'estimation des ressources hydriques souterraines dans la zone d'étude fait ressortir les chiffres suivants:

-En 2008, le volume d'eau extraits des nappes est estimé à 17930 l/s, soit un volume total annuel de 565.44 Hm³/an, ce débit se répartit en 16032 l/s pour l'irrigation, 1878 l/s pour l'alimentation en eau potable des populations et l'abreuvement du cheptel et 23.50 l/s pour l'industrie.

La demande en eau dans la wilaya de Biskra est en augmentation constante pour tous les secteurs (AEP, irrigation et industrie).

D'après les études faites auparavant, à l'horizon 2025, tous les secteurs vont doubler leurs besoins ;

- ✓ Pour le secteur de l'industrie, les besoins sont estimés à 1.4035 Hm³/an.
- ✓ Pour l'agriculture, ils passent de 757,281 Hm³/an à 1854,601 Hm³/an.
- ✓ Pour l'alimentation en eau potable, ils passent de 19 Hm³/an à près de 32 Hm³/an. Cette demande augmente avec l'accroissement de la population.

Actuellement, les volumes produits ne satisfont guère la demande de tous les secteurs confondus.

Dépassant largement l'offre à moyen terme, un déficit plus accru sera engendré par la forte demande en eau d'où l'impératif d'une exploitation rationnelle des ressources avec tout ce que cela suppose comme investissement.

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines de la région de Biskra, révèlent ce qui suit :

-Des concentrations en certains éléments chimiques moyennes à élevées, dépendant du lessivage des formations géologique et de l'impact de la pollution (naturelle et / ou humaine).

-Une dominance des eaux de mauvaise qualité chimique sur celles de bonne qualité (potable). En effet ces eaux de potabilité mauvaise sont caractérisées par des teneurs élevées en certains ions (SO₄⁻, Mg⁺⁺, Cl⁻, Ca⁺⁺ et F⁻) dépassant largement les normes fixées par l'O.M.S.

Deux faciès chimique dominant, soit : l'un sulfaté sodique, l'autre sulfaté magnésien. Ce dernier est plus répandu, que le premier.

Ces eaux présentent un faible danger d'alcalinité, en revanche leur risque de salinité est élevée à très élevée.

Plusieurs graphes tracés mettent en évidence l'évolution de la minéralisation suivant les axes choisis. Cette évolution ne se manifeste pas de la même manière d'un axe à autre. Mais On peut penser que se sont les mêmes phénomènes qui ont donné à ces eaux leurs caractéristiques chimiques. Il s'agit de la dissolution des roches évaporitiques. D'une façon générale, on remarque que les sulfates et le Magnésium

(caractère dominant des eaux étudiées) suivent parfaitement l'évolution de la minéralisation globale (conductivité). Ce qui confirme l'influence de ces deux paramètres sur les eaux de la plaine. Ces deux paramètres ont une origine commune (roches évaporitiques).

Ce travail consiste aussi à proposer un outil capable d'évaluer non seulement la vulnérabilité mais aussi la sensibilité de la nappe des sables de la région de Biskra. L'évaluation de la sensibilité à la contamination de l'eau de la nappe nécessite l'usage combiné du modèle DRASTIC (Aller et al, 1987), des systèmes d'informations géographiques (SIG) et de l'indexation de la sensibilité des eaux d'une nappe.

Les cartes de sensibilité obtenues révèlent des zones qui coïncident presque parfaitement avec celles de fortes minéralisations.

Recommandations et perspectives

Recommandations et perspectives:

Les eaux souterraines constituent une ressource économique et écologique de première importance. Toutefois, ces réserves s'épuisent et leur qualité se dégrade sous l'effet des différentes activités humaines.

Par ailleurs, la demande en eau est à satisfaire non seulement du point de vue quantité mais devant répondre surtout aux exigences de qualité.

Les zones qui présentent une forte exploitation, telles que Biskra, Ouled Djellal (nappe du Quaternaire), M'zirâa, Zeribet El-Oued (nappe du Mio-Pliocène), Tolga et Doucen (nappe de l'Eocène inférieur), commencent à connaître les effets négatives d'une telle surexploitation (disparition de l'artésianisme, rabattement des niveaux statiques, dégradation de la qualité chimique des eaux).

Pour une meilleure maîtrise de cette situation, il serait judicieux d'entreprendre les démarches suivantes :

- ✓ Suivi périodique quantitatif et qualitatif des nappes par la mise en place d'un réseau de piézomètres.
- ✓ Etude détaillée des nappes d'inféro-flux des régions de Biskra et de Ouled Djellal
- ✓ Interdiction de toute réalisation de point d'eau dans les zones à forte exploitation.
- ✓ Bouchage de tous les points d'eau abandonnés et qui présentent des anomalies d'équipement.
- ✓ Exploration des zones à ressources en eau souterraines inconnues, par des forages de reconnaissance ou par des couvertures géophysiques.
- ✓ Auscultation des forages profonds en vue d'un diagnostic des équipements.
- ✓ Mise en oeuvre des techniques modernes pour l'irrigation.
- ✓

Il est recommandé de protéger les ressources en eaux dans la zone d'étude par les dispositions suivantes :

- ✓ d'éviter l'implantation des ouvrages d'A.E.P au niveau des berges des oueds, car cela produirait un abaissement du niveau piézométrique dans l'ouvrage et un écoulement des eaux de l'oued vers la nappe, ce qui amènerait une modification de la qualité des eaux.
- ✓ d'installer des piézomètres et surtout près des berges des oueds, afin de surveiller en permanence l'évolution de la qualité des eaux.

Références bibliographiques

Bibliographie

- ABHS 2005** : Banque de données des forages de Chott Melghir (Wilaya de Biskra).
- ABDESSELAM .S, 1979**: Contribution à l'étude des sols gypseux au nord-est du Sahara Algérien : caractérisation et genèse. Cas des oasis de Tolga (région des Ziban). Mémoire de Magister. INA. 147p.
- ACHOUR.S, 1990**: La qualité des eaux du Sahara Septentrional en Algérie. Etude de l'excès en fluor. Tribune de l'eau, Cebedeau, 42 (542), 53-57.
- ACHOUR S, YUCEF L ,2001**: Excès des fluorures dans les eaux du sahara septentrional oriental et possibilité de traitement. E.I.N. International, N°6, 47-54.
- ALKAMA.D et Al, 2001**: Essai d'analyse typo-morphologique des noyaux urbains traditionnels dans la région des Ziban. Courrier du Savoir – N°01, Novembre 2001, pp. 81-88.
- ANAT ,2003** : Schéma directeur des ressources en eau .Wilaya de Biskra- Phases II.
- ANDRIEUX .M, 1977**: Reconnaissance générale par prospection électrique de la région de Ségui de Gabès. Zograta. Note DGRE. Tunis : Direction générale des ressources en eau (DGRE), 1977 ; 15 p.
- AIDAOUI. S, 1994**: Ressource en eau et aménagement hydro agricole dans la région de Biskra -Ziban- (Algérie). Thèse de Doctorat.
- AGOSSINE .M et Al, 2004**: Reconnaissance des ressources en eau du bassin d'Ouarzazate (Sud-Est marocain) .Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, 2004, n°26, 81-92.
- ALASSANE .A, 2004**: Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaines littorale dans la région de Portonovo (Sud du Benin): identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle. Thèse de Doctorat.
- ALBINET. M, 1970**: Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines. Bull. BRGM (2), Section III, N°4, pp 13-22.
- ALLER . I et al. 1987**: DRASTIC a standardized system for evaluation of ground water pollution, potential using hydrogeology setting . Rapport EPA .NWWA. Ohio. USA. 455 p 22 cartes.
- AMRAOUI .F, 2000**: Etude hydrochimique des nappes de Témara et de la Chaouia côtière (Meseta marocaine) Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1999-2000, n°22, pp. 71-80.
- ANRH ,2002** : Inventaire des points d'eau dans la wilaya de Biskra.
- ANRH, 2005**: Tourisme Saharien et gestion durable de l'eau. Projet pilote et expérimental "Oasis, Eau, Santé, Tourisme" Colloque international - Ouargla - Algérie - Décembre 2005.
- ANRH,2005**: zones humides au Sahara septentrional, Caractérisation et propositions d' aménagement, Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara - C I R E S S -, Ouargla – 12 et 13 décembre 2005.
- ANRH, 2006**: Données sur les Logs stratigraphiques des forages de la wilaya d'Ouargla. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. Direction Régionale Sud, Ouargla, Algérie.
- A.R.M.I.N.E.S (rapport), 1975**: Modèle de gestion et de mise en valeur des nappes aquifères du complexe terminal « Oued Rhir- Souf – Ouargla ». Ecole des mines de Paris.

- BACHA .M, 2002:** Etude comparative de la salinité des eaux des barrages : Foum El Gherza – Fontaine des Gazelles – et Babar. Mémoire de d'Ingénieur d'Etat.
- BAHIR .M et Al 2003:** Impact de la sécheresse sur la ressource en eau en zone semi aride : cas de l'aquifère Barrémien – Aptien de la zone côtière d'Essaouira (Maroc). Ecnologia de la intrusion de agua de mar en acuiferos costeros : países mediterraneos.IGME .ISBN .84-7840-740(2003).
- BAUDRY. J et AGNES. J, 2003:** De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion.244 p.
- BEDRANI .S, 2003:** L'eau et l'agriculture dans la zone SASS : quelques résultats issus du RGA.
- BEDRANI et Al, 2005:** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Données agronomiques et socio-économiques sur la zone SASS en Algérie. Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), Tunis, 74 p.
- BEL, F. et CUCHE, D, 1970:** Etude des nappes du complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématiques. Direction de l'Hydraulique de la wilaya d'Ouargla.
- BELLOUTI .A, 2002:** Mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux souterraines et des sols dans le périmètre irrigué du Tadla, au Maroc, Actes de l'atelier du PCSI, Montpellier, France, 28-29 mai 2002.
- BENMESSAOUD .H, 2009:** Etude de la vulnérabilité à la désertification par des méthodes quantitatives numériques dans le massif des Aurès (Algérie). Thèse de Doctorat.
- BESBES .M (OSS) et Al 2005:** étude sur modèle mathématique de système aquifère de la région de Biskra -système aquifère du Sahara septentrional-« SASS »Gestion commune d'un bassin transfrontière Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS) Ouargla - 12 et 13 décembre 2005.
- BESBES. M, 2007:**Définition d'un réseau de surveillance piézométrique du système aquifère du Sahara septentrional Article scientifique Sécheresse 2007 ; 18 (1) : 13-22.
- BNEDER et BRL ingénierie ,1998:** Etude du Plan Directeur Général de Développement des Régions Sahariennes" juin 1998.
- BODY . K, 1988:** Etude pluviométrique Ouled Djellal et Sidi Khaled (W. de Biskra) N° 168 - Mai 88.
- BOUAMMAR .B et Al, 2008:** Le développement de l'économie agricole oasienne: entre la réhabilitation des anciennes oasis et l'aménagement des nouvelles palmeraies *2008 / الباحث مجلة / عدد pp 19-24.
- BOUCHAGOURA .L ,2003:** Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de Tébessa. Mémoire de magister. 168p.
- BOUDJEMA. A et Al, 2010:** Elaboration de la carte de vulnérabilité de la carte de vulnérabilité par la méthode DRASTIC: cas de la nappe du Miopliocène à Hassi messaoud, Nord-Est Algérien. Communication Science Communication & technologie N° 8. Janvier 2010. PP111-116.
- BOULABAIZ .F ,2006 :** Contribution à l'étude de la vulnérabilité de la nappe de Collo N.E Algérien. Mémoire de magister. 135p.

BOUCHAIB.M, 2005: Contribution a l'identification de la géométrie et de la structure du système aquifère de la province d'El Jadida. Mémoire D.E.S.A. UFR-DESA ST/03.

BOUCHAIB .A, 2007; Etude géochimique et isotopique des principaux aquifères du bassin Crétacé d'Errachidia et de la plaine de Tafilalet, Thèse de Doctorat.

BOUCHET, 1963: Evapotranspiration réelle et potentielle: signification climatique. Station centrale de bioclimatologie, Versailles. Institut national de la recherche agronomique(IAHS). France .pub n°62, pp 134-142.

BOUGHERARA. A et Al, 2009: Etude préliminaire des images landast et Alsat pour le suivi des mutations agraires des Ziban (extrême Nord-Est du Sahara algérien) de 1973 à 2007.Journées d'animation scientifique(JAS09) de l'AUF Alger .Novembre 2009.

BOUTKHIL. M et Al, 2007: Contraintes et perspectives des aménagements hydro agricoles et antiérosifs en Algérie. Acte des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007.

BOUZIANE. M.T et Al, 2009: Les Eaux Profondes de la Région de Biskra (Algérie). European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol.25 No.4 (2009), pp.526-537.

BRINIS. N ,2004: Salinité des eaux souterraines de la région Est de la plaine d'El-Outaya Colloque international, terre, eau Annaba.

BRINIS. N, 2010: Evolution of Chemical Facies of Groundwater in the El-Outaya Plain, Biskra, Algeria. Journal International Environmental Conflict Management, Santa Catarina – Brazil, 1(1), pp. 98-105, Dec. 2010.

BRL /CDARS, 1999: Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes. Rapport sur les connaissances d'ensemble. ANRH Algérie.

BUSSON.G, 1971: Etude des ressources en eau du Sahara septentrional par UNESCO.Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation.Vol 5.

BUSSON et CORNEE, 1989: Données sur les paléoclimats déduites de la sédimentation continentale du Mésozoïque saharien. Environnements of Mid-Cretaceous Saharan dinosaurs- Elsevier .pp 37-42.

BZIOUI M, 2005: Rapport sous regional sur la mis en valeur des ressources en eau en Afrique du Nord. UN WATER-AFRICA. Mars 2005.

CASTANY.G, 1982: Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie). Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal. Bull. du B.R.G.M.Hydrogéologie et géologie de l'ingénieur. 2ème série.2.127-149.

CDTN (rapport) ,1992: Etude hydro chimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Centre de développement des techniques nucléaires.1 er Rapport: 1 ère campagne novembre 1991.2 ème Rapport: 2 ème campagne 1992.

C.G.G ,1972 : Réalisation d'une campagne géophysique sur l'aquifère Tébessa Morsott. Rapport interne. 20p.

CHABOUR N, 2007: Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de Doctorat.

CHAFFAI H et Al, 2006: Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de Skikda: Application de la méthode DRASTIC. Bulletin du service géologique national Vol17n°1, pp 63-74,2006.

CHAPUI et Al ,2009: Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à L'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.31 No.1 (2009), pp. 157-171.

CHEBBAH M. et al. 2002: Pollution des eaux souterraines en zones arides et semi-arides : Cas de la nappe phréatique du Souf (Bas Sahara septentrional, Algérie)'. International Workshop on Water in the mediterranean Bassin : Ressources and sustainable Development (Watmed 2002), Manastir, Tunisia.

CHEBBAH. M, 2007: Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse de doctorat .410 p.

CHIHANE B. et Al, 2010: Etude hydrochimique et Approche Isotopique en Région semi-aride: cas du Synclinal de Djelfa (Algérie) .European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.45 No.2 (2010), pp.270-290.

CNRS, 1978: Recherches sur l'Algérie. Service de documentation et de cartographie géographiques.

COUTAGNE .A, 1935. Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. La Houille blanche. p 360 – 369, 5 fig.

COUTAGNE A., et DE MARTONNE, 1958: Evaporation et déficit d'écoulement. Ass. Int. Hydrologie. Sci, s. d. p 97 - 128.

CORNET. A ,1961: Initiation à l'hydrogéologie Saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires Sahariennes. Service des études scientifiques. Birmandreis, Alger, 1961,108p.

CORNET, A. et ROGNON, P.H, 1964: Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. Géog, phys et Géol, Dyn. Vol VI, fasc 1, 5-72.

COTE MARC, 2005 : La ville et le désert, le Bas-Sahara Algérien.306 p.

DEBEICHE.T. H, 2002: Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat. Univ. De franche comté. 199p.

DEMRH N° 184:Renseignements hydrologiques sur la zone industrielle de Biskra.

DEMRH N° 18/N Intensité de pluies en Algérie.

DEMRH 73/SHYL/O15: Etude hydrologique de faisabilité des barrages de Fontaine des Gazelles.et Khanga Sidi Nadji.

DEMRH, 1980: Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra, Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, service hydrogéologique.

DPAT, 2002: Prospective Territoriale Pour un Développement Durable et Intègre de la wilaya de Djelfa

- DJABRI. L, 1987:** Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la plaine d'effondrement «Essai de modélisation». Thèse de Doc. Ing. de l'Univ. Des Sci. et Tech. de Franche-Comté. 176p.
- DJABRI. L et Al, 2001:** Mise en évidence du processus de salinité des superficielles. Vérification par l'ACP dans le secteur de Annaba-Boucheougouf et Guelma. Revue Tribune de l'Eau. Vol, 54.N° 610. pp29-43.
- DJABRI. L et Al, 2001 :** La méthode DRASTIC, un moyen moderne pour l'étude de la vulnérabilité des nappes : Application aux nappes superficielles de Guelma- Boucheougouf-Annaba. Revue EDIL inf-eau n° 27.pp4-9.
- DJABRI. L et Al, 2003:** Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria. Environmental Geology Revue, volume 44-number6-September, 44:738-744.
- DJELLOULI, Y, 1991:**Variation de la température moyenne annuelle de la station d'Alger-Bouzaréah sur une centaine d'années. Publ. Ass. Intern. Clim., 431-439, Vol.3, Lannion – Rennes.
- DJELLOULI H.M et Al, 2005:** Qualité chimique et bactériologique des eaux de consommation du Sud Algérien Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS) Ouargla - 12 et 13 décembre 2005.
- DJELLOULI .Y, 2005:**Ressources en eau des zones arides et semi-arides au Maghreb. Article.
- DJILI . K et Al, 2003:** La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur, Article scientifique Sécheresse volume 14 N°4 2003.
- DENIS . I. ,1990:** Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. Revue Sciences et Techniques de l'Eau, 25, N°3.
- DEKHINET.S ,2005 :** Projet de recherche .Rapport Annuel « Etude de potentialités morphopedogénétique des sols aurassiens Laboratoire de recherche APAPEZA.
- DIOP NGOM F et Al, 2002:** Contrainte climatique des nappes d'eau souterraines en zone Soudano-Sehélienne: Cas de la nappe phréatique du Bassin de la Néma dans la région du Sine au centre Ouest du Sénégal. African Journal of Science and Technology (AJST).Science and Engineering Series Vol. 3, No. 1, pp. 44-50.
- DUBIEF. J, 1959, 1963:** Le climat du Sahara. Institut de recherche saharienne, Algérie, mémoire hors série, tome 1, 312p. Tome 2, 275p.
- DUBOST.D, 1991:** Ecologie, aménagement et développement agricole des Oasis Algériennes. Thes.doct.univ. Tours.549p.
- DURAND J.H., 1983 :** Les sols irrigables, Techniques vivantes. Pesse, Univ. France., 339 P.
- EMBERGER.L., 1955:**Une classification biogéographique des climats. (Trav., Inst., Bot., montpellier, 3-43 p).
- ERESS, 1972:** Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. UNESCO, Paris. 7 Vols.

- ERESS, 1972:** Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. UNESCO, Paris. (7 Vols.and Annexes).
- ERIC, 2004:** Hydrogéologie objet, méthodes, application. Édition Dunod, Paris, 24-25 pp.
- FABRE, 1974:** Le Sahara: un musée géologique, La Recherche N°42. Février.
- FABY et Al, 2000:** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Doc. Tech. FNDAE, Hors-série n° 11, 30 p.
- FAO, 2002:** Eau et agriculture: produire plus avec moins d'eau, Rome, 44p.
- FAO, 2005:** Utilisation des engrais par culture en Algérie. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rapport de Première édition, publié par la FAO, Rome. 44 pages.
- FOUILLAC .C et Al, 1981:** Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry and geothermal reservoirs. Geothermics 10, 55–70.
- FETEN J. H et Al, 2008:** Rationalisation du réseau piézométrique du système aquifère du Sahara septentrional. Sécheresse 2008; 19 (3) : 163-71.
- FLANDRIN. J, 1941:**Rapport sur l'hydrogéologie du Bas Sahara. DEMRH Alger.
- GAOUAR. A, 2003:** La crise de l'eau, une crise culturelle. Cas de l'étage bio-climatique de l'aride oasis de Biskra (Algérie).Colloque international de Cogolin – 19/20/21 juin 2003.
- GASMI. M et Al, 1997:** Caractérisation géophysique d'une nappe artésienne superficielle à Sousse (Tunisie). La Houille Blanche 1997 ; (6) : 79-88.
- GASMI. M et Al, 1998:** Contribution à l'étude géophysique d'une nappe profonde dans la région de Gabès (Sud Tunisien). La Houille Blanche 1998 ; (7) : 51-9.
- GASMI. M, 2003:** Contribution de la prospection électrique à l'étude hydrogéologique des aquifères dans la plaine de Mech et de Sned sud (tunisie centrale). La houille blanche 2003 (4).
- GONDE et JUSSIAUX ,1980:** Cours D'agriculture Moderne., Editions La Maison Rustique., 619 P.
- GONFIANTINI. R et Al ,1974:** Etude isotopique de la nappe du CI et ses relations avec les autres nappes du Sahara Septentrional. In: Proc. Symp.Isotope Hydrology, Vienna, March 1974. IAEA, Vienna. pp. 227–241.
- GOUAIDIA. L ,2002 :** Approche hydrochimique d'une nappe en zone semi aride : cas de la nappe alluviale de la plaine de Tébessa, extrême Est Algérien. Mémoire de Magister .180p.
- GOUAIDIA.L, 2008:** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord –Est Algérien. Thèse de Doctorat.
- GOUSKOV. N ,1964:** Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000. Biskra. Serv. Géol. De l'Algérie. Alger.
- GUENDOZ, A., 1985:** Contribution a l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay.

- GUENDOZ .A et Al, 1996:** Drainance de la nappe profonde du Continental Intercalaire vers les aquifères superficiels à Ouargla: arguments isotopiques. In: Colloq. Internat. Sur l'utilisation des techniques isotopiques dans le domaine des ressources en eau et sol, Mahdia, Tunisia.
- GUENDOZ. A et Al, 1997:** Palaeoclimatic information contained in groundwaters of the Grand Erg Oriental, N.Africa. In: Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and Atmosphere. IAEA, Vienna, pp. 555–571.
- GUENDOZ .A et Al, 2003:** Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the complex terminal aquifer in Algerian Sahara. *Hydrogeology Journal*, 11, pp 483-495.
- GUERGAZI .S et Al, 2005:** Caractéristique physico-chimique des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. *Pratique de la Chloration. Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.119-127.
- HADEF. R et Al, 2001:** Le déficit d'eau en Algérie: une situation alarmante. *Desalination* 137 (2001) 215–218.
- HAMEL .A ,1990 :** Essai de synthèse de la carte hydrogéologique du sous bassin de Tolga et sa note explicative.
- HALLAIRE M., 1959:**Potentiel efficace de l'eau dans le sol et évapotranspiration réelle (à ce même congrès).
- HASSAN.A, 2005:** Exploitation des ressources hydriques dans l'activité pétrolière. Colloque international sur les ressources en eau souterraines au Sahara .CIRESS Ouargla - 12 et 13 décembre 2005.
- HIRCHE. A, 2007:** Évolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes *Science et changements planétaires / Sécheresse*. Volume 18, Numéro 4, 314-20, Décembre 2007.
- HSISSOU Y et Al, 1997:** Dynamique et salinité de la nappe côtière d'agadir (Maroc): Influence du biseau salé et des faciès évaporitique. *Hydrochemistry, IAHS Publ.*, 244.
- IDDER .T, 2007:** Le problème des excédents hydriques à Ouargla: situation actuelle et perspectives d'amélioration. *Article Sécheresse* 2007; 18(3):167-7.
- IMACHE. A et Al, 2006:** Demandes en eau des exploitations agricoles du périmètre irrigué de la Mitidja ouest (Algérie). *Economies d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb*. Deuxième atelier régional du projet Sirma, Marrakech, Maroc, 29-31 mai 2006.
- IWMI (International Water Management Institute), 2000:** *Water supply and demand in 2025*, Colombo, Sri Lanka.
- JACOB, OLIOSO et WASSENAAR, 2002:** Estimation of évapotranspiration on heterogeneous pixels.
- JACQUART. C., CHOISNEL, E. 199:** "Un modèle de bilan hydrique simplifié à deux réservoirs utilisable en agrométéorologie", *La Météorologie*, 8(9), pp. 29-44.
- JAODU EI ASSLOUDJ et Al, 2007:** Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées, *Afrique SCIENCE* 03(1) (2007) 109 – 122 ISSN 1813-548X.

J.P. JOURDA et Al, 2005: Gestion et protection des ressources en eaux souterraines : contribution d'un SIG à la réalisation de la carte de vulnérabilité à la pollution des aquifères fissures de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire) selon la méthode DRASTIC. Conférence francophone ESRI5-6 Octobre, Issy-les-Moulineaux 2005.

J.P. JOURDA et Al 2007 : Evaluation du degré de protection des eaux souterraines : vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) par la méthode DRASTIC. Session Environnement/Eau, 11p.

JEAN NDEMBO LONGO ,2009: Apport des outils hydrogéochimiques et isotopiques a la gestion de l'aquifère du Mo/nt AMBA. (De la zone de Kinshasa / République Démocratique du Congo). Thèse de Doctorat.

KARAOULI. F et Al, 2008: Étude hydrogéologique et impact de l'intensification de l'exploitation sur la qualité des eaux souterraines du bassin de Moularès-Redeyef (Sud-Ouest tunisien). Sécheresse 2008; 19 (1) : 61-65.

KHADRAOUL.2006: Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien. ABH Sahara Gabriel Etienne ,2009: Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à L'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.31 No.1 (2009), pp. 157-171

KETTAB A, 2001:Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. Desalination 136 (2001) 25–33.

LABORDE, 2003: Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, projet PNUD/ALG/88/021, une carte avec notice explicative, 44 p.

LAFFITTE .R, 1939: Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull, Serv. Carte géologique Algérie, Alger.2^{ème} édition.484 p.

LAMBERT.P, 1996: Développement d'un simulateur multi-agents pour l'étude de la migration estuarienne des civelles en Gironde. Mémoire de stage de DEA. Cemagref - Université d'Orléans. 40 p.

LATRECH. D, 2005: Gestion concrétée d'une ressource partagée cas du système aquifère du Sahara septentrional. OSS CIRESS. Ouargla12-13 Décembre 2005.

LEDUC .C et Al, 2004: Evolution de la ressource en eau dans la vallée du Merguellil (Tunisie centrale). "La modernisation de l'agriculture irriguée dans les pays du Maghreb"Séminaire WADEMED Rabat 19/21 avril 2004.

LOUCIF SEIAD N, 2008: L'eau en Algérie et sa gestion dans le secteur agricole. Article Gestion de l'eau. Economie PP:298-309.

MAHI TABET AOUL, 2008: Les changements d'utilisation et des couverts des sols et les ressources en eau. Association pour la Recherche sur le Climat et l'Environnement (ARCE).

MANIA .J et Al, 1998: La protection des eaux souterraines dans les zones rurales de moyenne montagne à vocation agricole. Hydrogéologie, N°4, pp 29-32, 1 Fig., 2 Tabl.

- MAMOU. A, 1990:** Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien. Thèse es Sciences, présentée le 28 juin 1990. Univ. Paris-sud.
- MARC BIED-CHARETON, 2002:** Le système aquifère du Sahara Septentrional. Une conscience de Bassin. Synthèse de la première phase du Projet "OSS/SASS".DRAFT MBC, 2002.
- MARGAT. J, 1985 :** Hydrologie et ressources en eau des zones arides. Bull. Soc. Géol. France, (8), t.1, n°7, pp.1009-1020.
- MARGAT.J, 1992:** L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et Prospective. Paris, Economica, 196 p. Les Fascicules du Plan Bleu, n°6.
- MAUGET.G, 1967:** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Sahara algérien. Recherches sur l'Algérie. Edition CNRS Paris. Pages 68 – 75.
- MDIKER. N et al.2009:** Contribution à l'étude de la salinisation de la nappe côtière de sahel El Haouzia région d'El Jadida au Maroc. Afrique Science 05(2) (2009) 232 – 245. ISSN 1813-548X.
- MEDDI. M 2004 :** Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : le cas de la plaine de Ghriss (Nord- Ouest algérien). Sécheresse, vol. 19, n° 3, p. 173-184.
- MENANI M. R, 2001 :** Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode Drastic. Revue Sécheresse, numéro 12, volume2, pp 95-101, juin 2001.
- MESSAHE M et Al, 2008:** Evaluation de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique et profondeur de drainage dans les terres irriguées en milieu saharien. LA Houille Blanche/N° 4-pp 25-28.
- MOHAMADOU.M, 2000:**Evaluation et Caractérisation des facteurs agro climatiques. Cas de la céréaliculture pluviales en zones semi-arides (BBA, Sétif, Mila). (mem., Ing., Dept., G.R ., INA, Alger., 59 p).
- MOULLA S. A, 2005:** Un aperçu de quelques résultats d'hydrologie isotopique importants obtenus au Sahara Algérien. Colloque international « Les Ressources en Eau Souterraine au Sahara» ABHS, Ouargla le 13-14/ 12/ 2005.
- MURAT. V. 2000 :** Etude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution : Application aux aquifères granulaires du Piémont LAURENTIEN. Géosciences, Québec, 127p.
- NACEUR .F, 2005:** Les espaces verts urbains à Biskra. Support de Violence et source d'insécurité. Mémoire de Magistère.
- NESSON, 1978:** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Sahara algérien. Recherches sur l'Algérie. Edition CNRS Paris. Pages 68 – 75.
- NEZLI I. D et Al ,2009:** Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'Ya (Ouargla). Courrier du Savoir – N°09, Mars 2009, pp.57-62
- OLIVIER. J E, 2006:** Encyclopedia of world climatology, 89 p.

OSBORN N.I et Al, 1998: Vulnerability assessment of twelve major aquifers in Oklahoma. Oklahoma Water Resources Board Technical Report 98-5, 34 p.

OUALI S, 2006: Etude géothermique du Sud de l'Algérie. Mémoire de Magistère.

OUALI .S, 2007: Etude des ressources géothermiques du sud algérien. Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3 (2007) 407 – 414.

OULD BABA SY M, 2005: Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de Doctorat. janvier 2005.

PENMAN-MONTHEIL, 1990: Evapotranspiration de référence. Méthode Révisée et recommandée (F.A.O., doc. trad., Angl., par M.Elosmani; Memb., C.M.A de l'O.M.M; Octobre 1994; 10p).

PERSON, 1978: Physico-chemical parameters influencing faecal bacterial survival in waste stabilization ponds. Water Science and Technology 1978;19 (12):145-152.

ROUABHIA.A.K et Al, 2010: L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 55-67.

RICHARDS L. A, 1979: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.

ROUAHNA. H, 2007: Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la region d'Ain Ben Noui. Biskra. Mémoire de magister.

R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988: La qualité de l'eau en agriculture, Rév. 1, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 29.

SAIDI .S et Al, 2009: A GIS based susceptibility indexing method for irrigation and drinking water management planning: Application to Chebba - Melloulich aquifer. Tunisia, 10p.

SAIDOUN. B et Al, 2000: Note technique sur l'épisode pluvieux du 8 Mai 2000 -Station hydrométrique de M'Couneche / Barrage de Foum El Gherza-(Versant Sud des Aurès) A.N.R.H, Décembre 2000.

SARLIN ,1970: l'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. Annuelle géographique. n°464.

SCHOELLER. H, 1934 : Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources Masson et Cie. Editions, 642 pages.

SCHOELLER, H., 1948: Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une nappe. Assemblée générale d'OSLO de l'union Géodésique et Géophysique internationale.

SEDRATI .N et Al 2007 : Changements climatiques et impacts sur la ressource en eau de la ville de Biskra. Journées internationales sur l'impact des changements climatiques Biskra 15-17 décembre 2007.

SEDRATI. N et Al, 2008: Apport de la géophysique pour la détermination de l'extension des aquifères de la région de Biskra. Journal Algérien des Régions Arides n°07.2008.P45-54.

SEDRATI .N ,2008: Etat de sollicitation des nappes d'eau souterraines dans la région de Biskra, journée d'étude et de la sensibilisation à la gestion de la ressource en eau dans les régions arides et semi arides. .C.R.S.T.R.A de Biskra le 15 mars 2008.

SEDRATI. N et Al ,2010: Impact des néo facteurs sur les ressources en eau à Biskra -Sud Est algérien. Colloque international sur l'eau Annaba 2010.

SERRA .L, 1954:Le contrôle hydrologique d'un bassin versant, la houille blanche (3^{ème} journées de l'hydrauliques, SHF), Paris, pp29-35.

SMADHI.D, 2000:Evapotranspiration potentielle et besoins en eau de la culture de blé dur dans la région de Sétif (Cas du bassin versant de Bousselam). (Rev., n°6 ; I.N.R.A.A., 29-40p).

SMADHI et Al, 2001: Variabilité des précipitations et conséquence sur la céréaliculture en zones semi-arides. (sém., Ass., Maroc., "AMAECO", Rabat; 10-19 p).

SMITH et KOALA, 1999: Marine ecosystem sensitivity to climate change. Bioscience, 49, 393-404.

STEWART ,1969 : Etude des nappes du complexe terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématique, D.H.W., Ouargla.

TABOUCHE N et Al, 2004: Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, Juin 2004, pp.99-113.

TABOUCHE N ,2011 : Hydrogéochimie du Fluor dans les eaux Souterraines Algériennes du Sahara Septentrional : Cas des nappes du complexe Terminal. Thèse de Doctorat. 292 p.

TAIBI R. et Al, 1988:Etude de faisabilité du barrage de Khangat Sidi Nadji sur l'Oued EL Arab N° 066 – Février 1988.

TAVERNIER et VAN WAMBEK, 1976: Système de computation de New hall Nom de la station. Régime thermique du sol. Régime d'humidité.

THORNTHWAITE, 1948: Published the first version entitled "The Water Balance," Publications in Climatology VIII (1): 1-104, Drexel Institute of Climatology, Centerton, NJ.

THORNTHWAITE et J. R MATHER 1957: Calculating Thornthwaite and Mather's actual evapotranspiration using an approximating function.

TIXERONT, J. 1960. Débit solide des cours d'eau en Algérie et en Tunisie. In IAHS Publ., 53: 26-42.

TOLGA P et Al, 2009 : Susceptibility indexing method for irrigation water management planning: Applications to K. Menderes river basin, Turkey.Department of Geological Engineering, Middle East Technical University, 06531 Ankara, Turkey. Journal of Environmental Management, Volume 90, Issue 1, p. 341-347.

TOUTAIN, 1979: Eléments d'agronomie saharienne de la recherche au développement. INRA, Marrakech., 275 P.

TURC.L., 1954. Le bilan d'eau des sols: relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. 3^{ème} journées de l'Hydraulique, Alger. pp 36 - 43.

TURC. L, 1961: Evaluation des besoins en eau d'irrigation; évapotranspiration potentielle. Ann. Agr. n° 12. P 13 - 49.

UNESCO, 1977: Actualisation de l'étude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport final. 490 p.

U.S. Environmental Protection Agency, 1987: Health effects assessment for boron and compounds. Environmental Criteria and Assessment Office.8 pages.

VERDEIL.P, 1984:Le diagramme synthétique : Une méthode d'étude des débits extrêmes, un instrument de gestion des ressources. 5 th. International Conference of water resources planning and management EMCWP. Water in the year 2000, Athen. 5. 185 - 5. 199. Fig1.

VERDEIL.P, 1989: Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie. Sem. Sci. Terre, Alger.

WEDEPOHL. K. H, 1974: "Hand-book of Geochemistry." Springer-Verlage, Berlin,Heidelberg, New York, vol.II-4: p.9K-1

WESSELING J., 1960: Aids to the calculation of the evaporation from a free water surface. Verslagen en Mededelingen n° 4, 1960. p113.

WILCOX. L, 1948: The quality of water agricultural use. US Dept Agriculture Tech Bull 962, Washington DC.

ZEKRI. Dj, 2005: Etude des variations thermiques saisonnière dans les régions semi-arides. Mémoire de Magister.

ZELLA. L et Al, 2006: Gestion de l'eau dans les Oasis Algériennes. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°05, Juin 2006, pp.149-156.

ZELLA. L et Al, 2007: Evolution de l'irrigation. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 06, Décembre 2007, pp. 65-80.

ZENATI .N et Al, 2010: Utilisation de la géostatistique dans l'établissement de la carte de vulnérabilité intrinsèque d'une nappe superficielle a un polluant par infiltration verticale. Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar Annaba. Algérie. Communication Science & technologie N° 8. Janvier 2010.pp 105-110.

ZEREG.S, 2010:Impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine des régions semi arides, exemple des plaines de Tébessa, Chéria et El Ma El Abiod, Est Algérien .Mémoire de magister.

ZIANI . D, 2009: Impacts de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de Ain Djasser .Est Algérien. Mémoire de Magister.

Carte:

-Carte topographique de Biskra 1/50000 : feuille n°320-8 14 – C24.

-Carte hydrogéologique de Biskra 1/50000.

-Carte géologique au 1/200.000 de la région de Tolga.

-Esquisse géologique des Aurès au 1/200.000 par R. Laffilte.

Sites internet:

- [http://www.enpc.fr/cereve/Home Pages/gaume/courshydro/courshydro/courshydro.html](http://www.enpc.fr/cereve/Home%20Pages/gaume/courshydro/courshydro/courshydro.html).
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/hydrochimie>.
- [http://www.godplanet.info/goodplanet/index.php/fr/outils-juridiques2/convention-de-Ramsar/fiche-thématique-convention-de-ramsar/\(thème\)/2020](http://www.godplanet.info/goodplanet/index.php/fr/outils-juridiques2/convention-de-Ramsar/fiche-thematique-convention-de-ramsar/(theme)/2020).
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/pollution>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/polluant>.

Liste des abréviations

Liste des Abréviations

<i>Abréviations</i>	<i>Significations</i>
<i>A.D.E</i>	<i>Algérienne des eaux</i>
<i>A.E.I</i>	<i>Alimentation en eau industrielle</i>
<i>A.E.I.R</i>	<i>Alimentation en eau d'irrigation</i>
<i>A.E.P</i>	<i>Alimentation en eau potable</i>
<i>A.N.A.T</i>	<i>Agence nationale d'aménagement du territoire</i>
$^{\circ}\text{C}$	<i>Degré Celsius</i>
Ca^{++}	<i>Calcium</i>
<i>CGG</i>	<i>Compagnie des Guides de Guyane (ex géophysique)</i>
<i>Cl</i>	<i>Chlorures</i>
<i>D.H.W</i>	<i>Direction de l'hydraulique de la wilaya</i>
<i>Dj</i>	<i>Djebel</i>
<i>D.S.A</i>	<i>Direction service agricole</i>
<i>E.NA.GEO</i>	<i>l'Entreprise Nationale de Géophysique</i>
<i>FAO</i>	<i>food and agriculture organisation</i>
<i>F</i>	<i>Fluor</i>
<i>ha</i>	<i>Hectare</i>
Hm^3	<i>Hectomètre cube</i>
<i>I.F.E.S</i>	<i>Icosium forage engineering service</i>
<i>IWMI</i>	<i>International Water Management Institute</i>
<i>Km</i>	<i>Kilomètre (unité de longueur ou distance)</i>
Km^2	<i>Kilomètre carré (superficie)</i>
<i>l/j/habitants</i>	<i>Litre par jour par habitant</i>
<i>l/s</i>	<i>Litre par seconde</i>
<i>m</i>	<i>Mètre (unité de longueur ou distance)</i>
<i>mm</i>	<i>Millimètre</i>
<i>m/s</i>	<i>Mètre par seconde</i>
m^2	<i>Mètre carré</i>
m^3	<i>Mètre cube</i>
m^3/j	<i>Mètre cube par jour</i>
<i>meq/l</i>	<i>Milliéquivalent par litre</i>
<i>mg/l</i>	<i>Milligramme par litre</i>
Mg^{++}	<i>Magnésium</i>
<i>N-E</i>	<i>Nord Est</i>
NH_4^+	<i>Ammonium</i>
NO_2^-	<i>Nitrites</i>
NO_3^-	<i>Nitrates</i>
<i>O.M.S</i>	<i>Organisation mondiale de la santé</i>
<i>O.N.M</i>	<i>Office national de la météorologie</i>
O_2	<i>Oxygène dissous</i>
<i>P.N.R.D.A</i>	<i>Plan national de la recherche et du développement agricole</i>
PO_4^{-3}	<i>Phosphates</i>
<i>Qtx</i>	<i>Quintaux</i>
<i>S.A.R</i>	<i>Sodium absorption ratio</i>
<i>S.A.U</i>	<i>Superficie agricole utile</i>
SO_4^-	<i>Sulfates</i>
<i>U.I</i>	<i>Unité industrielle</i>

Liste des figures

Liste des figures

<i>Fig.01: Carte des limites administratives de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>01</i>
<i>Fig.02: Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>02</i>
<i>Fig.03 : Carte d'esquisse géologique de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>06</i>
<i>Fig.04: Coupe géologique schématique de la région d'étude.....</i>	<i>07</i>
<i>Fig.05 : Esquisse tectonique (Extrait de la carte hydrogéologique de Biskra).....</i>	<i>10</i>
<i>Fig.06: Carte du milieu physique de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>12</i>
<i>Fig.7: Carte climatique de l'Algérie (Source Encarta, 2008).....</i>	<i>15</i>
<i>Fig.8 : Courbe pluviothermique de la station de Biskra (1990 -2007).....</i>	<i>16</i>
<i>Fig.9: Diagramme pluviothermique de la station d'Ain Touta (1989-2004).....</i>	<i>16</i>
<i>Fig.10 : Diagramme d'Emberger aux différentes stations.....</i>	<i>17</i>
<i>Fig.11: Variations mensuelle du climat aux stations de Biskra et de Ain Touta.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig. 12: Carte pluviométrique de la région de Biskra (extrait de la carte d'Algérie 1/500000, 1971).....</i>	<i>21</i>
<i>Fig.13: Variations interannuelles des précipitations (station de Biskra).....</i>	<i>22</i>
<i>Fig.14: Variations interannuelles des précipitations (station de Foum El Gherza).....</i>	<i>22</i>
<i>Fig. 15: Variations interannuelles des précipitations (station de Doucen).....</i>	<i>23</i>
<i>Fig.16: Variations interannuelles des précipitations (station de Ain Touta).....</i>	<i>23</i>
<i>Fig. 17: Variations interannuelles des précipitations (station de Sidi Khaled).....</i>	<i>24</i>
<i>Fig.18 et 19: Variations mensuelles des précipitations, stations de Biskra et de Doucen.....</i>	<i>28</i>
<i>Fig.20 &21 : Variations mensuelles des précipitations, stations Foum El Gherza et Sidi Khaled.....</i>	<i>28</i>
<i>Fig. 22: Variation mensuelles des précipitations aux différentes stations.....</i>	<i>29</i>
<i>Fig. 23: Variation saisonnière des précipitations dans la région de Biskra.....</i>	<i>30</i>
<i>Fig. 24a: Variations des Températures moyennes mensuelles (Biskra).....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 24 b: Variations des températures moyennes mensuelles (Ain Touta).....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 25 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle aux deux stations.....</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 26: Variations mensuelles de l'ETP calculée, à la station de Biskra.....</i>	<i>40</i>
<i>Fig.27: Variations mensuelles de l'ETP calculée à la station de Ain Touta.....</i>	<i>41</i>
<i>Fig.28: Représentation graphique du bilan hydrologique de Thornthwaite à la station de Biskra.....</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 29: Représentation graphique du bilan hydrologique de la station de Ain Touta.....</i>	<i>44</i>
<i>Fig.30 : Humidité relative moyenne aux deux stations.....</i>	<i>48</i>
<i>Fig. 31: Répartition des sondages électriques dans la région d'étude (ANRH, 2003).....</i>	<i>52</i>
<i>Fig. 32: Coupe géophysique du Secteur Doucen ouled Djellal.....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. 33: Coupe géophysique du Secteur Chegga.</i>	<i>58</i>
<i>Fig. 34: Coupe géophysique du Secteur Netine.....</i>	<i>59</i>

<i>Fig. 35: Coupe géophysique du Secteur Ain Daba.....</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 36: Coupe géophysique du Secteur Foum El Gherza.....</i>	<i>61</i>
<i>Fig. 37: Coupe géophysique du Secteur Gueddacha.....</i>	<i>62</i>
<i>Fig. 38 : Coupe géophysique du Secteur Sarg El Kebir.....</i>	<i>63</i>
<i>Fig.39: Carte en isopaches de la nappe des sables du Miopliocène.....</i>	<i>64</i>
<i>Fig. 40 : Carte en isopaches de la nappe des calcaires d'éocène inférieur.....</i>	<i>65</i>
<i>Fig. 41 : Coupe hydrogéologique schématique montrant la succession des niveaux aquifères région de Biskra (in Abdessalem, 1979).....</i>	<i>66</i>
<i>Fig. 42: Les aquifères inventoriés au niveau de la région de Biskra.</i>	<i>68</i>
<i>Fig.43: Coupes hydrogéologiques schématiques.....</i>	<i>69</i>
<i>Fig .44 : Position de la coupe AB</i>	<i>69</i>
<i>Fig. 45: Carte hydrogéologique de Biskra, établie à partir de la géologie de Biskra, 1979)....</i>	<i>70</i>
<i>Fig.46: Log stratigraphique du Forage El Alia Nord N°1 captant les alluvions de l'Oued Biskra.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig.47 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de Biskra (ANRH, 1980).....</i>	<i>74</i>
<i>Fig.48 : Coupe hydrogéologique schématique de la nappe des sables de Biskra (I.N.R.H, 1981).....</i>	<i>75</i>
<i>Fig.49 : Carte de profondeur de la nappe phréatique et de la nappe des sables de Biskra.....</i>	<i>76</i>
<i>Fig. 50: Carte piézométrique de la nappe des sables d'après Messoudi et Al, 1995 (modifiée).....</i>	<i>76</i>
<i>Fig.51: Carte granulométrie couplé à la conductivité hydraulique de la nappe des sables.....</i>	<i>78</i>
<i>Fig.52: Carte piézométrique de la nappe des sables de Biskra (ANRH, 1997).....</i>	<i>79</i>
<i>Fig.53: Carte piézométrique de la nappe des sables de Biskra (2008).....</i>	<i>80</i>
<i>Fig.54: Carte de battement de la nappe des sables.....</i>	<i>81</i>
<i>Fig.55: Coupe géologique dans la nappe des calcaire (DHW de Biskra, 1990).....</i>	<i>82</i>
<i>Fig.56: Carte piézométrique de la nappe des calcaires d'après Messoudi et Al, 1995 (modifiée).....</i>	<i>82</i>
<i>Fig.57: Carte piézométrique de la nappe des calcaires de Biskra (ANRH, 1980)</i>	<i>83</i>
<i>Fig.58 : Carte piézométrique de la nappe des calcaires de Biskra (2008).</i>	<i>84</i>
<i>Fig.59: Carte de conductivité hydraulique de la nappe de calcaire d'éocène inférieur.....</i>	<i>85</i>
<i>Fig.60: Volume d'eau mobilisé et exploité par chaque type d'activité.....</i>	<i>91</i>
<i>Fig.61: Répartition des forages inventoriés wilaya de Biskra 2008.....</i>	<i>92</i>
<i>Fig.62: Volume d'eau soutiré par nappe, région de Biskra, 2008.....</i>	<i>93</i>
<i>Fig.63: Carte des ressources en eau souterraines de la wilaya de Biskra : nappes moyennement profondes (30-500 m).ANRH, 2000.....</i>	<i>94</i>
<i>Fig.64: Barrage de Foum El Gharza.....</i>	<i>95</i>
<i>Fig.65: Barrage de fontaine des gazelles.....</i>	<i>95</i>
<i>Fig. 66: Répartition de la ressource en fonction des besoins dans la wilaya de Biskra.....</i>	<i>96</i>
<i>Fig.67: Evolution des prélèvements au niveau des différentes nappes de Biskra.....</i>	<i>99</i>

<i>Fig. 68: Volume soutiré de la daïra de Zeribet El-Oued.....</i>	<i>100</i>
<i>Fig. 69: Volume soutiré de la daïra de Sidi Okba.....</i>	<i>101</i>
<i>Fig. 70: Volume soutiré de la daïra de Biskra.....</i>	<i>101</i>
<i>Fig. 71: Volume soutiré de la daïra d'Ourelal.....</i>	<i>102</i>
<i>Fig.72: Volume soutiré de la daïra de Tolga et Foughala.....</i>	<i>102</i>
<i>Fig. 73: Volume soutiré de la daïra de sidi Khaled et Ouled Djellal.....</i>	<i>103</i>
<i>Fig. 74: Volume soutiré de la daïra d'El Outaya et M'Chounech.....</i>	<i>103</i>
<i>Fig.75: Volume soutiré de la daïra de Djemourah et El Kantara.....</i>	<i>104</i>
<i>Fig.76 : Evolution de la population dans la wilaya de Biskra de 1987 à 2025.....</i>	<i>112</i>
<i>Fig.77 : Evolution de la population et augmentation des besoins en AEP (Hm³/an) dans la wilaya de Biskra.....</i>	<i>113</i>
<i>Fig.78 : Evolution des besoins en eau d'irrigation dans le temps.....</i>	<i>116</i>
<i>Fig.79 : évolution dans le temps de la demande en eau (Hm³/an) pour l'industrie dans la wilaya de Biskra.....</i>	<i>117</i>
<i>Fig.80: Evolution des besoins globaux dans le temps de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>118</i>
<i>Fig.81 : Carte d'inventaire des points prélevés et analysés.....</i>	<i>122</i>
<i>Fig.82 : Variations des températures des eaux des deux nappes.....</i>	<i>123</i>
<i>Fig.83: Distribution des conductivités des eaux des nappes étudiées.....</i>	<i>125</i>
<i>Fig. 84: Variations spatiales du résidu sec de la nappe des sables.....</i>	<i>127</i>
<i>Fig.85: Distribution spatiale du résidu sec de la nappe des calcaires.....</i>	<i>127</i>
<i>Fig.86: Moyennes des éléments majeurs de la nappe des sables et celle des calcaires.....</i>	<i>129</i>
<i>Fig.87. Faciès chimiques de la nappe des sables.....</i>	<i>129</i>
<i>Fig.88. Faciès chimiques de la nappe des calcaires.....</i>	<i>129</i>
<i>Fig. 89 Diagramme de piper.....</i>	<i>130</i>
<i>Fig.90. Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards) -nappe des sables-</i>	<i>137</i>
<i>Fig.91. Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards)-nappe des calcaires.....</i>	<i>138</i>
<i>Fig. 92: Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox).....</i>	<i>139</i>
<i>Fig. 93: Origine du Magnésium-Nappe des sables.....</i>	<i>141</i>
<i>Fig. 94: Origine du Magnésium-Nappe des calcaires-.....</i>	<i>142</i>
<i>Fig. 95: Origines du sodium dans la nappe des sables.....</i>	<i>142</i>
<i>Fig. 96: Origines du sodium dans la nappe des calcaires-.....</i>	<i>143</i>
<i>Fig. 97(a et b): Graphique $Mg / (HCO_3 + SO_4) = f(Na/Cl)$.....</i>	<i>144</i>
<i>Fig. 98: Variations des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité- Nappe des sables.....</i>	<i>144</i>
<i>Fig.99: Variations des chlorures et des sulfates en fonction de la conductivité</i>	

<i>-Nappe des calcaires-</i>	145
<i>Fig. 100: Carte des indices DRASTIC (Carte de synthèse)</i>	149
<i>Fig. 101: Carte de vulnérabilité d'après la méthode DRASTIC</i>	149
<i>Fig. 102 : Carte de l'indice de sensibilité de l'eau d'irrigation de la nappe des sables de Biskra</i>	150
<i>Fig.103: Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'A.E.P de la nappe des sables de Biskra</i> .	151
<i>Fig.104 : Carte des classes de la conductivité des eaux de la nappe des sables selon (Pusalti et Al, 2009)</i>	151

Liste des tableaux

Liste des tableaux

<i>Tableau 01 : Description géologique et hydrogéologique du site.....</i>	<i>08</i>
<i>Tableau 02: Valeurs de l'indice d'aridité de l'Emberger.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 03: Valeurs de l'indice d'aridité annuel, stations de Biskra et de Ain Touta.....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau. 04: Indice d'aridité mensuel calculé (Biskra et Ain Touta).....</i>	<i>18</i>
<i>Tableau.05:Classement des zones arides.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 06: Valeurs de l'indice d'aridité d'après l'UNESCO, 1977.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 07: Indications sur les stations pluviométriques de la région.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau.08: statistiques élémentaires des précipitations annuelles.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau. 09: Caractéristiques des précipitations annuelles des stations pluviométriques.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau.10 : Tableau récapitulatif des années déficitaires et excédentaire de différentes stations.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau. 11: Précipitation moyennes mensuelles des stations.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau. 12: Précipitations moyennes saisonnières.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau.13 : jours de pluie par mois.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau. 14: coefficient de fréquence et intensité des précipitations au niveau des stations étudiées.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau. 15: Indications statistiques sur les températures des stations étudiées.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau. 16 : Valeurs de l'Evaporation mensuelle (stations de Biskra et de Batna).....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau. 17: Valeurs de l'ETP, calculées par la méthode de Thornthwaite (Biskra).....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau. 18: Valeurs de l'ETP, calculées par la méthode de Thornthwaite (Ain Touta).....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau. 19 : valeur de Constante a et b.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau. 20 : ETP, estimée à partir de la formule de Turc (station de Biskra).....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau. 21 : l'ETP, estimée à partir de la formule de Turc (station d'Ain Touta).....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau.22: ETP, estimée à partir de la méthode de Penman (stations de Biskra et de Ain Touta).....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau. 23: ETP, estimée à partir de la formule de Sarlin (stations de Biskra et de Ain Touta).....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau.24: Valeurs, de ETP, obtenues à partir des différentes méthodes utilisées (Biskra).....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau.25: Valeurs, de ETP, obtenues à partir des différentes méthodes utilisées (Ain Touta).....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau.26: tableau récapitulatif des valeurs de l'ETP.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau.27: Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite (Biskra).....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau.28: Bilan hydrologique calculé à partir de la formule de Thornthwaite (Ain Touta).....</i>	<i>43</i>
<i>Tableau 29: Valeurs de l'ETR calculées par la méthode de Turc.....</i>	<i>45</i>
<i>Le tableau. 30: Valeurs de l'ETR, données par la formule de Serra aux stations étudiées.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau. 31: Les valeurs de l'évapotranspiration réelle estimées par les différentes méthodes.....</i>	<i>46</i>
<i>Tableau. 32: récapitulatif des valeurs de l'ETR et d'ETP calculées par les différentes méthodes.....</i>	<i>46</i>
<i>Tableau. 33: résultats des calculs de ruissellement par la Formule de Tixeront-Berkaloff.....</i>	<i>47</i>

<i>Tableau 34: Résultats des calculs de l'infiltration efficace.....</i>	<i>47</i>
<i>Tableau.35: Vitesse des vents et vent de sable pendant la période (1992-2001).....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau. 36 : L'humidité relative moyenne mensuelle période 1971-1997.....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau. 37: Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997).....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau. 38: Détermination du régime l'humidité et de température du sol accordée de système de computation de New hall (TAVERNIER et VAN WAMBEK, 1976).....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau.39: Valeurs de la résistivité des formations existantes dans la nappe des sables.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau40: Valeurs de la résistivité des formations existantes dans la nappe des calcaires.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 41 : récapitulatif de la résistivité des formations existantes dans la nappe de sables et celle de calcaires de Biskra.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 42: caractéristiques des profils électriques de la région d'étude.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau. 43 : forages captant la nappe phréatique d'oued Biskra (2008).....</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 44 : Quelques valeurs de la perméabilité et de la transmissivité des forages captant la nappe phréatique d'oued Biskra.....</i>	<i>72</i>
<i>Tableau 45 : quelques valeurs de perméabilité déterminées par essais de pompage de la nappe des Sables 1993-1994 (ANRH) d'Ouargla.....</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 46 : Perméabilité de la nappe des calcaires déterminés à partir des essais par pompage. (ANRH) d'Ouargla.....</i>	<i>84</i>
<i>Tableau.47: Estimation du potentiel mobilisable et régularisable du Maghreb en Hm3 (IWMI, 2000).....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau .48: Potentiel de ressources en eau en milliard de m3 (ANRH, 2000).....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau .49 Utilisation des eaux souterraines pour chaque type d'activité.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau .50: Inventaire des forages à travers la wilaya de Biskra</i>	<i>91</i>
<i>Tableau .51: volume d'eau mobilisé par chaque type d'activité de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau.52: Volume d'eau soutiré par chaque nappe de Biskra.....</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 53: Estimation du potentiel hydrique des ressources en eaux souterraines de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>94</i>
<i>Tableau 54 : volume d'eau mobilisé par les barrages de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>95</i>
<i>Tableau. 55: Répartition du potentiel hydrique en fonction de son origine dans la wilaya de Biskra.....</i>	<i>96</i>
<i>Tableau 56: Variations des debits exploités au niveau des différents s aquifères de Biskra.....</i>	<i>97</i>
<i>Tableau 57: Evolution du prélèvement de différentes nappes de Biskra</i>	<i>98</i>
<i>Tableau 58: Volume d'eau disponible par chaque nappe de Biskra (ANRH, 2008)</i>	<i>99</i>
<i>Tableau 59: débits exploitables par les différentes nappes de Biskra.....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 60:Débits de quelques sources.....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 61 : Variation de la pression de la nappe de Tolga (d'après G.Mauget, 1967).....</i>	<i>106</i>

<i>Tableau 62: Répartition par daïras des ressources souterraines (Hm3/an) dans la wilaya de Biskra.....</i>	<i>108</i>
<i>Tableau 63: Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 1952.....</i>	<i>109</i>
<i>Tableau 64 : Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 1986.....</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 65: Alimentation en eau potable de la ville de Biskra en 2007.....</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 66 : consommation en eau potable en milieu rural.....</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 67 : Besoins en eau d'A.E.P dans la wilaya de Biskra.....</i>	<i>112</i>
<i>Tableau 68 : Evolution des surfaces irriguées et des besoins en eau pour l'agriculture de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau.69: Quantités d'eau issues des barrages.....</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 70 : volume d'eau utilisé pour l'agriculture à partir de chaque type d'ouvrage (2008).....</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 71/ Caractéristiques des barrages en projet.....</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 72: Consommation en eau de différentes industries à Biskra.....</i>	<i>116</i>
<i>Tableau 73: Evolution des besoins en eaux industrielles de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 74 : Evolution des besoins globaux en eau dans le temps de la wilaya de Biskra.....</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 75 : taux de satisfaction (%) en eau potable de l'année 2008.....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 76 : taux de satisfaction (%) en eau d'irrigation de l'année 2008.....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 77 : Valeurs de la température des eaux de la région de Biskra.....</i>	<i>123</i>
<i>Tableau 78: Valeurs de la conductivité des eaux de la région de Biskra.....</i>	<i>124</i>
<i>Tableau 79 : classification de degré de minéralisation en fonction de la conductivité électrique.....</i>	<i>124</i>
<i>Tableau 80: Classes du Résidu sec des eaux des nappes(2008).....</i>	<i>125</i>
<i>Tableau 81: Statistique élémentaire : Résidu sec des eaux des nappes.....</i>	<i>126</i>
<i>Tableau 82 : Caractéristiques statistiques des éléments chimique majeurs.....</i>	<i>128.</i>
<i>Tableau 83 : Teneur en fluore (F-) dans les eaux de Biskra.....</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 84: Classe de potabilités des eaux des nappes étudiées (selon OMS, 1994).....</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 85: Convenance à l'irrigation des eaux des nappes de la région selon la conductivité.....</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 86: Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT ,1988).....</i>	<i>136</i>
<i>Tableau 87: Classe de salinité selon Richards (Faby et Al, 2000).....</i>	<i>139</i>
<i>Tableau 88: Directives pour l'irrigation (Na+, Cl-). Application aux eaux de Biskra.....</i>	<i>140</i>
<i>Tableau 89: Classification de l'eau d'irrigation (Pusalti et al, 2009).....</i>	<i>147</i>
<i>Tableau 90: Classification de l'eau potable (Neubert et al, 2008; in Saidi et al, 2009).....</i>	<i>147</i>

Annexes

Annexe 01: Chapitre hydro climatologie.

Tableau du coefficient pluviométrique annuel:

A: Station de Doucen (1974-2005).

Période	P (mm)	Cpa	Ei(%)	Observation
1974	44	0,56	-44,3	Déficitaire
1975	8	0,1	-89,87	Déficitaire
1976	117	1,48	48,1	Excédentaire
1977	76	0,96	-3,79	Déficitaire
1978	21	0,27	-73,41	Déficitaire
1979	23	0,29	-70,88	Déficitaire
1980	82	1,04	3,79	Excédentaire
1981	66	0,84	-16,45	Déficitaire
1982	63	0,8	-20,25	Déficitaire
1983	155	1,96	96,2	Excédentaire
1984	2	0,02	-97,46	Déficitaire
1985	40	0,51	-49,37	Déficitaire
1986	62	0,78	-21,52	Déficitaire
1987	78	0,99	-1,26	Déficitaire
1988	138	1,75	74,69	Excédentaire
1989	35	0,44	-55,69	Déficitaire
1990	162	2,05	105,06	Excédentaire
1991	100	1,27	26,58	Excédentaire
1992	13	0,16	-83,54	Déficitaire
1993	34	0,43	-56,96	Déficitaire
1994	48	0,61	-39,24	Déficitaire
1995	194	2,46	145,56	Excédentaire
1996	205	2,6	159,49	Excédentaire
1997	94	1,19	18,98	Excédentaire
1998	152	1,92	92,4	Excédentaire
1999	104	1,32	31,64	Excédentaire
2000	145	1,83	83,54	Excédentaire
2001	6	0,08	-92,4	Déficitaire
2002	31	0,39	-60,76	Déficitaire
2003	26	0,33	-67,09	Déficitaire
2004	131	1,66	65,82	Excédentaire
2005	73	0,92	-7,59	Déficitaire

B: Station Foum El Gherza (1971-2005).

Période	P (mm)	Cpa	Ei(%)	Observation
1971	25	0,25	-74,58	Déficitaire
1972	66	0,67	-32,88	Déficitaire
1973	120	1,22	22,03	Excédentaire
1974	51	0,52	-48,13	Déficitaire
1975	80	0,81	-18,64	Déficitaire
1976	134	1,36	36,28	Excédentaire
1977	170	1,73	72,88	Excédentaire
1978	34	0,35	-65,42	Déficitaire
1979	33	0,34	-66,44	Déficitaire
1980	46	0,47	-53,21	Déficitaire

1981	122	1,24	24,07	Excédentaire
1982	83	0,84	-15,59	Déficitaire
1983	152	1,55	54,58	Excédentaire
1984	30	0,31	-69,49	Déficitaire
1985	136	1,38	38,3	Excédentaire
1986	100	1,02	1,69	Excédentaire
1987	91	0,92	-7,45	Déficitaire
1988	53	0,54	-46,1	Déficitaire
1989	114	1,16	15,93	Excédentaire
1990	177	1,8	80	Excédentaire
1991	94	0,96	-4,4	Déficitaire
1992	137	1,39	39,32	Excédentaire
1993	118	1,2	20	Excédentaire
1994	81	0,82	-17,62	Déficitaire
1995	71	0,72	-27,79	Déficitaire
1996	165	1,68	67,8	Excédentaire
1997	90	0,91	-8,47	Déficitaire
1998	119	1,21	21,02	Excédentaire
1999	52	0,53	-47,11	Déficitaire
2000	109	1,11	10,85	Excédentaire
2001	41	0,42	-58,3	Déficitaire
2002	57	0,6	-42,03	Déficitaire
2003	159	1,62	61,7	Excédentaire
2004	213	2,17	116,61	Excédentaire
2005	119	1,21	21,02	Excédentaire

C: Station de Biskra (1974-2007).

Période	Biskra P(mm)	Cpa	Ei(%)	Observation
1974	51	0,46	-53,87	Déficitaire
1975	114	1,03	3,12	Excédentaire
1976	159	1,44	43,82	Excédentaire
1977	165	1,49	49,25	Excédentaire
1978	48	0,43	-56,59	Déficitaire
1979	37	0,33	-66,53	Déficitaire
1980	145	1,31	31,16	Excédentaire
1981	111	1	0,4	Excédentaire
1982	26	0,23	-76,48	Déficitaire
1983	139	1,26	25,73	Excédentaire
1984	29	0,26	-73,76	Déficitaire
1985	107	0,97	-3,21	Déficitaire
1986	144	1,3	30,25	Excédentaire
1987	100	0,9	-9,54	Déficitaire
1988	83	0,75	-24,92	Déficitaire
1989	90	0,81	-18,58	Déficitaire
1990	126	1,14	13,98	Excédentaire
1991	150,73	1,36	36,35	Excédentaire
1992	140,1	1,27	26,73	Excédentaire
1993	94,4	0,85	-14,6	Déficitaire
1994	49,8	0,45	-54,95	Déficitaire
1995	105,76	0,95	-4,33	Déficitaire
1996	226,87	2,05	105,21	Excédentaire

1997	149,24	1,35	34,99	Excédentaire
1998	155	1,4	40,2	Excédentaire
1999	30	0,27	-72,86	Déficitaire
2000	125,6	1,13	13,61	Excédentaire
2001	66,44	0,6	-39,9	Déficitaire
2002	45,27	0,41	-59,05	Déficitaire
2003	117,73	1,06	6,49	Excédentaire
2004	199,32	1,8	80,29	Excédentaire
2005	130,56	1,18	18,1	Excédentaire
2006	150,81	1,36	36,41	Excédentaire
2007	147,1	1,33	33,06	Excédentaire

D: Station de Sidi Khaled (1978-2008)

Période	P (mm)	Cpa	Ei(%)	Observation
77/78	24,7	0,21	-78,17	Déficitaire
78/79	47,8	0,42	-57,77	Déficitaire
79/80	243,8	2,15	115,39	Excédentaire
80/81	43,95	0,39	-61,17	Déficitaire
81/82	72,3	0,64	-36,12	Déficitaire
82/83	82,8	0,73	-26,85	Déficitaire
83/84	46,3	0,4	-59,09	Déficitaire
84/85	101,8	0,9	-10,06	Déficitaire
85/86	109,4	0,96	-3,34	Déficitaire
86/87	156,4	1,38	38,17	Excédentaire
87/88	131,2	1,16	15,91	Excédentaire
88/89	84,5	0,75	-25,34	Déficitaire
89/90	205,3	1,81	81,38	Excédentaire
90/91	104	0,92	-8,11	Déficitaire
91/92	129,6	1,14	14,5	Excédentaire
92/93	163	1,44	44	Excédentaire
93/94	42	0,37	-62,89	Déficitaire
94/95	143	1,26	26,33	Excédentaire
95/96	258,4	2,28	128,29	Excédentaire
96/97	104,6	0,92	-7,59	Déficitaire
97/98	247,7	2,18	118,83	Excédentaire
98/99	141,9	1,25	25,36	Excédentaire
99/00	135,2	1,94	19,44	Excédentaire
00/01	29,7	0,26	-73,76	Déficitaire
01-/02	51,2	0,45	-54,76	Déficitaire
02-/03	72	0,63	-36,39	Déficitaire
03-/04	154	1,36	36,05	Excédentaire
04-/05	102	0,9	-9,89	Déficitaire
05-/06	118,9	1,05	5,04	Excédentaire
06-/07	136,5	1,21	20,59	Excédentaire
07-/08	25	0,22	-77,91	Déficitaire

E: Station d'Ain Touta (1989-2004).

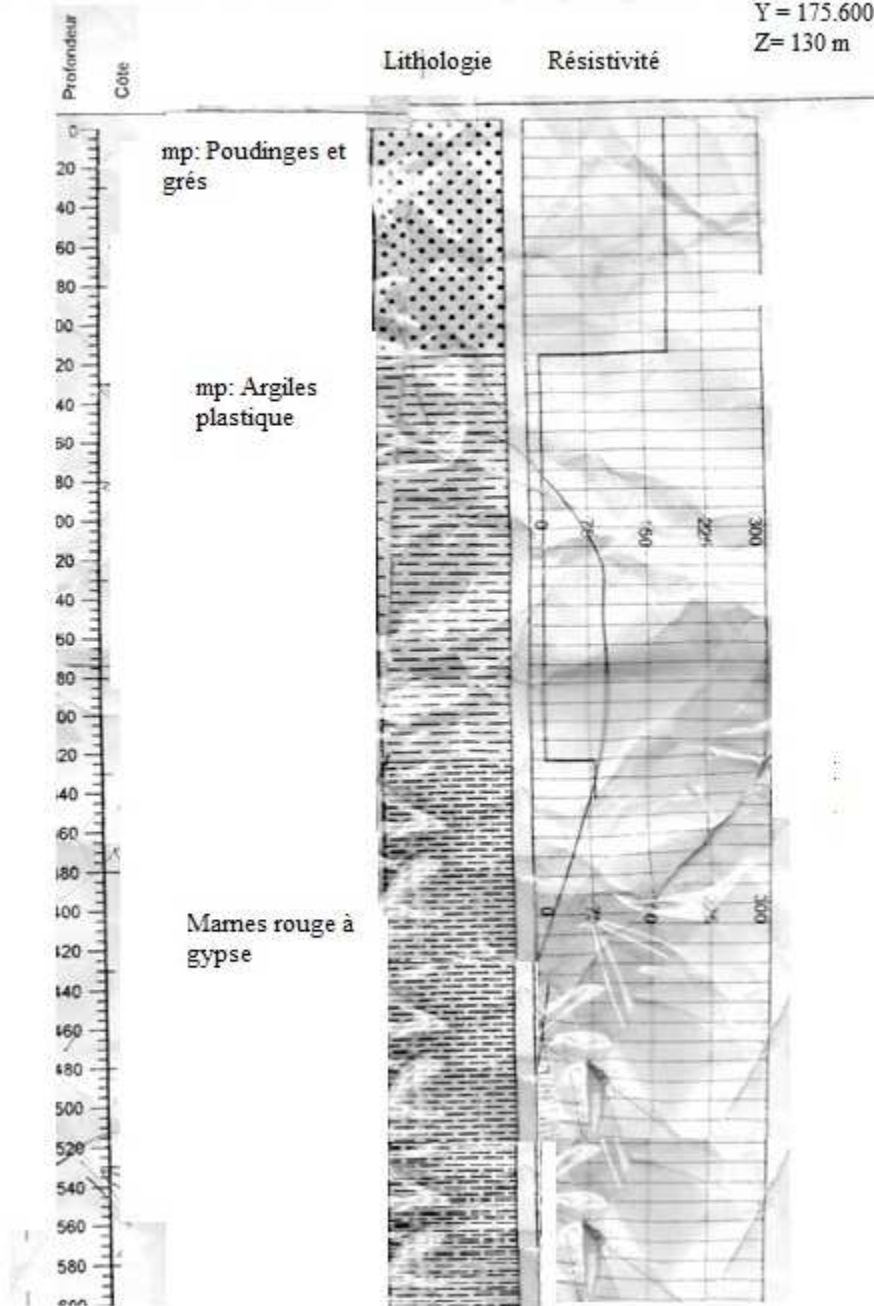
Période	Ain Touta	Cpa	Ei (%)	Observation
---------	--------------	-----	--------	-------------

1989	211,11	0.98	-1,69	Déficitaire
1990	270,27	1.26	25,86	Excédentaire
1991	287,79	1.34	34,02	Excédentaire
1992	231,25	1.07	7,69	Excédentaire
1993	188,61	0.88	-12,17	Déficitaire
1994	107,45	0.50	-49,96	Déficitaire
1995	182,65	0.85	-14,94	Déficitaire
1996	322,56	1.50	50,2	Excédentaire
1997	114,34	0.53	-46,75	Déficitaire
1998	253,09	1.18	17,86	Excédentaire
1999	189,85	0.88	-11,59	Déficitaire
2000	108,51	0.505	-49,47	Déficitaire
2001	192,83	0.89	-10,2	Déficitaire
2002	177,52	0.83	-17,33	Déficitaire
2003	272,71	1.27	26,99	Excédentaire
2004	325,32	1.51	51,49	Excédentaire

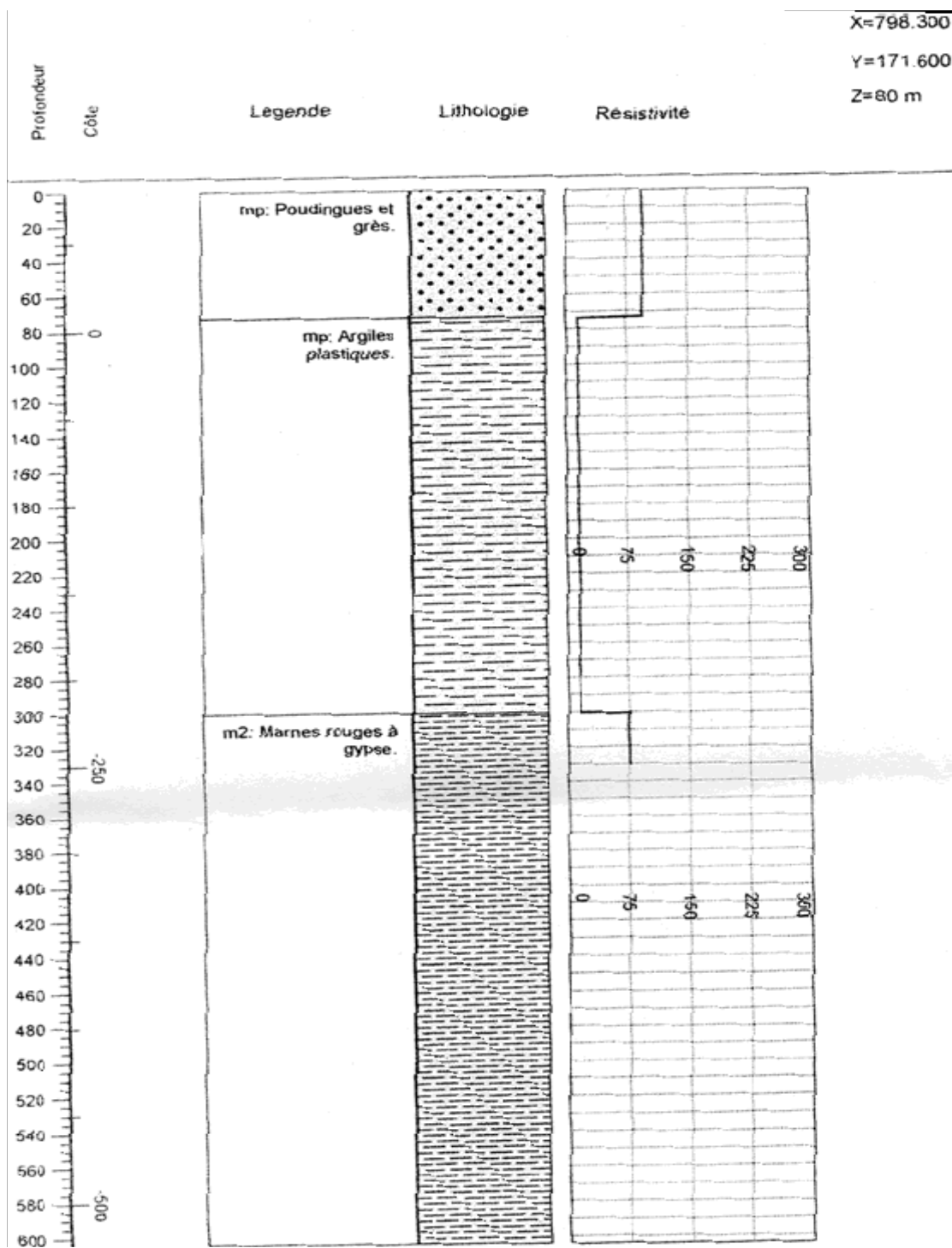
Annexe 02 : Géophysique

Etalonnage du sondage électrique A1 et forage de Serriana

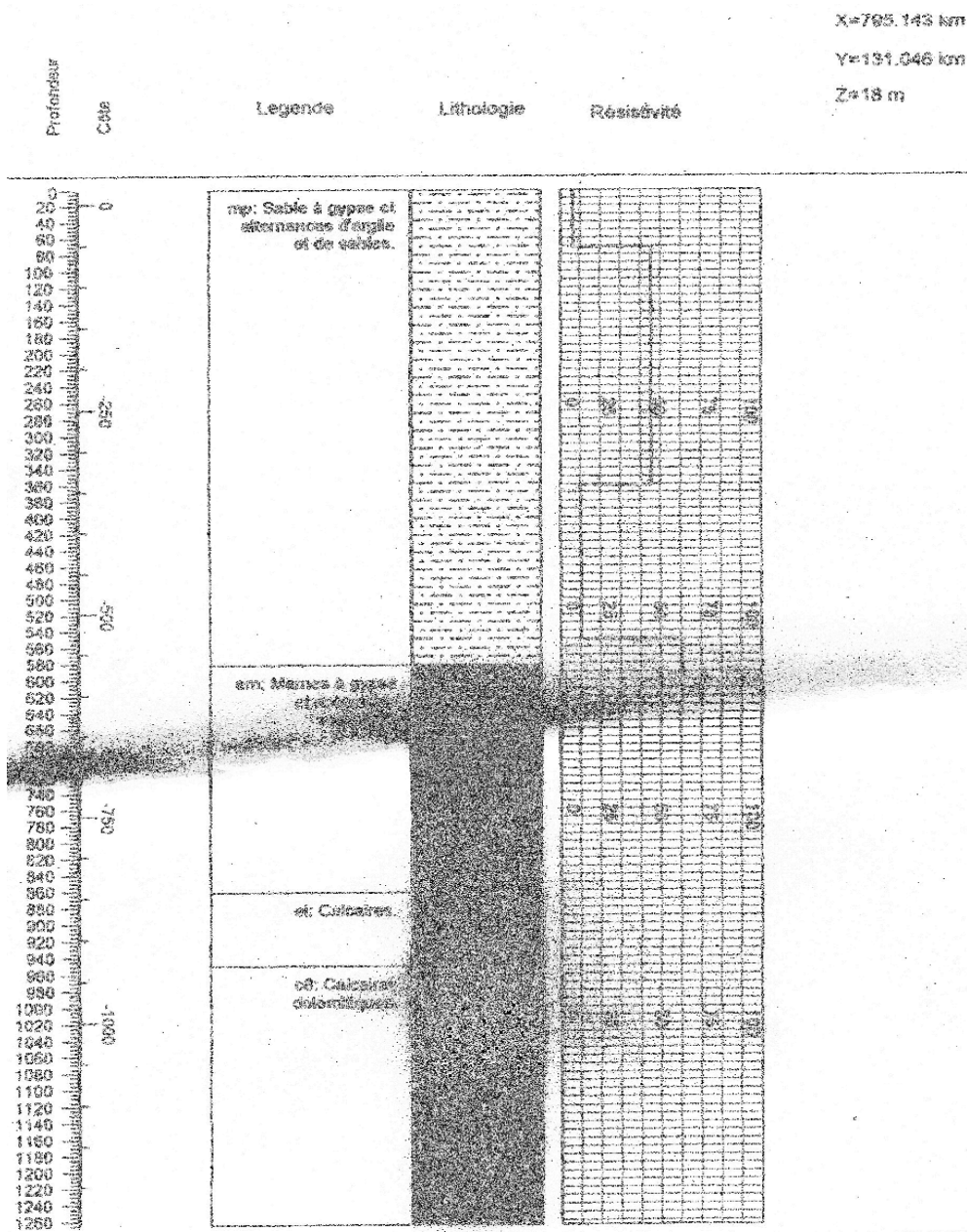
X = 794.200 km
Y = 175.600 km
Z = 130 m



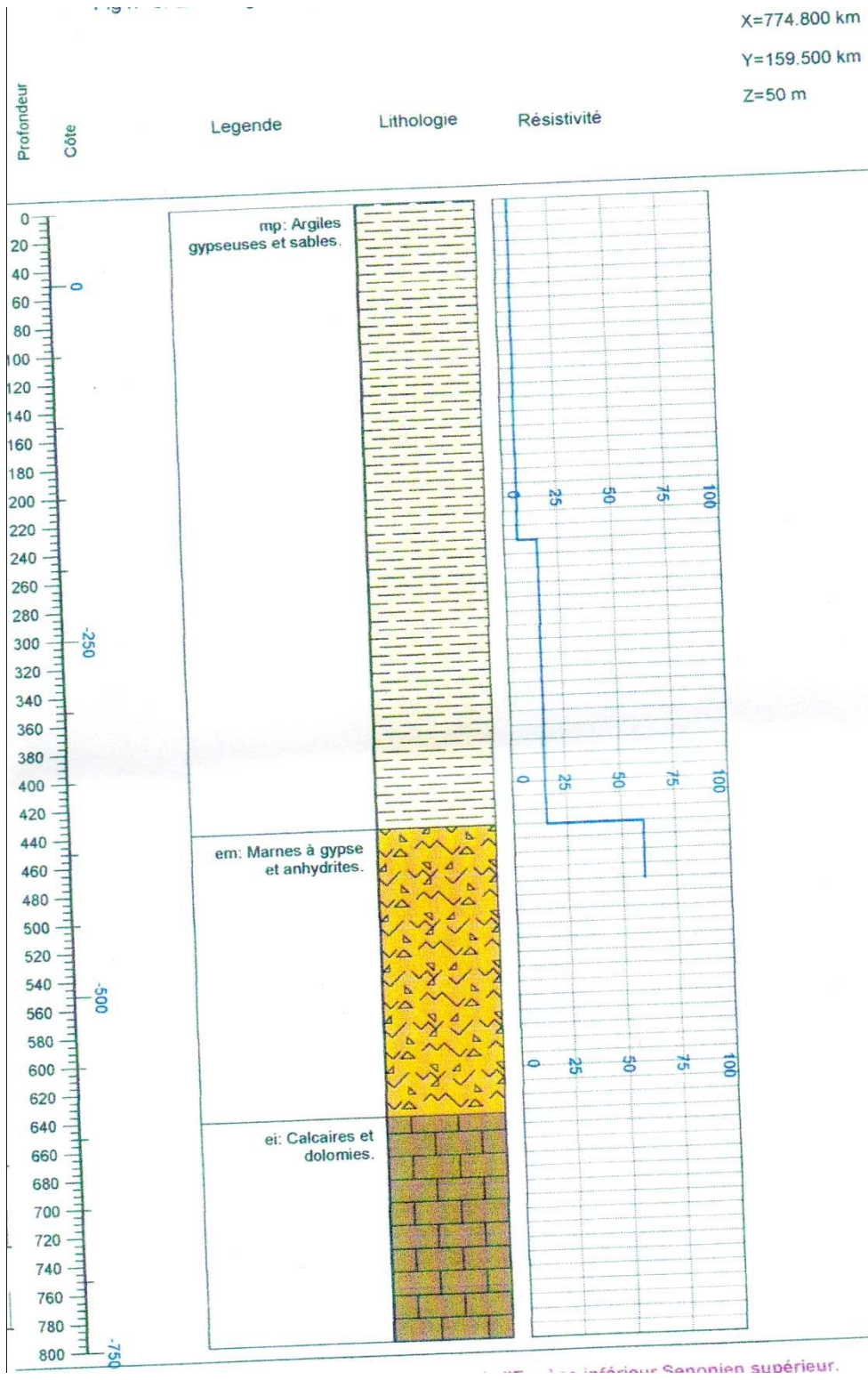
Etalonnage du sondage électrique A3 à l'aide du forage de Garta .



Etalonnage du sondage électrique A5 à l'aide du forage de Chegga 35



Etalonnage du sondage électrique A6 à l'aide du forage de Oumeche

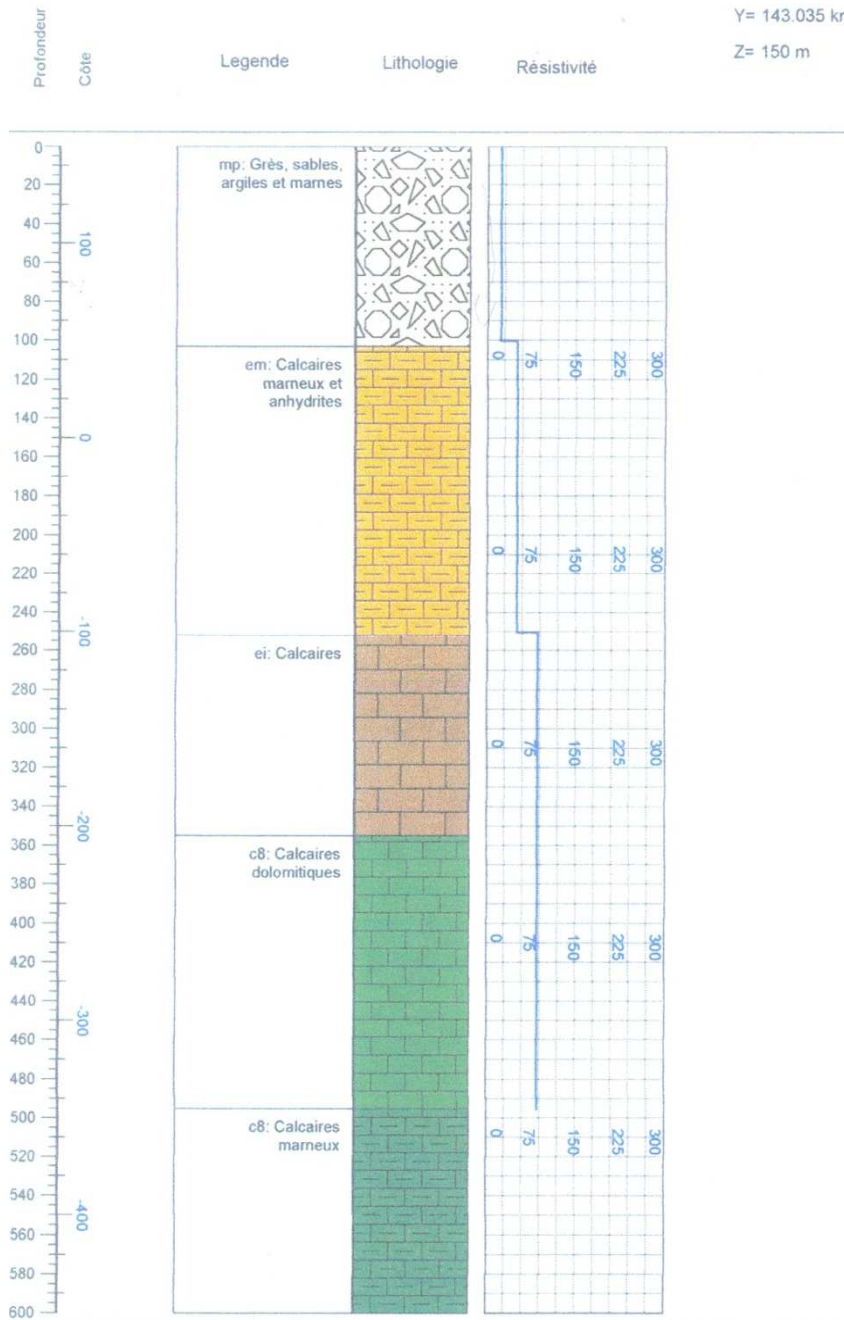


Étalonnage du sondage électrique B2 à l'aide du forage de Oued Doucen 84

X= 728.625 km

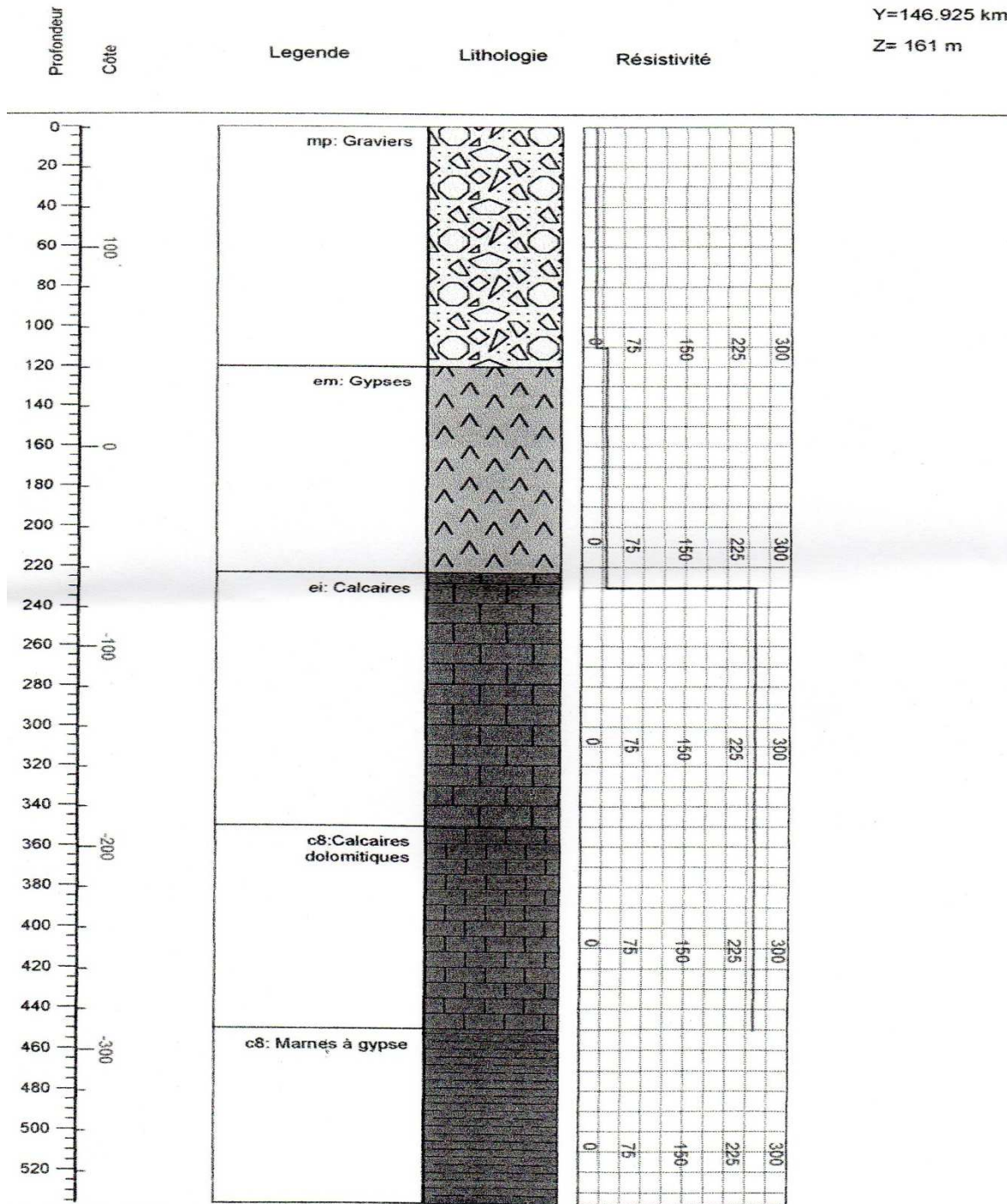
Y= 143.035 km

Z= 150 m



Etalonnage du sondage électrique B3 à l'aide du forage de Oued Doucen 81

X= 725.890 km
 Y=146.925 km
 Z= 161 m

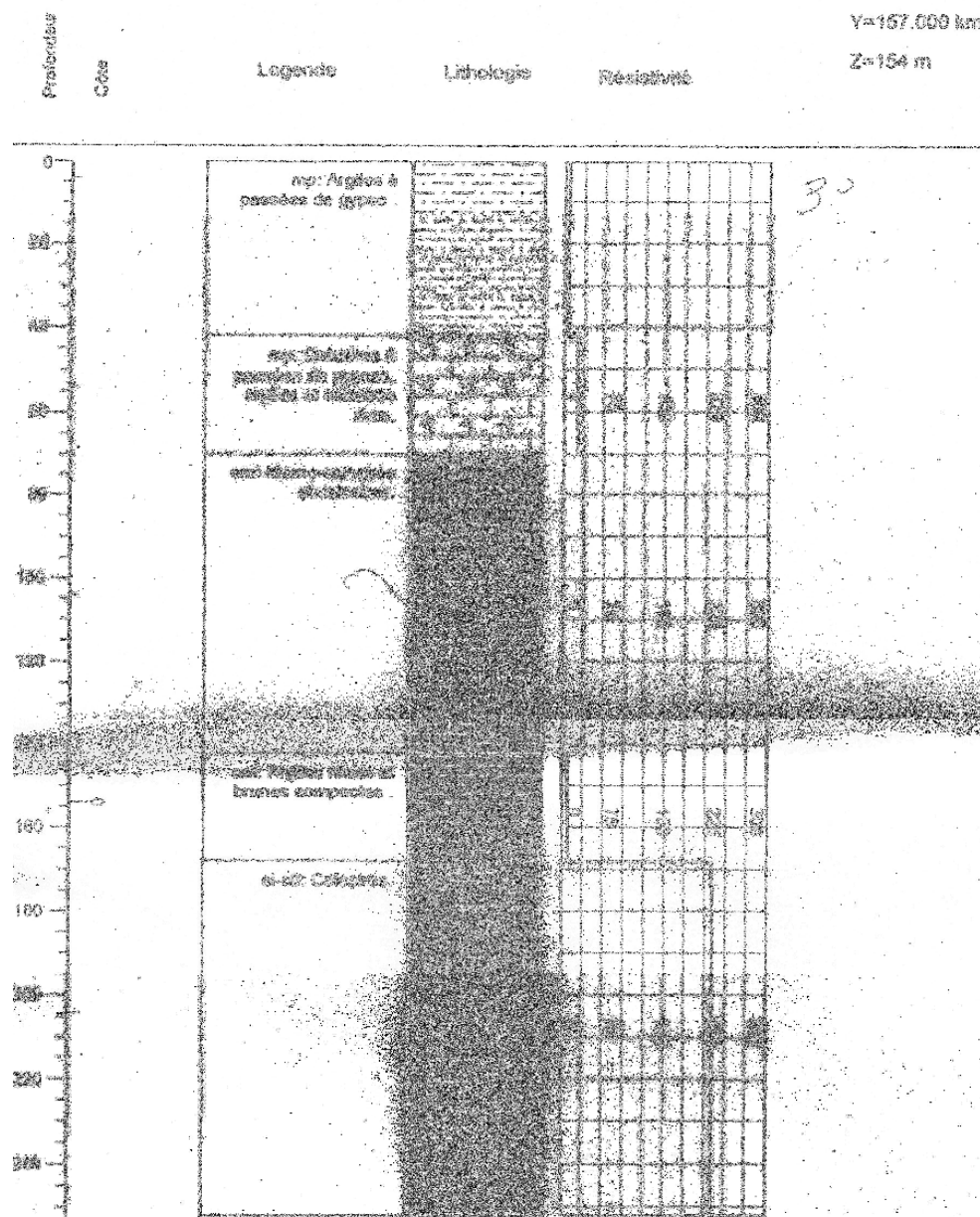


Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide du forage de Bessibis

X=735.200 km

Y=167.000 km

Z=154 m

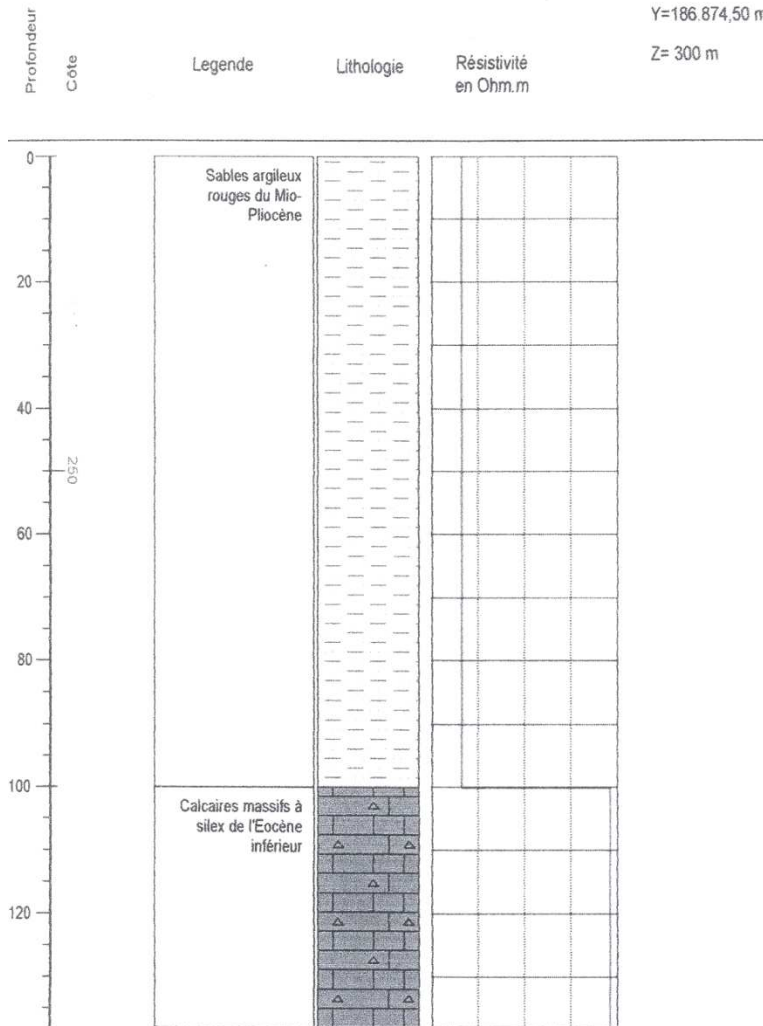


Etalonnage du sondage électrique B5 à l'aide du forage de M'Chouneche

X=800.464,78 m

Y=186.874,50 m

Z= 300 m

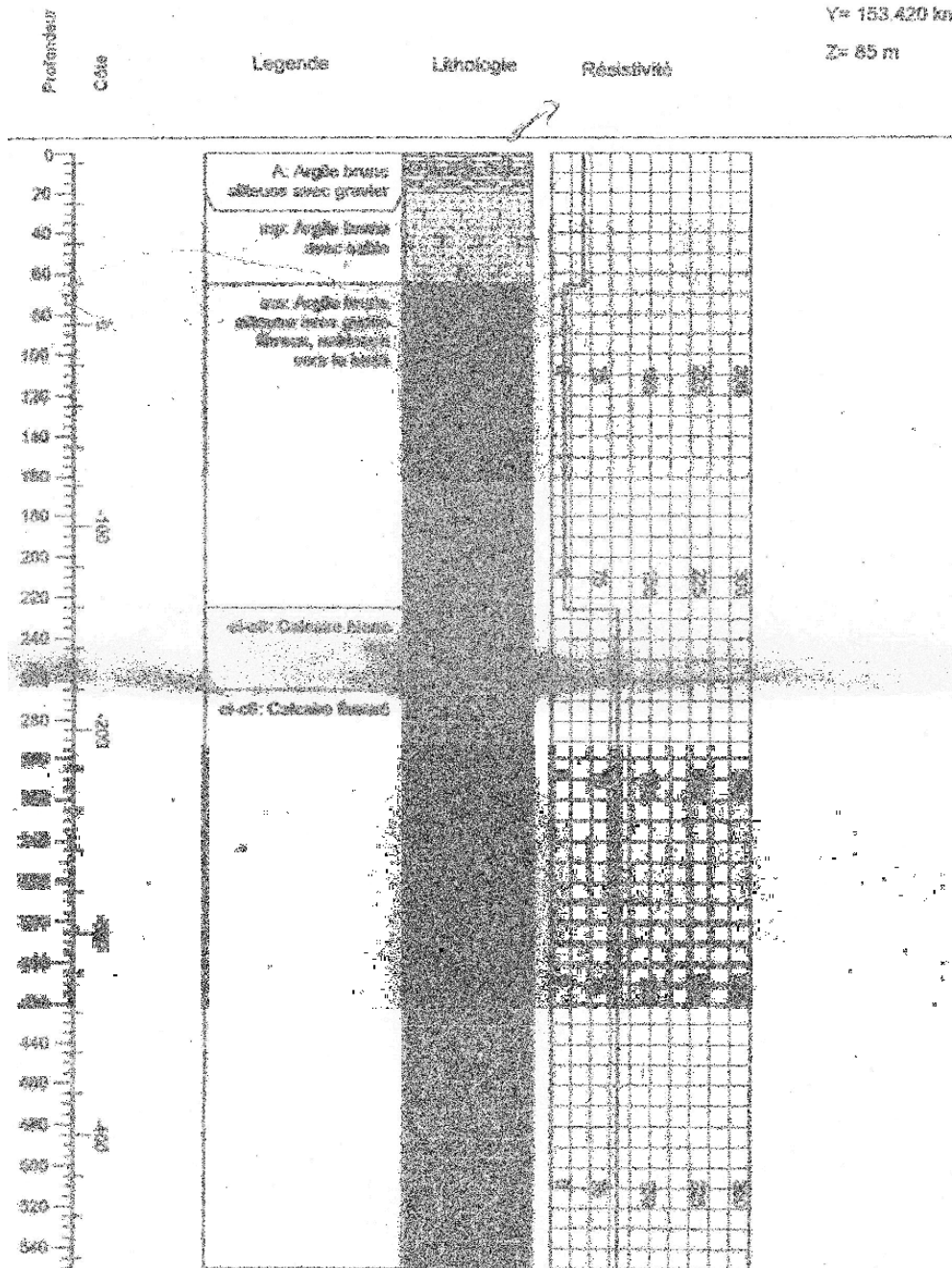


Etalonnage du sondage électrique B12 à l'aide de forage d'Ourellal

X= 750.650 km

Y= 153.420 km

Z= 85 m

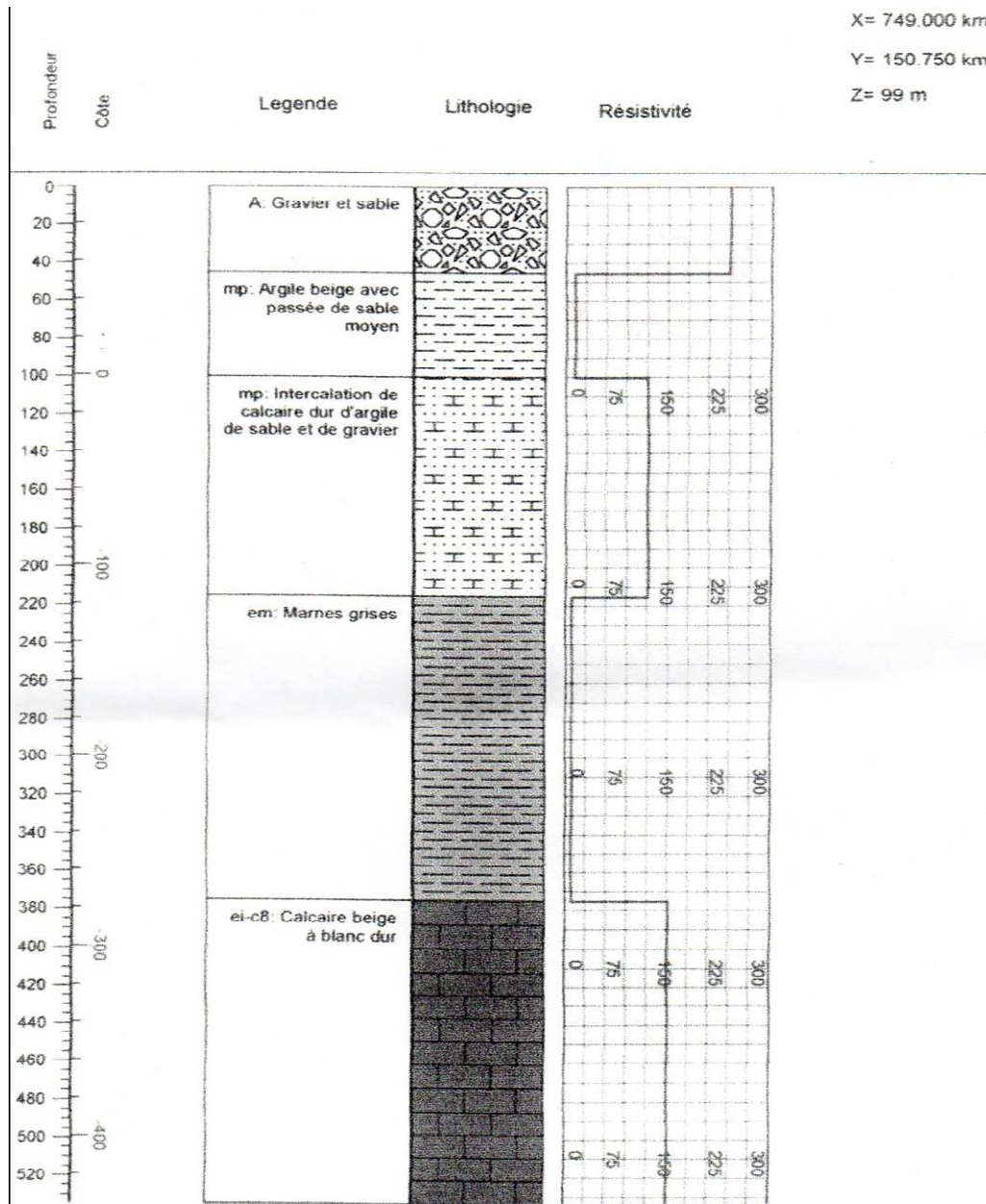


Étalonnage du sondage électrique A2 à l'aide du forage de Lioua

X= 749.000 km

Y= 150.750 km

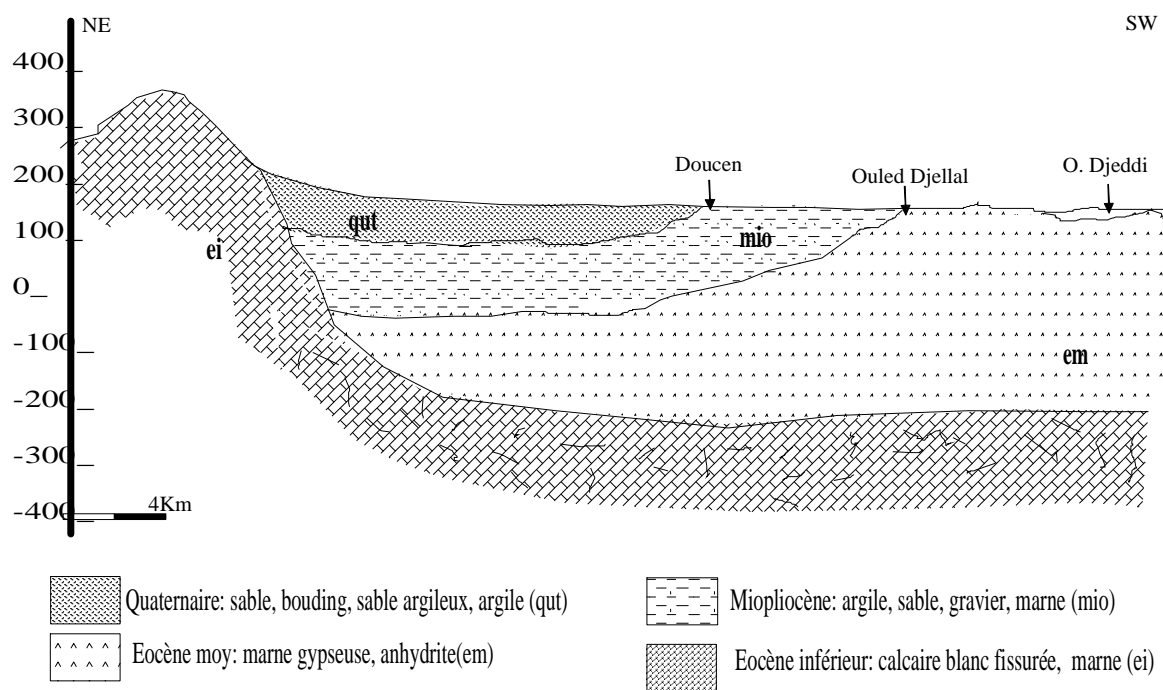
Z= 99 m



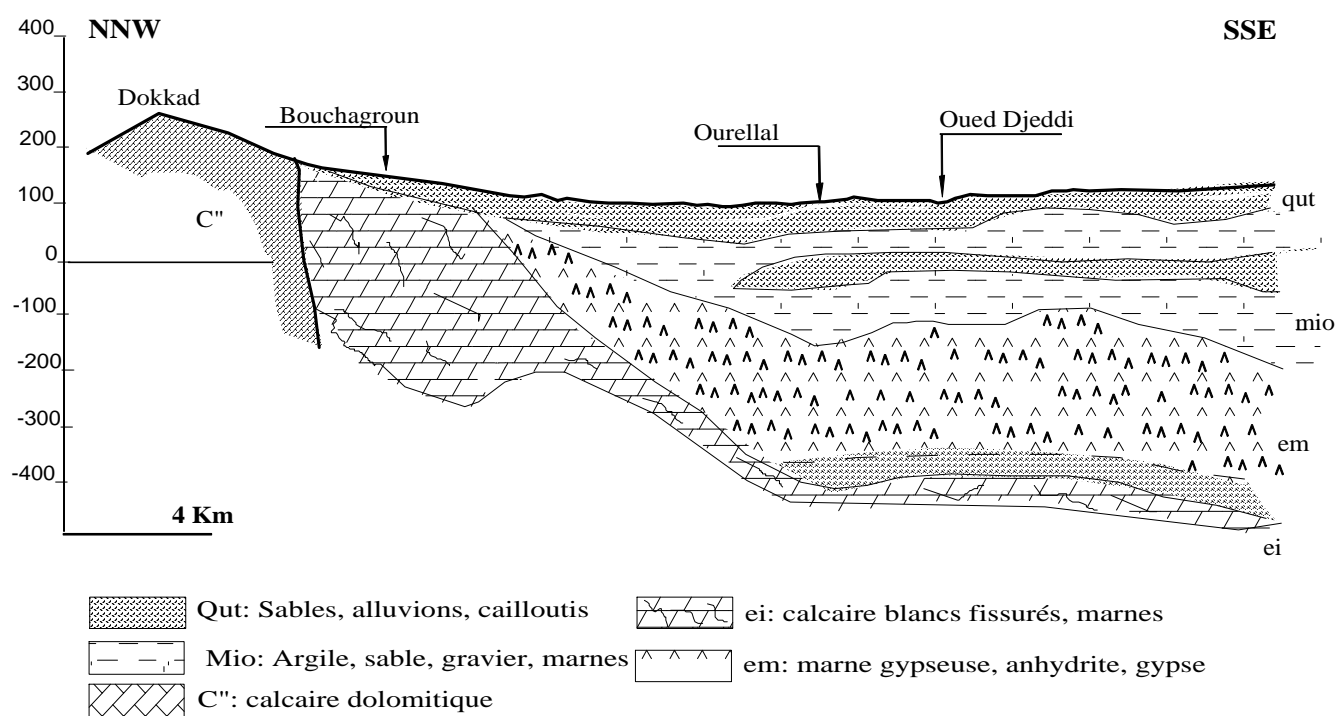
Annexe 03: hydrogéologie

Coupes hydrogéologiques schématiques dans la région de Biskra (Source, DHW de Biskra, 1990)

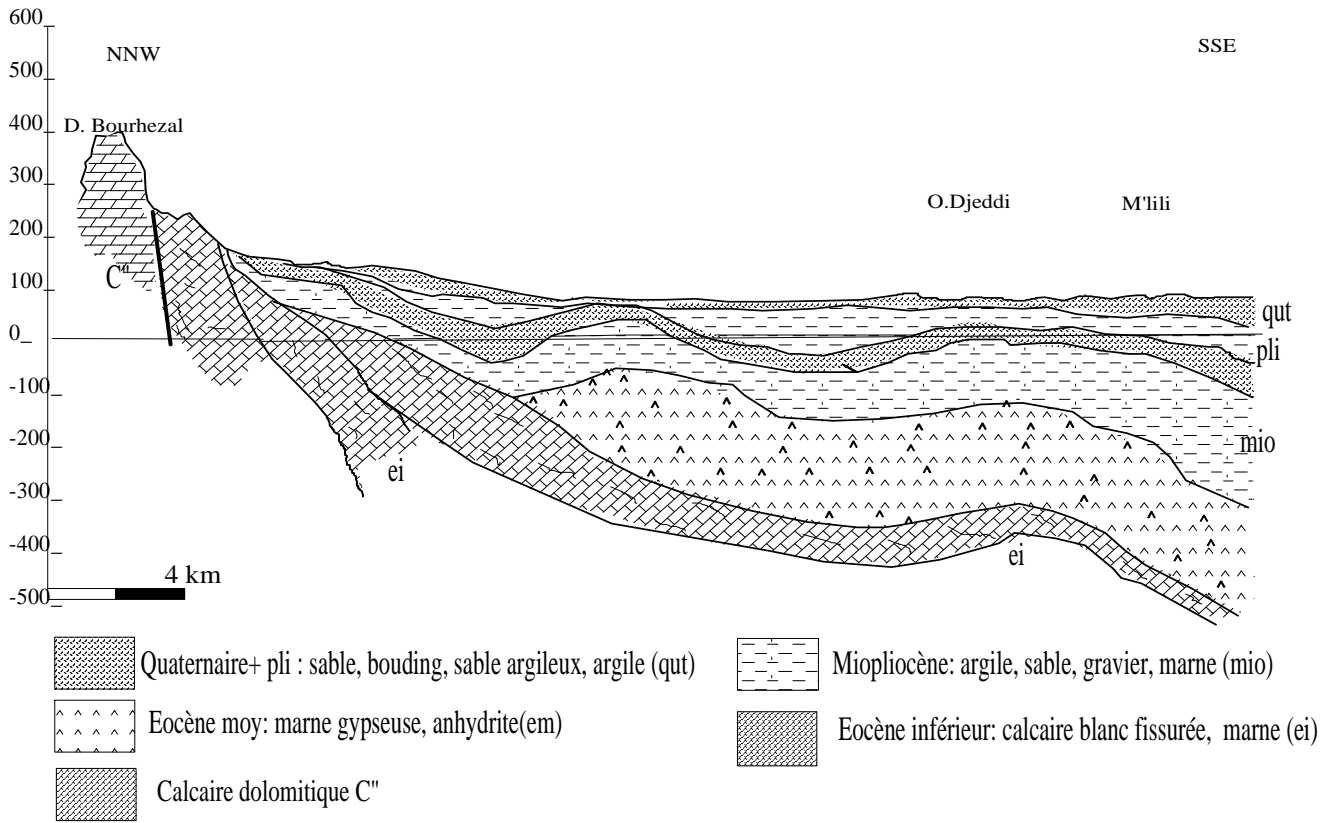
Coupe 1-1



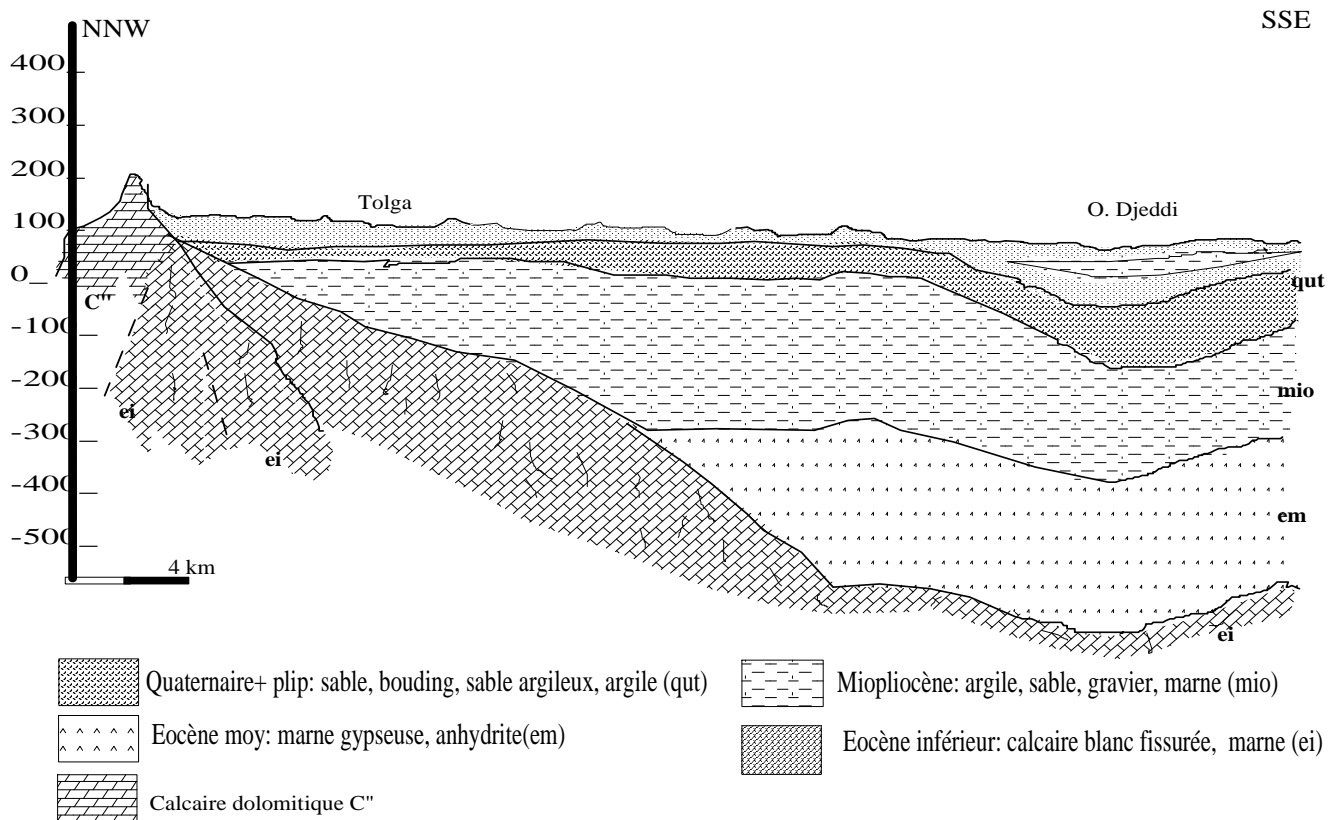
Coupe 2-2



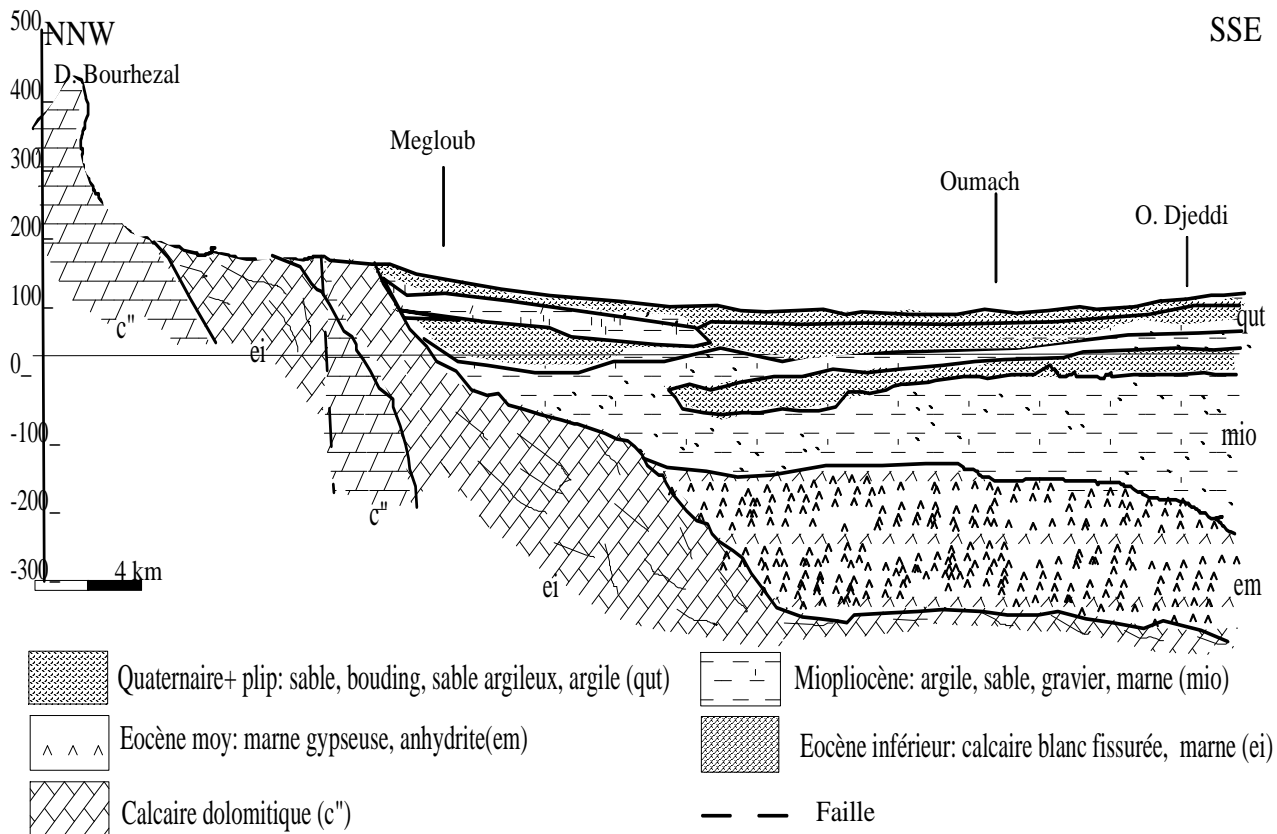
Coupe 3-3



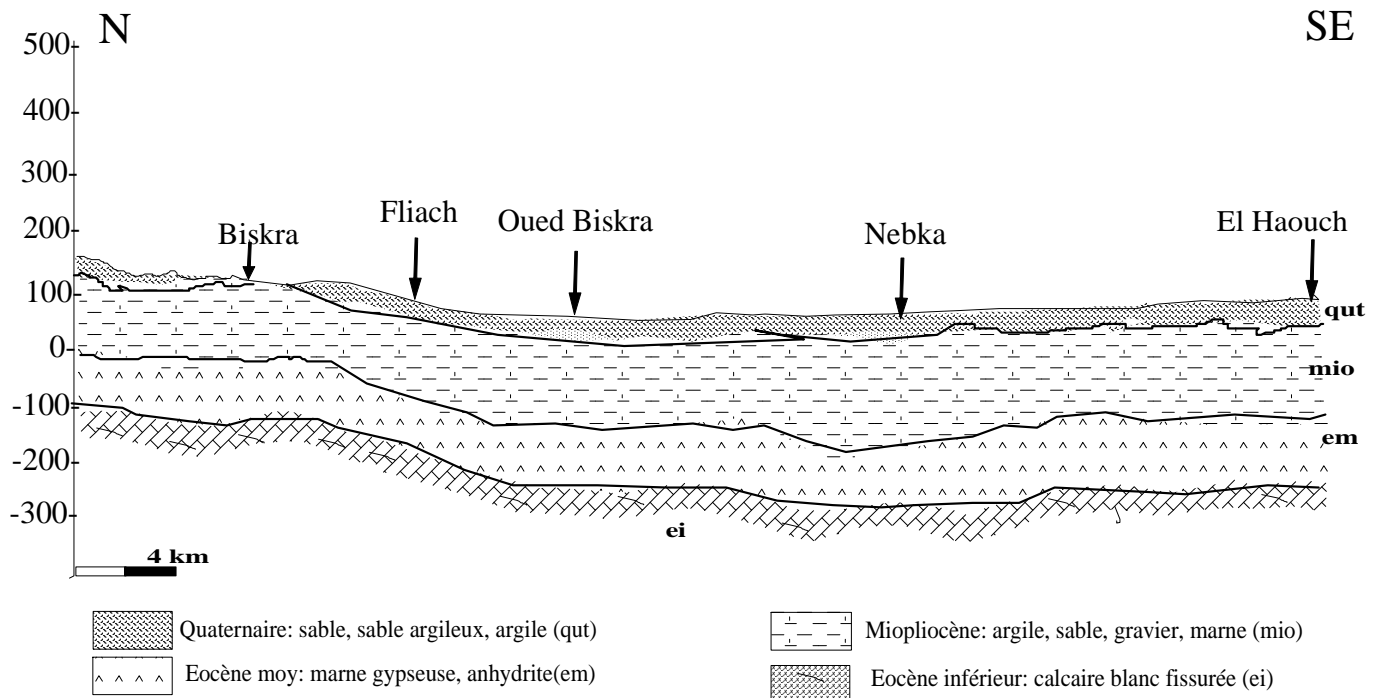
Coupe 4-4



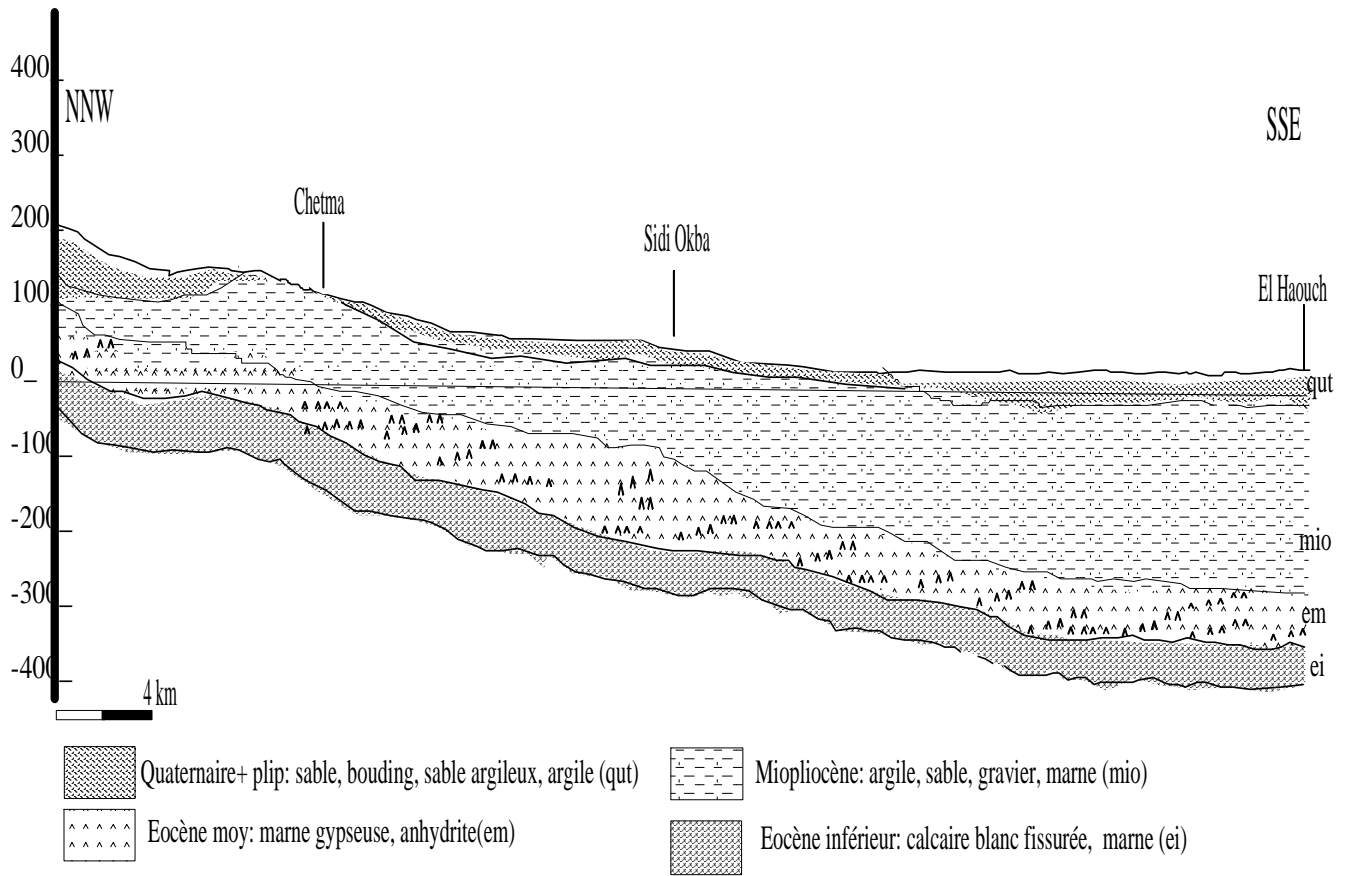
Coupe 5-5



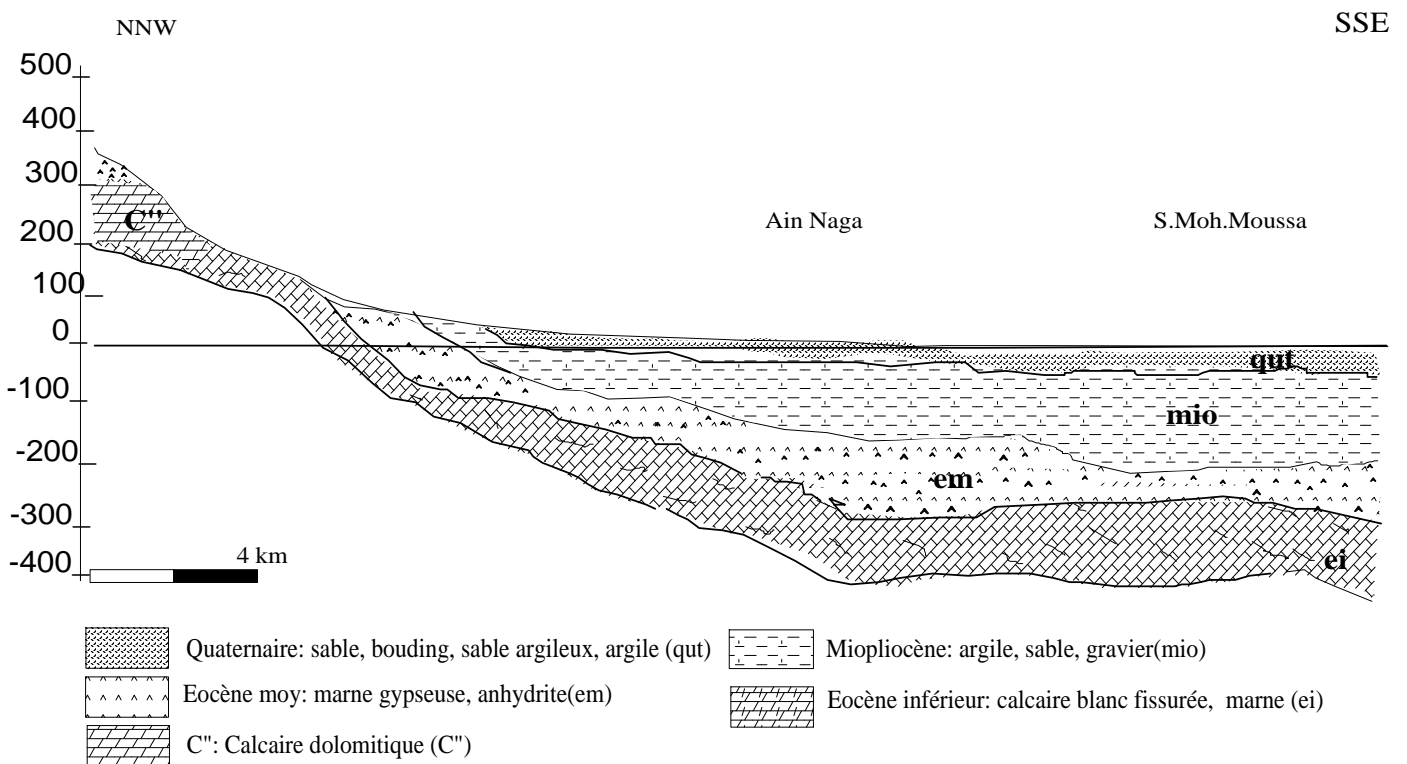
Coupe 6-6



Coupe 7-7:



Coupe 8-8

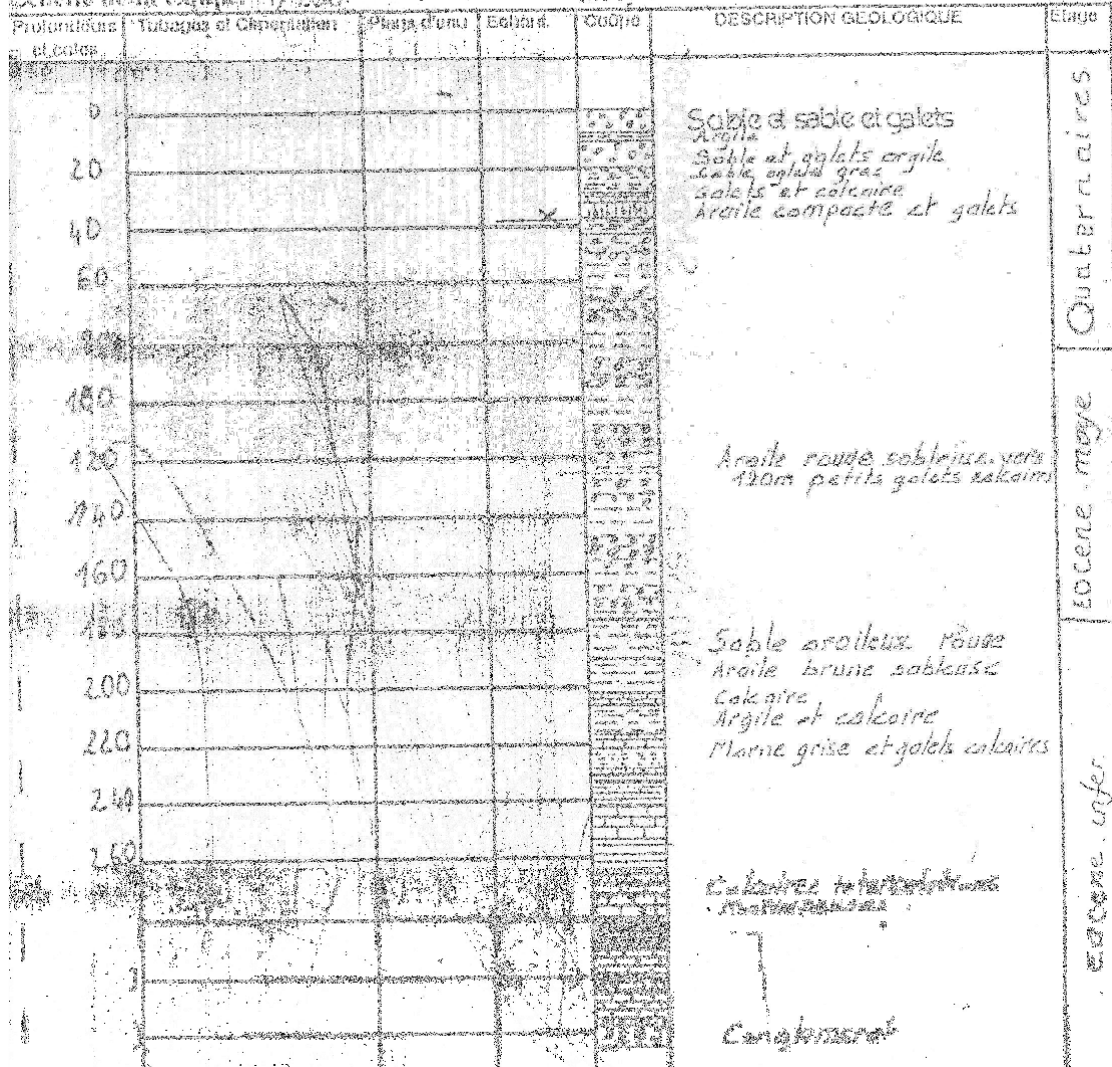


Annexe 04: Logs stratigraphiques des forages réalisés entre 1990-1995

BONDAGE BISKRA M7

Carte: 1/100000 Biskra
 Date des Travaux: 02 JUIN 1992
 Echelle de la Coupe: 1/200

Long: X: 776.05 Z: 147
 Lat: Y: 475.45



ONDAGE H SAADANE M SIDE M3

Carte: 1/10.000

BISKRA

Date des Travaux: 06.02.1990

Long:

X: 777.850 2-103

Echelle de la Coupe: 1/1000

lat:

Y: 175.450

Profondeurs et cotés	Tubages et Orientation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
00						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						
110						
120						
130						
140						
150						

SONDAGE : Peliache M9

Carte: 1/400.000 Biskra

Date des Travaux: 19-02-1994

Long:

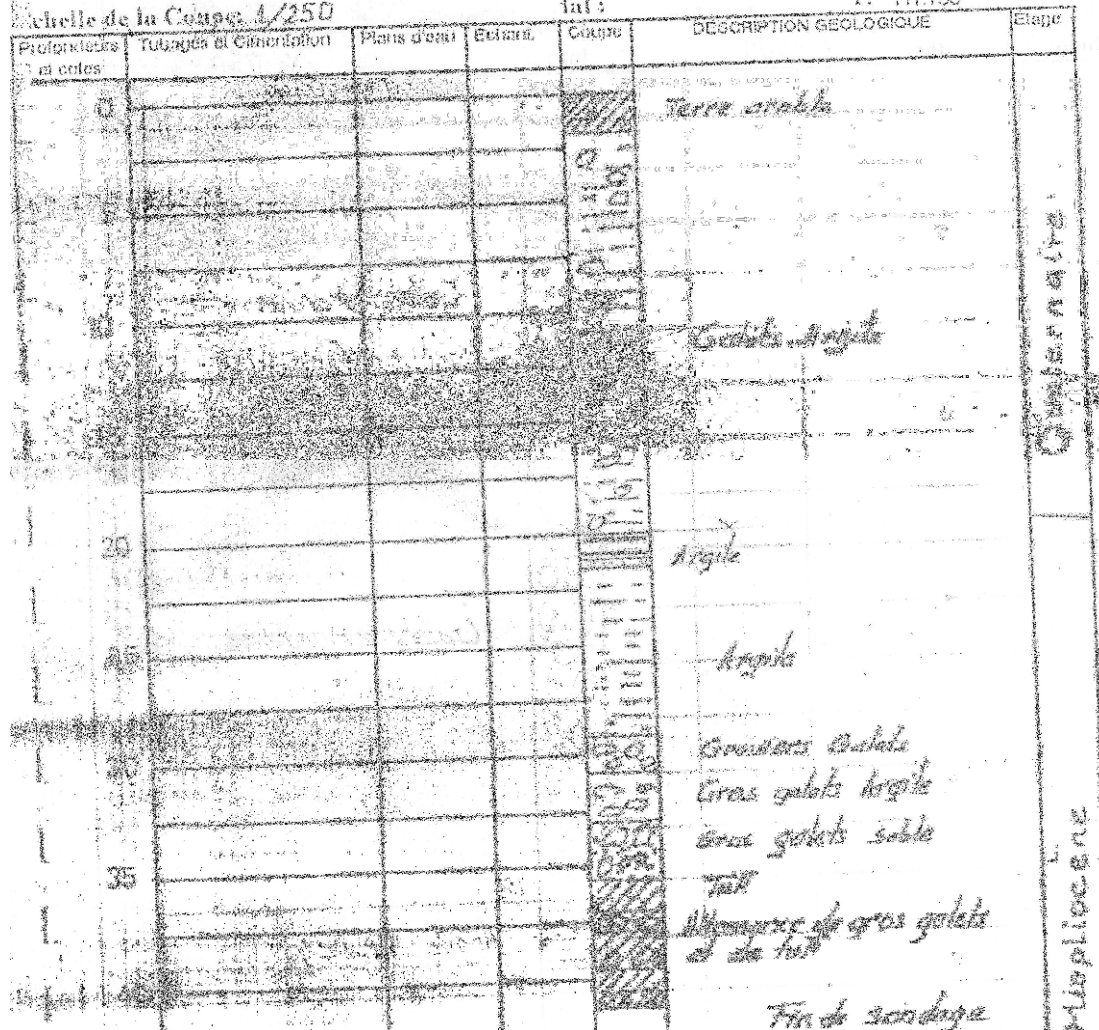
X: 3 77.92

Z: 13821

lat:

Y: 111.150

Echelle de la Coupe: 1/250



SONDAGE ZHUN EST AEP Stade olympique M10

Carte: BISKRA 1/50,000

Date des Travaux: 30 0893/15-12-93

Long:

X: 779,550

Echelle de la Coupe: 1/7000

lat:

Y: 175,600 Z: 102

Profondeurs et cotes	Tenueps et Orientation	Plan d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GÉOLOGIQUE	REMAR
0						
07						
14						
21						
28						
35						
42					Langlarnent à ciment argileux	
49						
56					Graisse et nodules	
63					Calcaires bitumineux	
70					très durs	
77						
84						
91						
98						
105						
112					Graisses et galets calcaires,	
119					avec des passives de	
126					conglomérats bitumineux	
133						
140						
147						

SONDAGE Dr Labruche (Plaine deloutaie) M11

Carte: Environs de Biskra au 1/100 000

Date des Travaux: 1 OCT 1993

Long: 3° 46' 37" E X: 75148354 Y: 192

Echelle de la Carte: 1/1000

Lat: 38 76 00 N Y: 130.053 26

Profondeur (m)	Altitude et Orientation	Plancher d'eau	Echant.	Couleur	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0					Grès, sable rouge	Série Troite
10			✓		Arroite jaune sableuse et gypseuse	
20						Série (position intermédiaire) Pliocène
30					Arroite grise avec intercalation de sable et de gypse	
40						
50						
60					Argile blanche gypseuse	Série Troite
70						
80						
90						
100						
110						
120						
130						
140						
150						

SONDAGE : SIDLOKBA M14

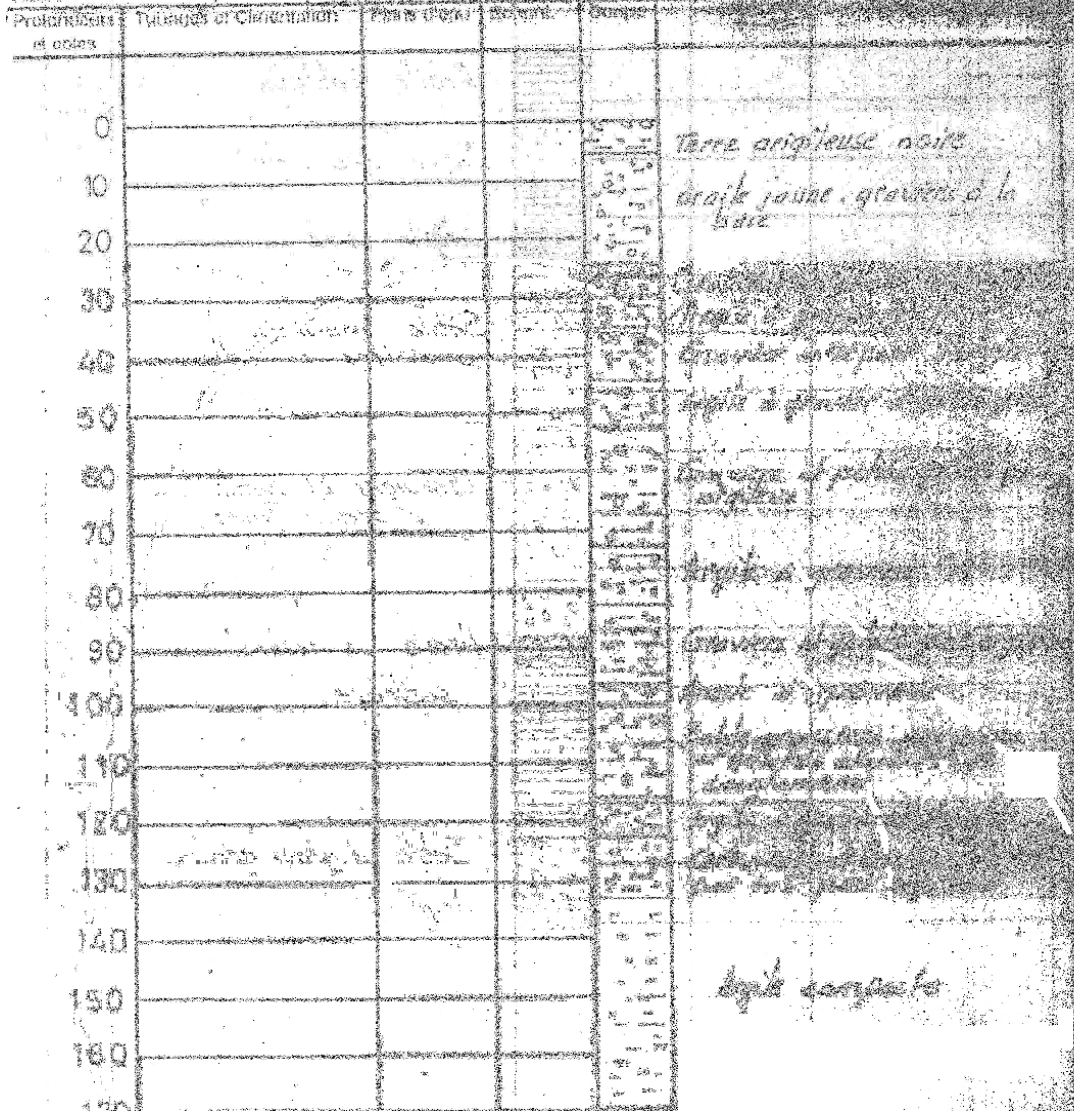
Carte 1 50000 EL MADIHER

Date des Travaux 20.12.95

Lugar

Z= 57.5m

Echelle de La Coupe 1/1000



SONDAGE ELFEID M15

Carte: BISKRA/ 50000

Date des Travaux: 05-10-93

Long:

X: 288 850 Z: 40

Echelle de la Coupe: 1/2000

Lat:

Y: 303 600

Profondeurs et colonnes	Tubages et Circulation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0					Arable labouré	Miocène
20					Sable grossier	
40					Argile sableuse	
60					Sable moyen grossier et galets	
80						
100					Graiers et Sable et grains fins	
120						
140						
160					Arable de tinte sableuse	
180						
200						
220						
240						
260						
280						
300						
320						
340						
360						
380						
400						
420						
440						
460						
480						
500						

SONDAGE EL KHAFDJI EL (HAOUICHE) M16

Carte: 1/100.000 El Haouch

Date des Travaux: 14-06-1991

Long: _____

Z= 10 m

Echelle de la Coupe: 1/1000

Lat: _____

Profondeurs et cotes	Traçage et Circumflexion	Plan de l'eau	Mécanisme	Contour	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	CLASSE
0						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						
110						

M17

Le site de M17 est situé à l'adresse suivante : 715, 715 & 100
Y, 41, 015

Profondeur (m)	Observations	Stratigraphie	Remarques
0		terre végétale	
10		argile et rognons calcaires	
20		calcaire argile brune et rognons calcaires	
25		argile rouge compacte avec rognons calcaires	
30		calcaire	
35		argile rouge avec couches de calcaires	
40		calcaire rouge	
45		argile rouge compacte et rognons de calcaires	
50		calcaire	

MIO-PLIOCENE

EOCENE

SONDAGE: M18

Ain sidi bouzid

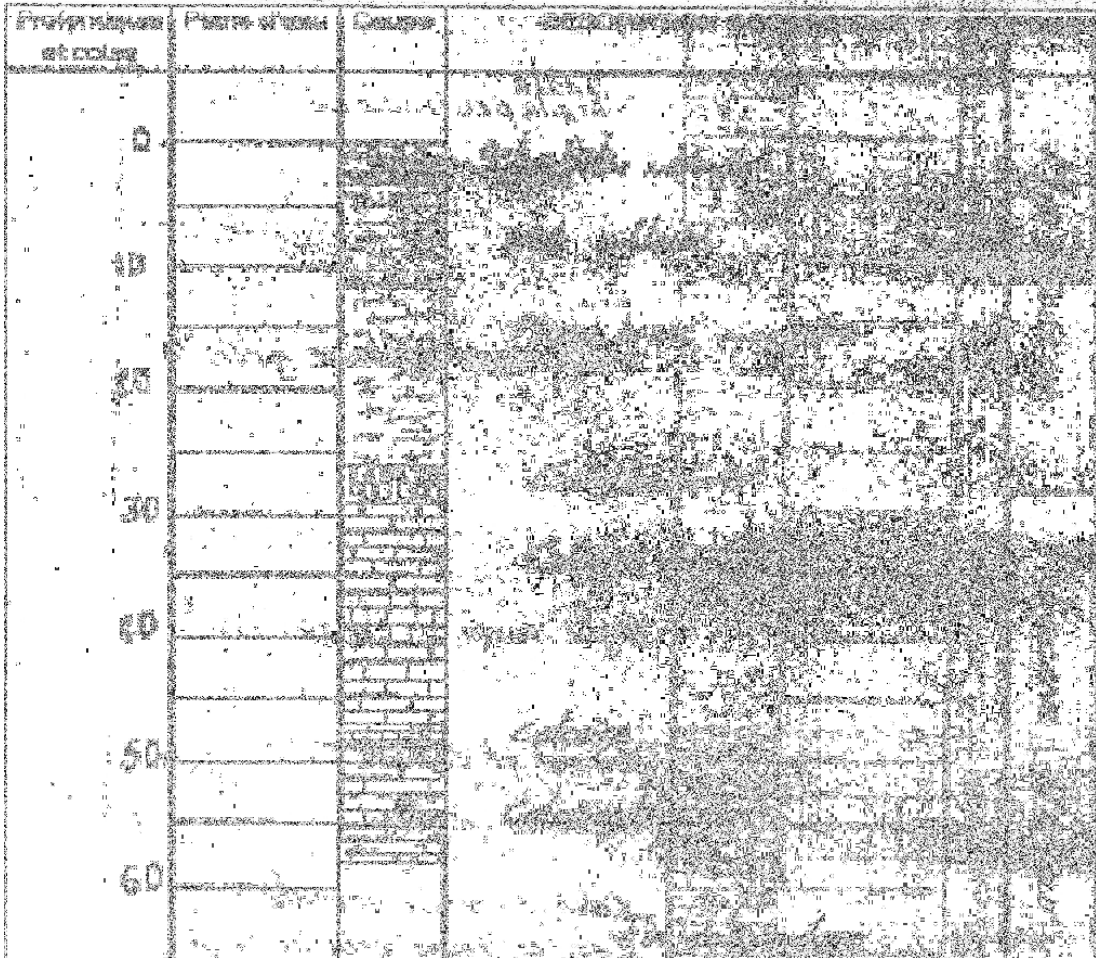
Carte: 1/10 000 EL BORDJ

Date des Travaux 30.05.1995

X: 743 555 Z:

Echelle de la Coup : 1/5000

Y: 160 500



SONDAGE El Amri M20

Carte: 1/50.000 Tolga

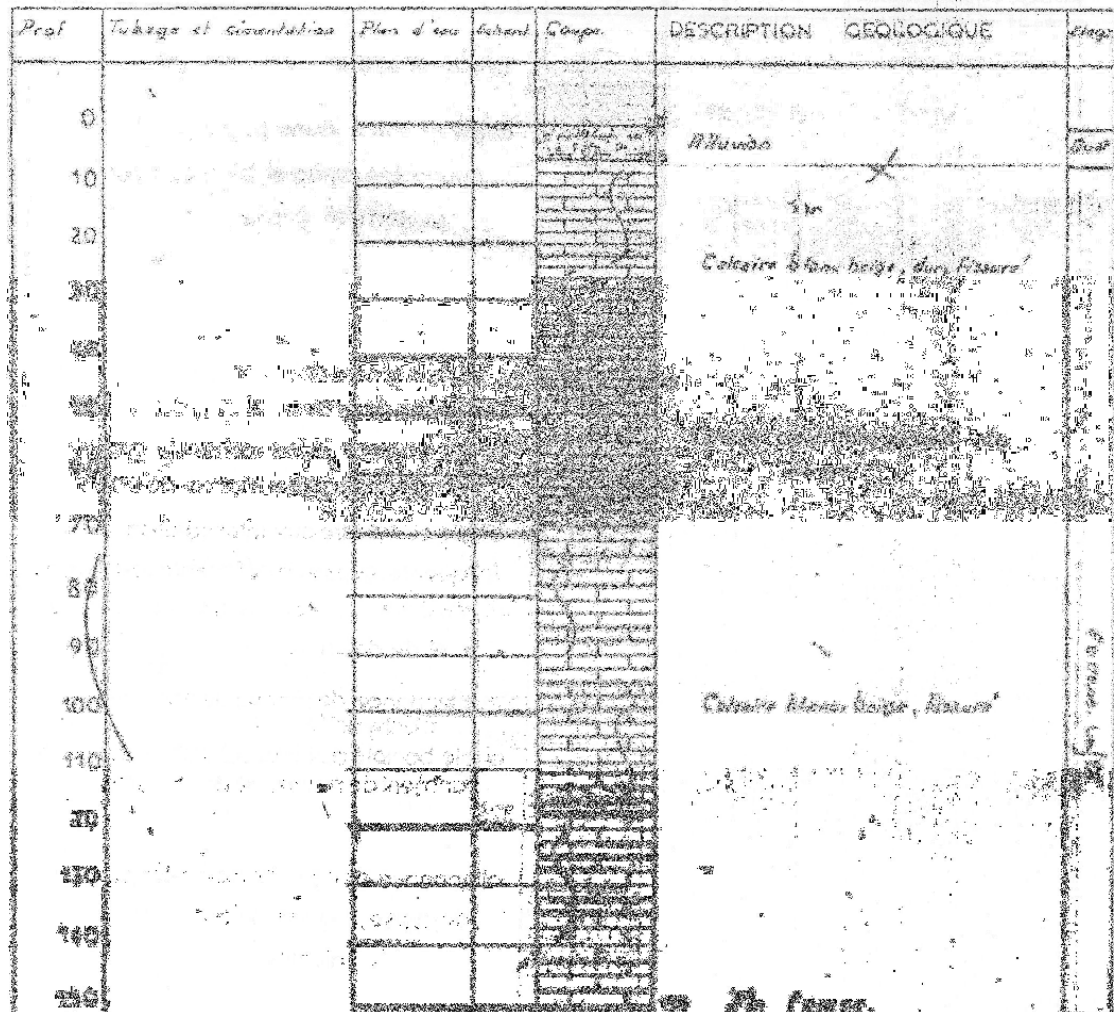
Date des Travaux 13-12-1990

X: 759,80

Z: 167 m

Echelle de la Coup 1/1000

Y: 136,90



SONDAGE : Guriat M21

Carte: 1/50.000 Ouhg

Date des Travaux: 11-10-1992

échelle de la Coupe: 1/7.500

Long:

X: 757,63

Z: 147 m

lat:

Y: 127,40

Prof	Description du forage	coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE
			argile et sable
			argile grise jaunâtre par endroits massive et bien saignée fortement gypse
10			101 sable à grains différents jaunâtre gris à l'interface de gypse et de calcaire
			argile grise jaunâtre compacte gypse alternance de gypse marne dolomite
20			201 argile compacte aux intercalation très fines de gypse de différents épaisseurs alternance de marne de calcaire et de dolomite
			202 alternance de marne de calcaire et d'argile
30			301 argile bariolée aux intercalation d'argile et de marne et de calcaire
			302 alternance d'argile bariolée compacte de gypse, marne, dolomite et de calcaire
40			401 calcaire gris clair aux intercalation de la gypse
			402 calcaire grossier, argile et de gypse fortement fissuré
50			501 calcaire cristallin gris fortement fissuré

M22

SONDAGE Bouclingrennes

N: FIGURE FORAGE

N: INVENTAIRE

Carte: 1/50.000 Tolga

Date des Travaux 1990

X: 151.52 Z: 158.50

Echelle de la Coup 1/7000

Y: 162.150

Prof. (m)	Tubage et cimentation	p. d'eau	E	coupe	description géologique	étage
00					debris et sable gypseux	Quaternaire
01						
14						
23						
30						
35						
44						
63					marne jaune et blanche	
70						
77					argile grise et brune	
84						
91						
98						
105						
112						

SONDAGE : Lioua - M23

Carte: 1/200.000 Biskra

Date des Travaux: 21-12-1995

X: 747,400 Y: 147 m

Echelle de la Coup: 1/100

Y: 157,379

Profondeur (m)	Profondeur (cm)	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0			Sable fins, argileux, compacte, homogène, de couleur beige, avec intercalations de galets fins.	MIOPLÈNE
10			Poudingue de galets fins.	
20			Sable fins, argileux, avec intercalations de galets fins.	
30			Sable fins, argileux, compacte.	
40			Poudingue de galets fins.	
50			Sable fins, argileux, compacte.	
60			Calcaire.	ÉOÈNE MOY
70			Calcaire.	
80			Calcaire.	
90			Calcaire.	
100			Calcaire.	
110			Calcaire.	
120			Calcaire.	
130			Calcaire.	
140			Calcaire.	
150			Calcaire.	
160			Calcaire.	ÉOÈNE INFÉRIEUR
170			Calcaire.	

Fin de forage

Sondage Lichana M24

1/50.000 Tolga

Travaux: 1995

de la Coupe: 1/1000

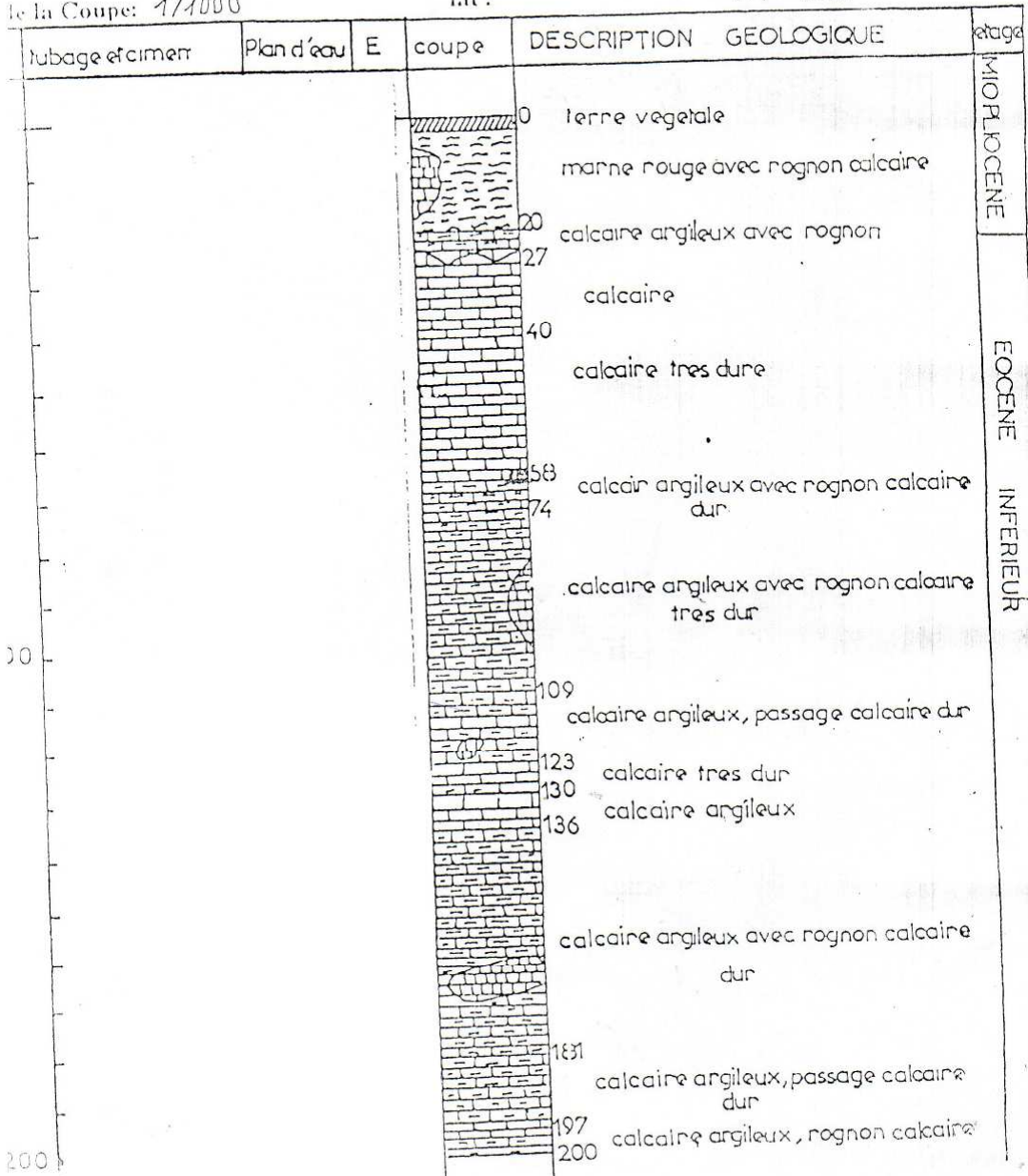
Long:

lat :

X: 742,07

Y: 162,2

Z: 153,50



SONDAGE El Ghrous N25

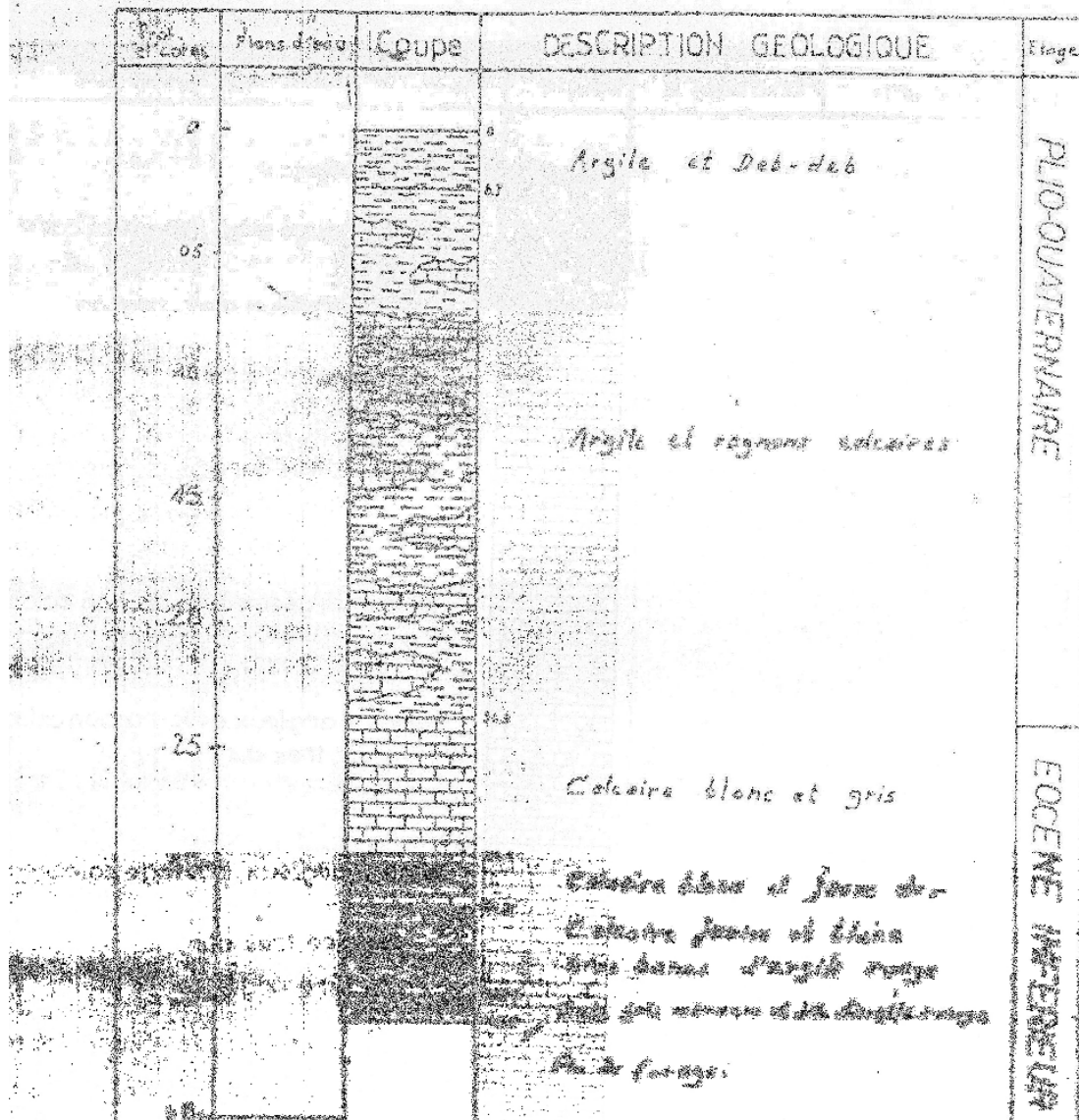
Carte: 1/200.000 Biskra

Date des Travaux Long: 12-11-1995

X: 737,500

Echelle de la Coup lat: 1/250

Y: 159,87 Z: 162,3



SONDAGE Puits de MRichard a megloub M28

Carte: 1/200.000 Biskra

Date des Travaux: 01 07 92

Long:

76° 63' 5"

Lat: 150

Echelle de la Coupe: 1/10000

lat:

150° 25'

Profondeurs et cotés	Traçages et Circumflexion	Plans d'eau	Echelle	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etat
0						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						
110						
120						
130						
140						
150						
160						
170						

SONDAGE Droucen M27

Carte: 1/200.000 Droucen

Date des Travaux: 1993

Echelle de la Coupe: 1/5.000

Long:

N: 728,635 Z: 143,035

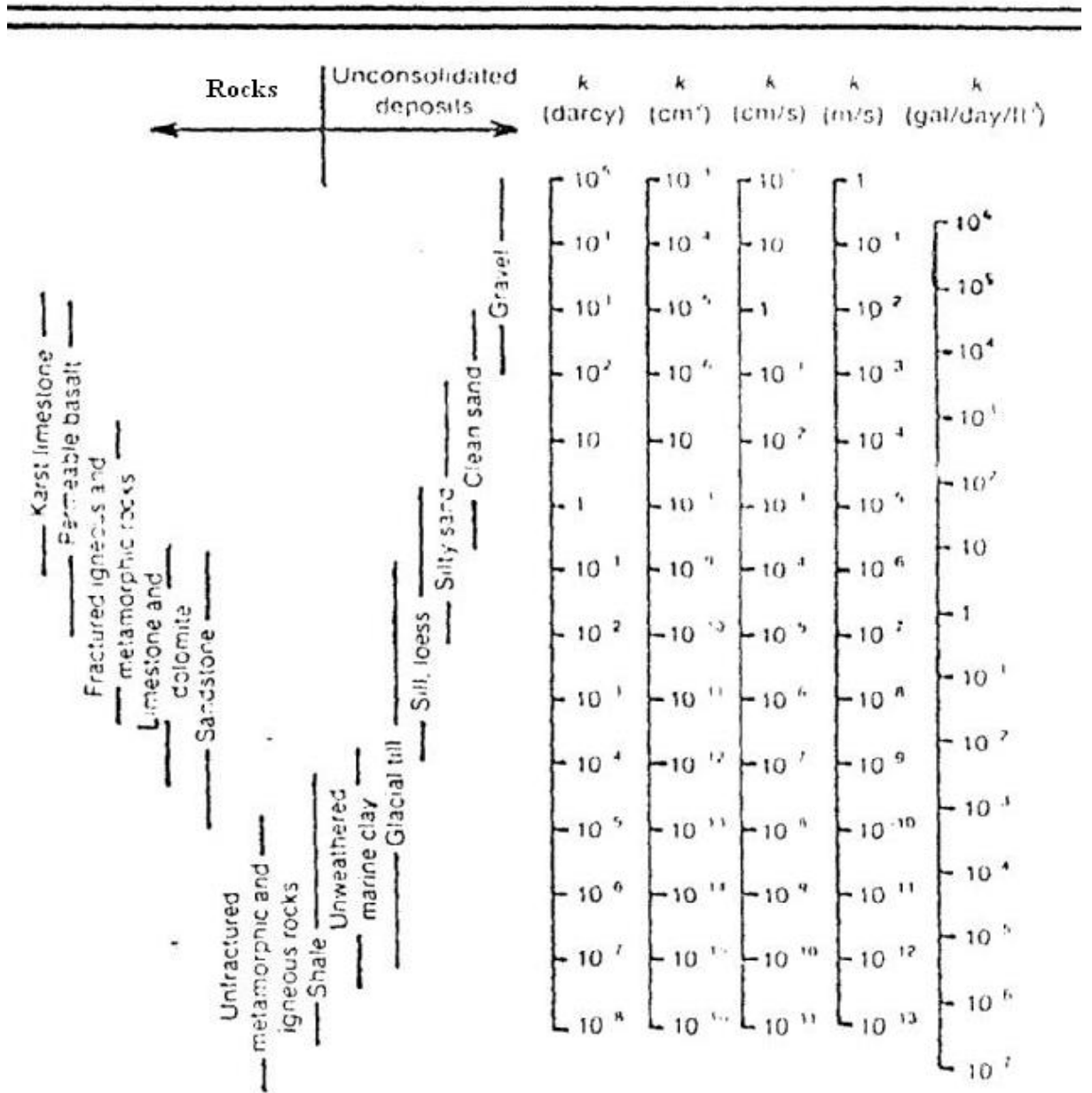
lat:

Y: 150,54

prof	Nd et orientation	p. d'eau	E	coupe	description geologique	age
0					calcaire gypseux	MIOCENE
10					galei graviers calcaire argile rouge	
20					argile rouge	
30					conglomérat à éléments calcaire	MIOCENE
40					argile grise calcaire gypse	
50					calcaire gris	
60					argile grise galei et graviers calcaire	MIOCENE
70					argile rouge galei calcaire	
80					calcaire blanc	
90					calcaire franc et calcaire argileux	EOCENE MOYEN
100					gypse à partir de 140m	
110					gypse et anhydrite "oxyde"	
120					entre 125 et 270m	EOCENE MOYEN
130					calcaire argileux	
140					calcaire argileux gris calcaire blanc	
150					Max. 100cm de bancs	EOCENE MOYEN
160					calcaire argileux noir	
170					calcaire argileux noir	
180					alternance de calcaire blanc et	EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
190					argile grise	
200					apparition de marne gris verte	
210						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
220						
230						
240						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
250						
260						
270						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
280						
290						
300						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
310						
320						
330						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
340						
350						
360						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
370						
380						
390						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
400						
410						
420						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
430						
440						
450						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
460						
470						
480						EOCENE INFÉRIEUR, SENOÏSE
490						
500						

Annexe 05: Diagramme de conductivité hydraulique

Diagramme de Freez and Cherry (Aller et al 1989)



Annexe 06: Chapitre Hydrochimie.

Calcul des paramètres DRASTIC

1- Profondeur de l'eau:

Tableau 01: Cotation du paramètre profondeur de l'eau

Classe des profondeurs d'eau (m)	Dc	Dp	Dc × Dp
4.5-9	9	5	45
9-15	7	5	35
15-23	5	5	25
23-31	3	5	15
+31	2	5	10

Nous avons utilisé les niveaux statiques des forages implantés aux niveaux de la nappe des sables de Miopliocène, Ces données nous ont été fournies par l'agence nationale des ressources hydrique de Biskra (ANRH). Le paramètre profondeur de l'eau est un paramètre très important dans l'évaluation de la vulnérabilité de l'aquifère car le transport des polluant et leur évolution dans le sol et le sous sol sont déterminés en connaissant en première lie la profondeur de la nappe. L'observation de la carte de profondeur de l'eau (fig.01) permet de dégager cinq (05) profondeur différents variant de 0 m à plus de 31m.

Ces profondeurs sont de compris entre 4.5 et 9 m aux alentours de l'Alia (champ captant Oued biskra), deviennent plus importantes au centre et dépasse 31 m à Ras Guerria et à Bab Darb. Ce ci a mis en évidence une variation de l'indice DRASTIC de 5 à 45. La méthode DRASTIC attribue la profondeur de la nappe un poids de 5.ainsi un système de cotation affecté à cette paramètre est représenté dans le tableau 01.

Ces indices ont permis d'établir la carte thématique du paramètre profondeur (fig.01). L'observation de la dite carte montre que les plus faibles indices sont répartis dans la zone de fliache, Gueddacha et Bab Darb et à proximité des bordures ouest. Alors que les plus importants indices se situent au Nord de Alia et au sud de Fliache, avec des valeurs de 35 à 45.

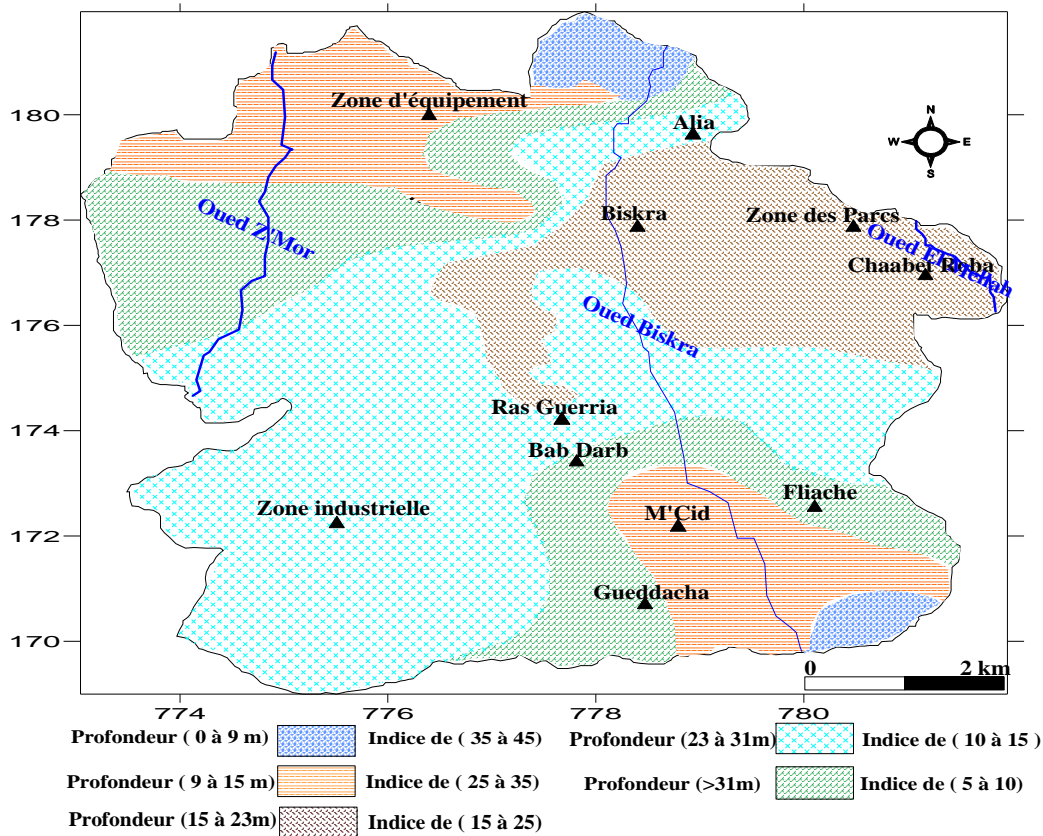


Fig. 01: Carte de la profondeur de l'eau et des indices correspondants.

2- Recharge efficace (R)

Ce paramètre n'a pas été cartographié car la zone est équipée d'un seul poste pluviométrique. Par ailleurs le climat de la région est de type aride, ce qui implique que la recharge est nulle. Ce paramètre ne sera pas pris en considération.

3- Matériaux de l'aquifère (A)

Nous avons utilisé la carte géologique de la région qui mentionne les différents terrains existants. La carte des matériaux de l'aquifère (fig 02) se distingue par la domination de deux faciès principaux: les sables dans la quasi-totalité de la région, et les graviers le long de l'oued Biskra. La présence de petits niveaux de grés et de calcaire est cependant observée.

La méthode DRASTIC attribue un poids de 3 aux matériaux de l'aquifère, ce paramètre figurant dans le (tableau 02) met en évidence trois indices sur toute la région d'étude.

Tableau 02: Cotation du paramètre matériaux de l'aquifère.

Nature du milieu aquifère	Ac	Ap	Ac* Ap
Grés, sable, argile et marnes	6	3	18
Grés	6	3	18
Cailloutis, graviers et sable dans le lit de l'oued	9	3	27
Calcaire	6	3	18
Alluvions sableuses	8	3	24

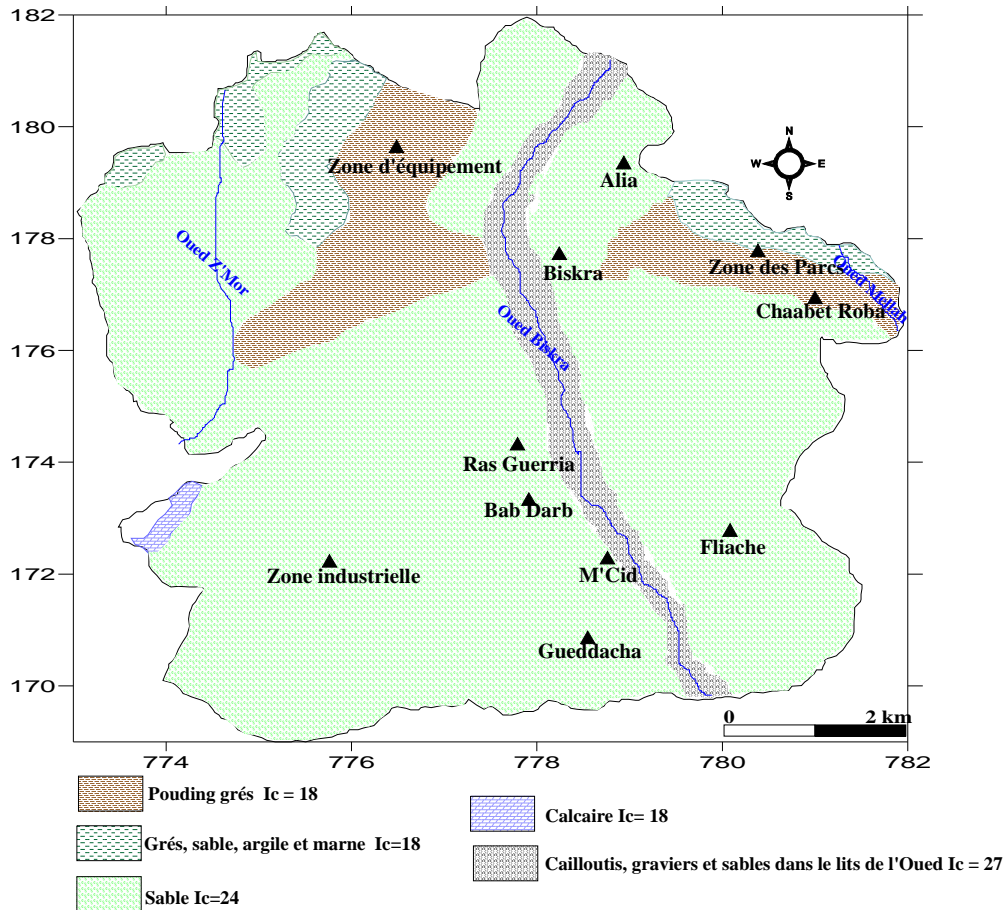


Fig. 02: Carte des matériaux d'aquifère et des indices correspondants.

L'observation de la carte des matériaux de la zone saturée montre que les indices les plus faibles se situent à proximité des bordures Est et au Nord Ouest et les plus importants au centre de la région d'étude et le long de l'Oued Biskra.

4- Type de sol (S):

La surface du sol de part sa nature perméable constitue une zone d'échange importante avec la nappe. Elle fait introduire et évoluer la pollution vers les eaux souterraines. La nature de la surface du sol influe sur la pénétration des polluants vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande. Ce paramètre joue un rôle important dans la détermination des zones polluées.

On s'intéresse généralement à la couche du sol entre 1 à 1.5 mètre d'épaisseur. La carte de type de sol (fig. 03) fait ressortir les cailloutis et graviers aux abords des oueds Biskra et ces affluents. Les sables argileux occupent la totalité de la région d'étude. La méthode DRASTIC attribue à ce paramètre un poids de 2, considéré comme étant faible. Les indices correspondants représentés au (tableau 03) sont différents et traduisent les deux type de sols dominants la région.

Tableau 03: Cotation du paramètre type de sol.

Nature du sol	Sc	Sp	Sc * Sp
---------------	----	----	---------

Graviers	10	2	20
Sables argileux	9	2	18

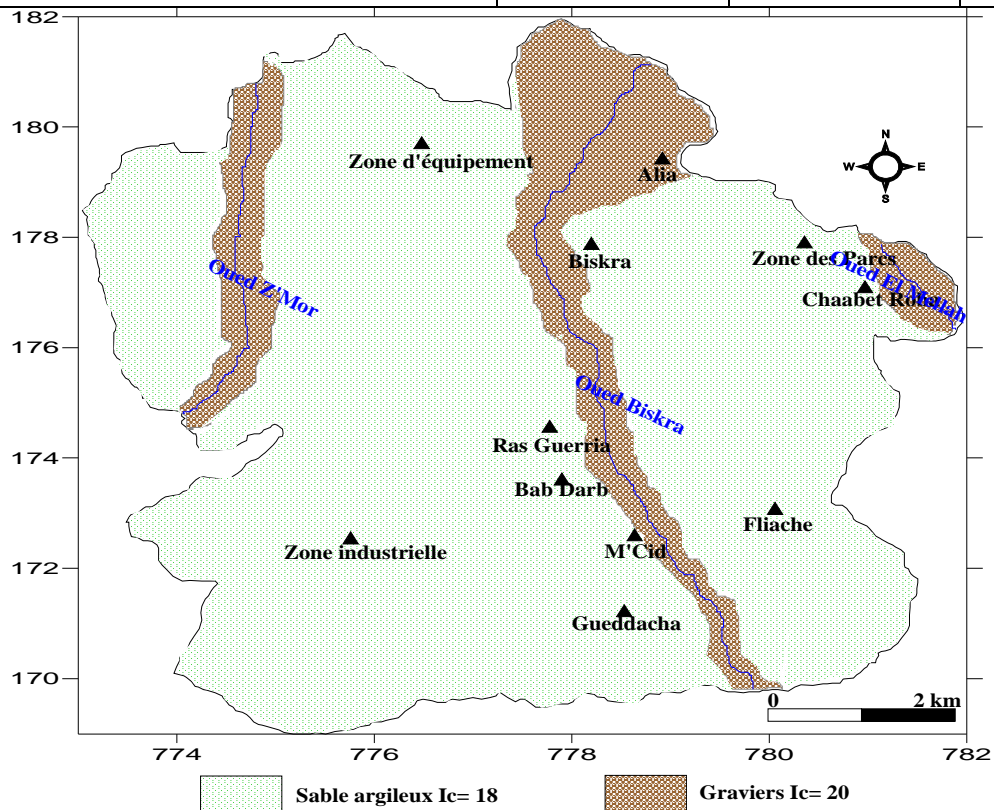


Fig. 03: Carte de type de sol et des indices correspondants.

5- Pente du terrain (T)

D'une façon générale, le risque de contamination des eaux souterraines diminue avec l'augmentation de la pente du terrain. A partir des cartes topographiques au 1/500000, servi à la réalisation de la carte des pentes (fig. 04). La région est très accidentée surtout au Nord et les pentes sont en général supérieures à 12% ce qui correspond aux indices DRASTIC 3.

La méthode DRASTIC attribué la pente du terrain un poids faible (1) par rapport aux autres paramètres,

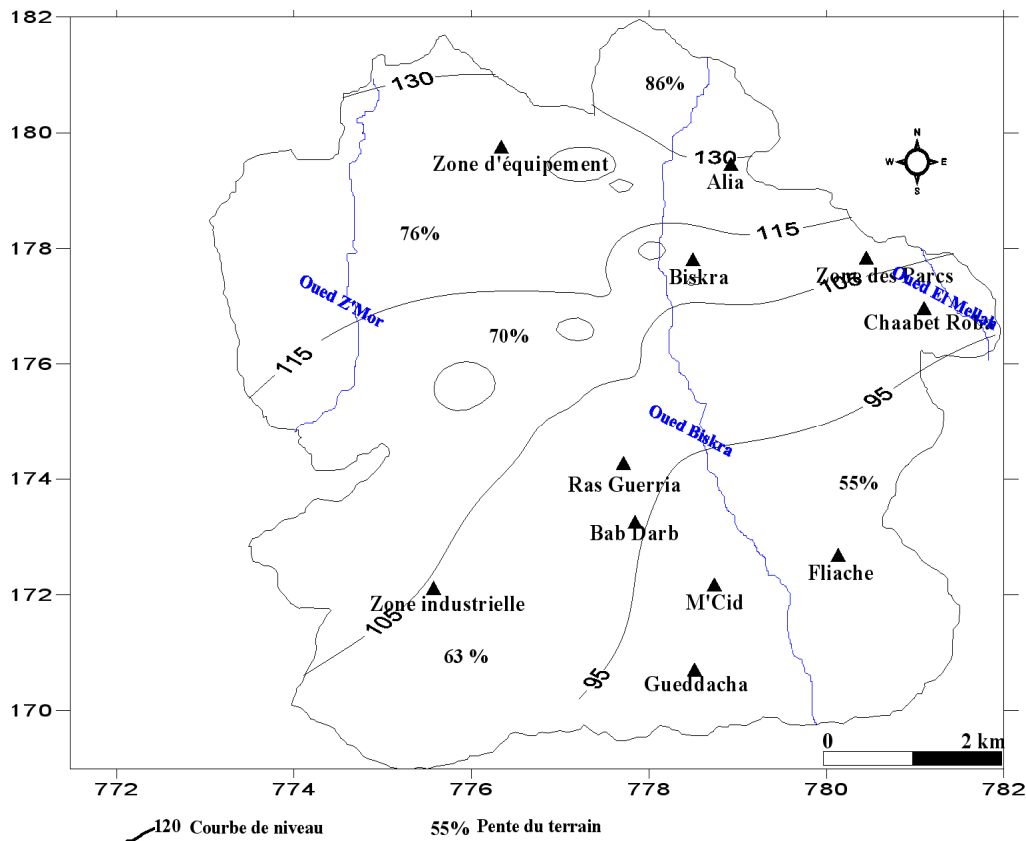


Fig. 04: Carte de la pente du terrain et des indices correspondants.

6- Impact de la zone vadose (I):

La zone vadose (non saturée) constitue la partie comprise entre la surface du sol et l'aquifère. Elle conditionne la facilité de transport des polluants vers la nappe.

L'impact de la zone vadose est considéré comme étant un paramètre important par la méthode DRASTIC. Il a un poids de 5, car la nature et l'épaisseur de la zone aérée située au-dessus du niveau des eaux souterraines contrôlent dans une certaine mesure la vulnérabilité à la pollution des aquifères.

La détermination des classes de ce facteur a été faite en se basant sur les cartes géologiques au 1/50000 de Biskra.

La carte de la zone vadose (fig. 05) montre que les sables occupent presque toute la région et les galets et graviers de bonne perméabilité qui se localisent à l'amont d'Oued Biskra.

Le tableau 04 donne les indices correspondant aux différents types de faciès.

Tableau 04: Cotation du paramètre impact de la zone vadose.

Impact de la zone vadose	Ic	Ip	Ic*Ip
Galets et graviers	8	5	40
Sable	6	5	30
Sable et graviers	6	5	30

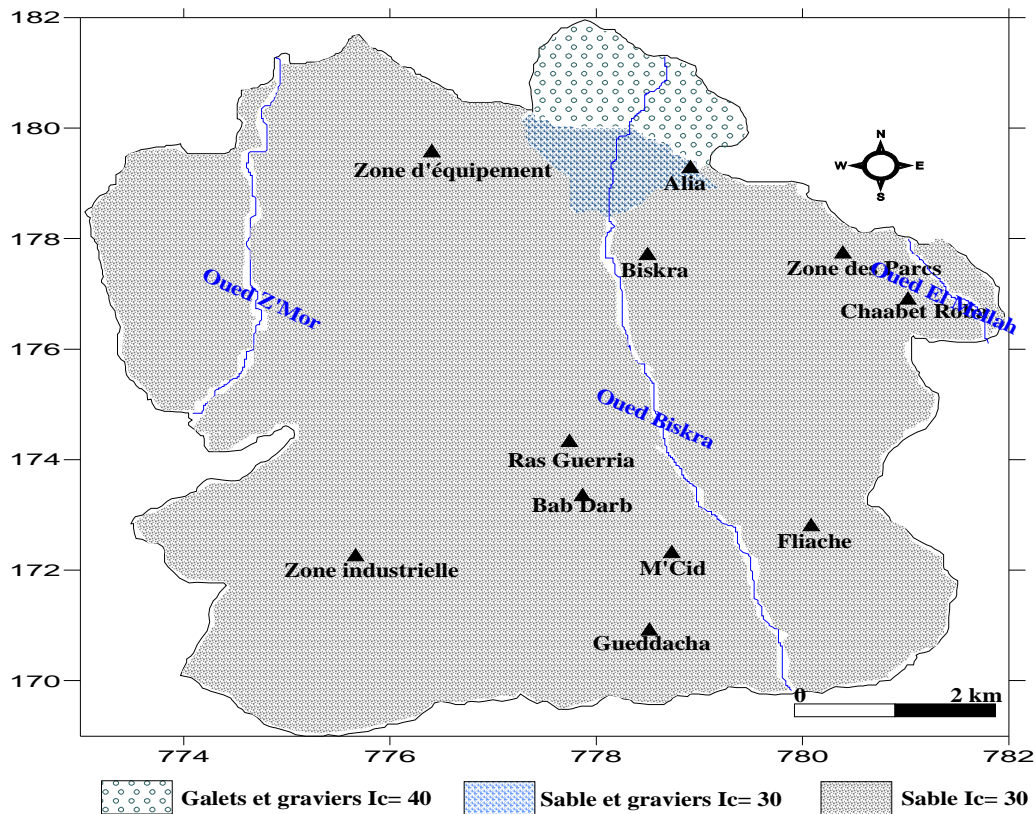


Fig. 05: Carte de la zone vadose et des indices correspondants.

7- conductivité hydraulique(C):

La dispersion d'un contaminant vers la nappe est facilitée par la perméabilité du terrain. Les perméabilités sont estimées par $K = T/e$ à partir des épaisseurs de la nappe (e) et les transmissivités (T) des essais de pompage. L'observation de la carte de perméabilité (fig. 06) montre la dominance de la classe $4.7.10^{-4} < K < 9.4.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ alors que des valeurs plus importantes ($K > 9.4 .10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$) se rencontrent sur une zone limitée à l'Est et au Nord de la ville de Biskra.

La méthode DRASTIC attribue un poids moyen de 3 à la perméabilité. Les indices correspondant à ce paramètre sont présentés dans le tableau 05.

Tableau 05: Cotation du paramètre perméabilité.

Perméabilité en 10^{-4} m/s	Cc	Cp	Cc*Cp
$4.7.10^{-4} < K < 9.4.10^{-4}$	9	3	27
$K > 9.4 .10^{-4}$	10	3	30

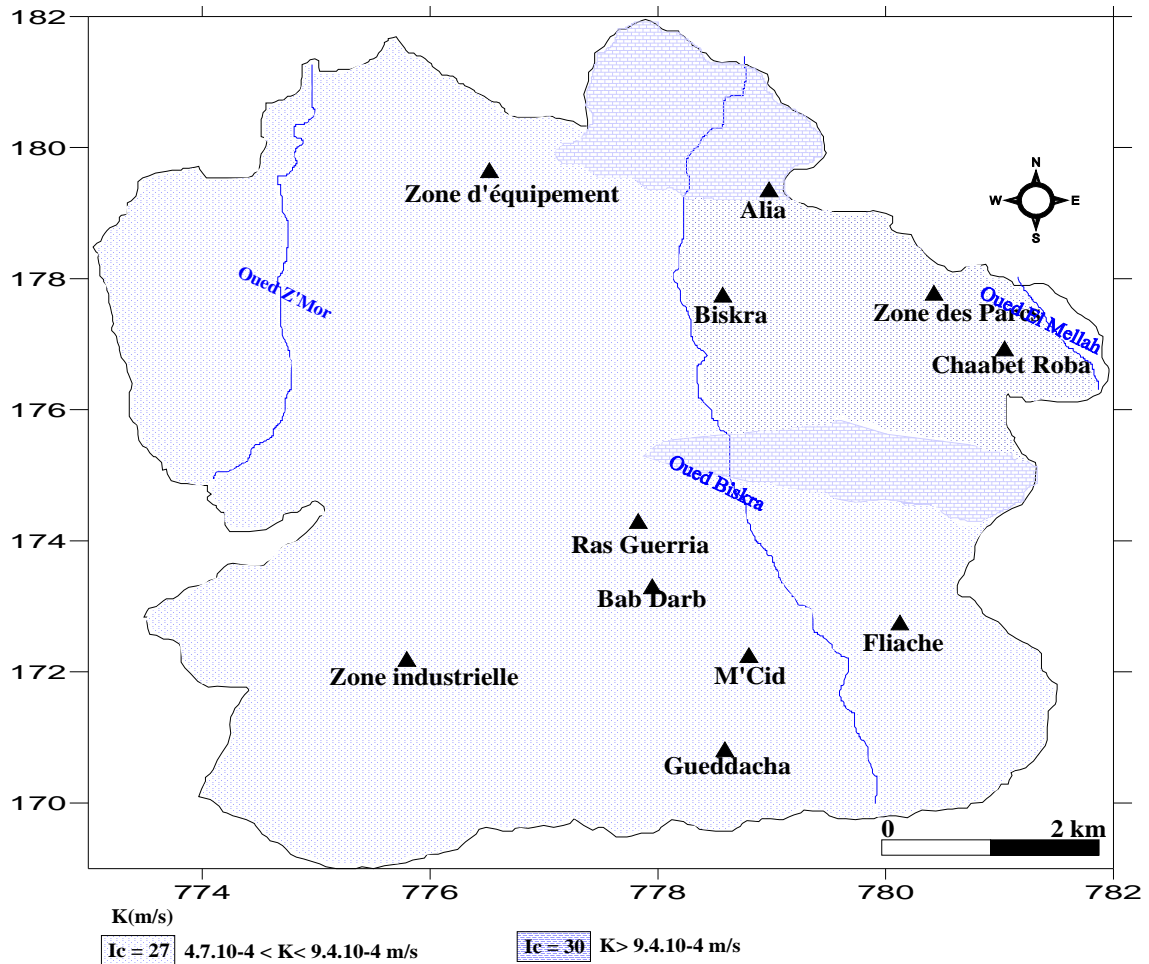


Fig. 06: Carte de la perméabilité (m/s) et des indices correspondants.

**Annexe 07:
Résultats de calcul de l'indice de qualité (IQ) des eaux d'AEP de la nappe des sables de Biskra.**

nom	conductivité mS/cm	Cl- (mg/l)	NO3- (mg/l)	So4-- (mg/l)	Na+ (mg/l)	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	IQ
F El Moudjahidine	2,25	514	8	886	390	16	25	1	25	25	92
f1/f2	2,64	651	8	1073	539	16	25	1	25	25	92
f3/f4	2,41	543	8	927	402	16	25	1	25	25	92
gendaremerai	2,93	667	13	1093	455	16	25	4	25	25	95
cité université	3,49	731	10	1468	616	25	25	4	25	25	104
Fliache	3,78	667	11	1285	441	25	25	4	25	25	104
Boukhalfa	1,89	332	8	737	211	9	25	1	25	25	85
hopital el alia	3,16	656	8	1079	465	25	25	1	25	25	101
Wilaya	3,26	762	8	1317	640	25	25	1	25	25	101
F1 Ras Guéria	3,24	527	10	1031	286	25	25	4	25	25	104
la foire	3,07	638	10	1048	500	25	25	4	25	25	104
f3	3,01	529	11	1099	461	25	25	4	25	25	104
wali	3,46	831	8	1411	648	25	25	1	25	25	101
commissariat	2,16	690	10	1125	618	16	25	4	25	25	95
comping	1,92	363	7	778	188	9	25	1	25	25	85
école des aveugles	2,42	465	7	918	191	16	25	1	25	25	92
Sidi abdoune	4,19	890	8	1588	754	25	25	1	25	25	101
sif 6	4,12	1089	11	1664	754	25	25	4	25	25	104

Résultats de calcul de l'indice de qualité (IQ) des eaux d'irrigation de la nappe des sables de Biskra.

nom	conductivité mS/cm	Cl- (mg/l)	NO3- (mg/l)	So4-- (mg/l)	Na+ (mg/l)	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	IQ
F El Moudjahidine	2,25	514	8	886	390	16	16	1	16	25	74
f1/f2	2,64	651	8	1073	539	16	16	1	25	25	83
f3/f4	2,41	543	8	927	402	16	16	1	16	25	74
gendaremerai	2,93	667	13	1093	455	16	16	4	25	25	86
cité université	3,49	731	10	1468	616	25	25	4	25	25	104
Fliache	3,78	667	11	1285	441	25	25	4	25	25	104
Boukhalfa	1,89	332	8	737	211	9	9	1	16	9	44
hopital el alia	3,16	656	8	1079	465	25	16	1	25	25	92
Wilaya	3,26	762	8	1317	640	25	25	1	25	25	101
F1 Ras Gu�ria	3,24	527	10	1031	286	25	16	4	25	25	95
la foire	3,07	638	10	1048	500	25	16	4	25	25	95
f3	3,01	529	11	1099	461	25	16	4	25	25	95
wali	3,46	831	8	1411	648	25	25	1	25	25	101
commissariat	2,16	690	10	1125	618	16	16	4	25	25	86
comping	1,92	363	7	778	188	9	9	1	16	4	39
�cole des aveugles	2,42	465	7	918	191	16	16	1	16	4	53
Sidi abdoune	4,19	890	8	1588	754	25	25	1	25	25	101
sif 6	4,12	1089	11	1664	754	25	25	4	25	25	104