

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Faculté de Technologie
Université d'El-Oued

Département d'Hydraulique et
Génie Civile



MEMOIRE

*Présente en vue de l'obtention du
diplôme Master en Hydraulique*

*Option: Conception et Diagnostic de Système d'Alimentation en eau
potable et d'Assainissement*

THEME :

*Evaluation la qualité des eaux souterraines
utilisées en irrigation, problème et solution, cas
de la région de Biskra (Sud-est Algérien)*

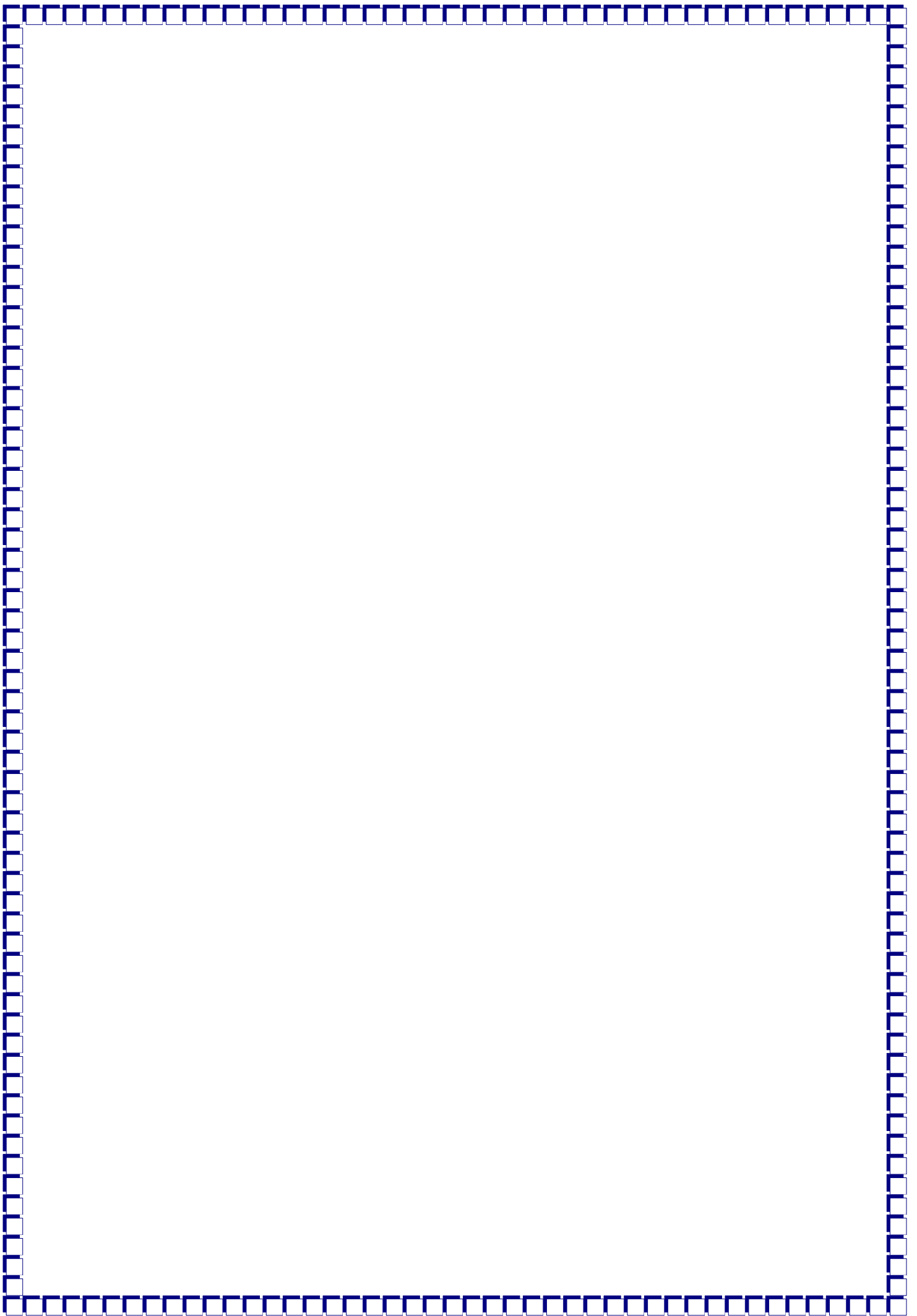
Encadreur :

Dr : Zair Nadjet

Présenté par:

- Hamdi Abdel Alim
- Zeghoud Med Chemssddine

Promotion : Mai 2017





Remerciements

Remerciements

*Nous remercions mon éternel tout puissant (Allah),
source de volonté, de patience et de courage qui nous ont permis
d'accomplir ce travail.*

*Je tiens tout d'abord à exprimer mes remerciements les
plus sincères à mon encadreur Dr : Zair Nadjet pour ses efforts
fournis afin de mener à bien ce projet.*

*Nous remercions également les enseignants du
Département qui nous ont instruits durant nos 5 ans de
formation.*

*Je souhaite associer à ceux-ci des remerciements pour le
monsieur Khachana Salim chef du département de Génie civil
et Hydraulique de l'Université d'El Oued.*

Un merci particulier à Mr : Miloudi Abdel Moneim.

*Enfin nous à exprimer notre reconnaissance à tous nos
amis et collègues, et tous ceux qui nous ont aidé de près ou de
loin durant la réalisation de ce travail.*

Merci...

Zeghoud Med Chemsseddine

Hamdi Abdel Alim

RESUME

Résumé

La région de Biskra située au Sud-est algérien, où il dispose d'un grand réserve des eaux souterraines qui est la nappe Continentale Intercalaire connue sous le nom des eaux chaudes et mobiliser pour satisfaire les besoins des résidents de la région, ainsi que pour l'irrigation. La nature chimique de l'eau est devenue un grand problème, y compris la concentration en minéraux, qui a dépassé la limite des normes de l'Organisation mondiale de la Santé.

Le but de cette étude est d'évaluer l'évolution physico-chimique des eaux Albiennes, en fonction des analyses physiques et chimiques actuelles et précédentes pour les 73 forages avant 2013 et les neuf forages 2016 sélectionnée de la zone d'étude.

L'augmentation de la salinité des eaux des forages étudiés est le signe principal de l'évolution de la composition chimique de ces eaux.

Les mots clés : Eaux souterraines, Continentale Intercalaire, Eaux Albiennes, Organisation mondiale de la santé.

Abstract

Biskra region south-eastern Algeria, where it has a large reserve of underground water which is known tablecloth Continental Intercalary as the warm waters and mobilize to meet the needs of area residents, as well as irrigation. The chemical nature of water has become a major problem, including the concentration of minerals, which has exceeded the World Health Organization standards. The aim of this study is to evaluate the physico-chemical evolution of Albian waters according to current and previous physical and chemical analysis for the 73 boreholes before 2013 and the 9 2016 boreholes selected from the study area. The increase in the salinity of the wells studied is the main sign of the evolution of the chemical composition of these waters.

Key words : Grounds water, Continental Intercalary, Albian Waters, World Health Organization.

RESUME

ملخص

تقع ولاية بسكرة في جنوب شرق الجزائر حيث أنها تزخر بمخزون جوفي كبير يتمثل في طبقة المتداخل القاري المعروفة باسم المياه الحارة والمستغلة لتلبية سكان المنطقة وكذلك لأغراض السقي.

إن الطبيعة الكيميائية لهذه المياه أصبحت تمثل مشاكل عديدة منها التركيز المعدني الكبير والذي تجاوز الحد المسموح به من طرف المنظمة العالمية للصحة. إن الهدف من هذه الدراسة معرفة التطور الفيزيوكيميائي لهذه المياه اعتمادا على التحاليل الفيزيائية والكيميائية الحالية والسابقة للأبار 73 (قبل سنة 2013) و 9 (سنة 2016) المختارة من منطقة الدراسة.

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titre	Page
01	Precipitations moyennes annuelles (1992-2012)	08
02	precipitations moyennes mensuelles (1992-2012)	09
03	Evaporation moyenne en mm durant la période (1996-2011)	10
04	Humidité relative mensuelle moyenne durant la période (2003-2014)	11
05	Vitesses moyennes mensuelles de vents (m/s) (1995-2014)	12
06	Répartition de la population occupée	14
07	Longueurs et débits des principaux Oueds	17
08	Unités géologiques et hydrogéologiques dans la région de Biskra.	25
09	Perméabilité de la nappe des calcaires déterminés à partir des essais par pompage.(ANRH).	31
10	Volume d'eau soutiré par nappe dans la région de Biskra	32
11	Nappes captées par daïra à travers la wilaya de Biskra	33
12	Débits observés des sources et forages de la nappe de Tolga (EI)	34
13	Estimation du potentiel hydrique des ressources en eaux souterraines de la wilaya de Biskra	35
14	Evolution des prélèvements dans le système aquifère Biskra	35
15	Faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine d'étude	40
16	Evolution des classes d'irrigation selon Richards	57
17	Evolution des classes d'irrigation selon Wilcox.	60
18	les poids relatifs des paramètres physico-chimiques	62
19	Classification of groundwater quality according GWQI	63
20	Classification des points d'eau 2013	63
21	Classification les points d'eau 2016	64

LISTE DES FIGURES

Figures	Titre	Page
01	Carte de situation géographique de la wilaya de Biskra	04
02	Dècoupage administratif de la wilaya de Biskra	05
03	Milieu physique de la wilaya de Biskra	06
04	Carte pluviométrique de la région de Biskra	07
05	Precipitations moyennes mensuelles (1992 à 2012)	09
06	Temperature moyennes mensuelles (2001 à 2011)	10
07	Histogramme de l'humidité moyenne mensuelle station de Biskra (2003-2014).	11
08	Temps d'ensoleillement	13
09	Les aquifères inventoriés au niveau de la région de Biskra (ANRH, 2008)	19
10	Barrage Foum El Gherza	20
11	Barrage Fontaine des Gazelles	20
12	Carte géologique de wilaya de Biskra	23
13	Coupe hydrogéologique schématique montrant la succession des niveaux aquifères	25
14	Réseau hydrographique	26
15	Coupe hydrogéologique schématique dans la région de Biskra	28
16	Coupe hydrogéologique schématique dans la région de Biskra	29
17	Coupe hydrogéologique dans la nappe des calcaires	30
18	Tableau récapitulatif des unités géologiques et hydrogéologiques	32
19	Evolution dans le temps du nombre de forages et du volume extrait	33
20	Variation des niveaux statiques de la nappe Mio-pliocène dans la zone Est de la wilaya de Biskra	38
21	Variations des niveaux statiques de la nappe des calcaires	38
22	Carte des points d'eau échantillonnés (2013)	39
23	Localisation des points d'eau dans la région de Biskra	39
24	Diagramme de Piper des eaux souterraines dans la plaine(2013)	41
25	Diagramme de Piper des eaux souterraines dans la plaine(2016)	42
26	Répartition spatiale de la conductivité électrique 2013	43
27	Evolution de la Conductivité électrique 2016.	44

LISTE DES FIGURES

28	Répartition spatiale du potentiel d'hydrogène 2013	44
29	Evolution du potentiel d'hydrogène 2016	45
30	Répartition spatiale de Sulfate 2013	45
31	Evolution de sulfate 2016	46
32	Répartition spatiale de chlorure 2013.	46
33	Evolution de chlorure 2013	47
34	Répartition spatiale du Sodium 2013	47
35	Evolution de Sodium 2016.	48
36	Répartition spatiale du Calcium 2013	49
37	Evolution de Calcium 2016	49
38	Répartition spatiale du Magnésium 2013	50
39	Evolution de Magnésium 2016	50
40	Répartition spatiale du Potassium 2013	51
41	Evolution de Potassium 2016	51
42	Répartition spatiale des Bicarbonates 2013	52
43	Evolution des Bicarbonates 2016	52
44	Répartition spatiale des Nitrates 2013	53
45	Evolution des Nitrates 2016	53
46	Diagramme de Richards pour l'année 2013	56
47	Diagramme de Richards pour l'année 2016	57
48	Diagramme de Wilcox pour l'année 2013	55
49	Diagramme de Wilcox pour l'année 2016	61
50	Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Biskra (2013)	66
51	Evolution de l'indice GWQI2016	66

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations	Significations
A.N.A.T	Agence Nationale d'Aménagement du Territoire
A.N.R.H	Agence Nationale des Ressources Hydriques
A.N.B.T	Agence Nationale des Barrages et Transferts
O.M.S	L'organisation Mondiale de la Santé
O.N.M	Office Nationale Météorologique
A.B.H.S	Agence des Bassins Hydrographiques Saharienne
D.H.W	Direction Hydraulique de la Wilaya
H.P.E	Hydraulique Projet Est
O.S.S	L'Observatoire du Sahara et du Sahel
C I	Continental Intercalaire
C T	Complexe Terminal
A.N.D.I	Agence Nationale de Développement de l'Investissement
A.P.F.A	Accession à la Propriété Foncière Agricole
D.S.A	Direction des Services Agricoles de Biskra
°C	Degré Celsius
S.A.R	Sodium Adsorption Ration
Ha	Hectare
Hm^3	Hectomètre cube
Hm^3/an	Hectomètre cube par an
$\mu s/cm$	Micro siemens par centimètre



SOMMAIRE

SOMMAIRE

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre 1

Présentation générale de la région de Biskra

I-1 Introduction.....	03
I-2 La situation géographique.....	03
I-3 Cadre administratif.....	04
I-4 Aperçu géomorphologie.....	05
I-5 Climat.....	06
I-5-1 Précipitation.....	06
I-5-2 Température.....	09
I-5-3 Evaporation.....	10
I-5-4 Humidité.....	10
I-5-5 Le Vent.....	12
I-5-6 Ensoleillement.....	12
I-6 Sol.....	13
I-7 Population.....	14
I-8 Potentialités économiques.....	15
I-9 Ressources en eau.....	17
I-10 Conclusion.....	21

Chapitre II

Géologie et l'Hydrogéologie de la région de Biskra

II-1 Introduction.....	22
II-2 Cadre géographique.....	22
II-3 Géologie.....	22
II-3-1 Quaternaire.....	23
II-3-2 Miocène supérieur.....	23
II-3-3 Pliocène.....	23

SOMMAIRE

II -3-4 Eocène moyen (Lutétien).....	23
II -3-5 Eocène inférieur.....	24
II -3-6 Sénonien supérieur.....	24
II -3-7 Sénonien inférieur.....	24
II -3-8 Turonien.....	24
II -3-9 Cénomaniens.....	24
II -3-10 Albien.....	24
II -3-11 Aptien.....	24
II -3-12 Barrémien.....	24
II -4 Hydrogéologie.....	26
II -4-1 Réseau hydrographique.....	26
II -4-2 Nappe phréatique.....	27
II -4 -2 -1 Les paramètres hydrodynamiques de la nappe phréatique	27
II -4-3 Nappe des sables du Mio-pliocène.....	27
II -4-3-1 Transmissivité et porosité.....	28
II-4-4 Nappe des calcaires du l'Eocène inférieur.....	29
II -4-5 Nappe du Continentale Intercalaire (CI).....	30
II -4-5-1 Paramètre hydrodynamique	31
II -4-5-1-1 Perméabilité de la nappe des calcaires de l'éocène inférieur.....	31
II -4-5-1-2 Transmissivité.....	31
II-5 Exploitation des nappes d'eau souterraines.....	32
II -6 Potentialités hydriques.....	35
II -6-1 La ressource hydrique à Biskra.....	35
II 6-2 Potentiel des ressources en eau souterraines.....	35
II -7 Niveau des prélèvements.....	36

SOMMAIRE

II -8 Niveau piézométrique.....	37
II -9 Conclusion.....	38

Chapitre III

Evaluation l'aptitude à l'irrigation des eaux souterraines

1^{ère} partie: Hydrochimie des eaux

III -1 Introduction.....	38
III -2 Echantillonnage et analyse hydrochimique.....	38
III -3 Détermination des principaux faciès hydrochimiques.....	39
III -4 Représentation graphique des faciès hydrochimiques.....	40
III -4-1 Diagramme de PIPER.....	40
III -5 Cartographie hydrochimique.....	43
III -5-1 La conductivité électrique (CE).....	43
III -5-2 Potentiel d'Hydrogène (pH).....	44
III -5-3 Les sulfates (SO_4^-).....	45
III -5-4 Les chlorures et sodium (Cl^-), (Na^+).....	46
III -5-5 Le calcium (Ca^{2+}).....	48
III -5-6 Le magnésium (Mg^{2+}).....	49
III-5-7 Le potassium (K^+).....	51
III -5-8 Bicarbonates (HCO_3^-).....	52
III -5-9 Nitrate (NO_3^-).....	53

Deuxième partie : Aptitude des eaux à l'irrigation

III -6 Classification des eaux par la méthode de Richards.....	55
III -6-1 Classification des eaux par la méthode de Wilcox.....	58
III -6-2 Détermination de l'indice de Ground Water Quality Index (GWQI).....	61
III -6-3 La distribution spatiale de l'indice de la qualité de l'eau souterraine (GWQI).....	64

SOMMAIRE

III -7 Conclusion.....66

Conclusion générale.....67

Références Bibliographiques.

Annexes.



INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière, qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans l'eau, la terre ne serait qu'un astre mort, et aucune vie humaine, biologique, ou animale, n'existerait.

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

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays.

Pour la Sahara septentrional algérien, l'essentiel des ressources est constitué par les eaux souterraines. Ces dernières, contenues dans les formations continentales du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T) constituent l'un des plus vastes réservoirs hydrauliques du monde, dont les potentialités mobilisables sont estimés à 5 milliards de mètres cube d'eau (**ANRH, 1986**).

Notre travail s'inscrit dans le cadre de cette réflexion à propos du devenir de la qualité des eaux d'une ressource souterraine potentielle située dans la région au sud-ouest du centre de la wilaya de Biskra. Il s'agit de la nappe continentale intercalaire dite albienne destinée à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie.

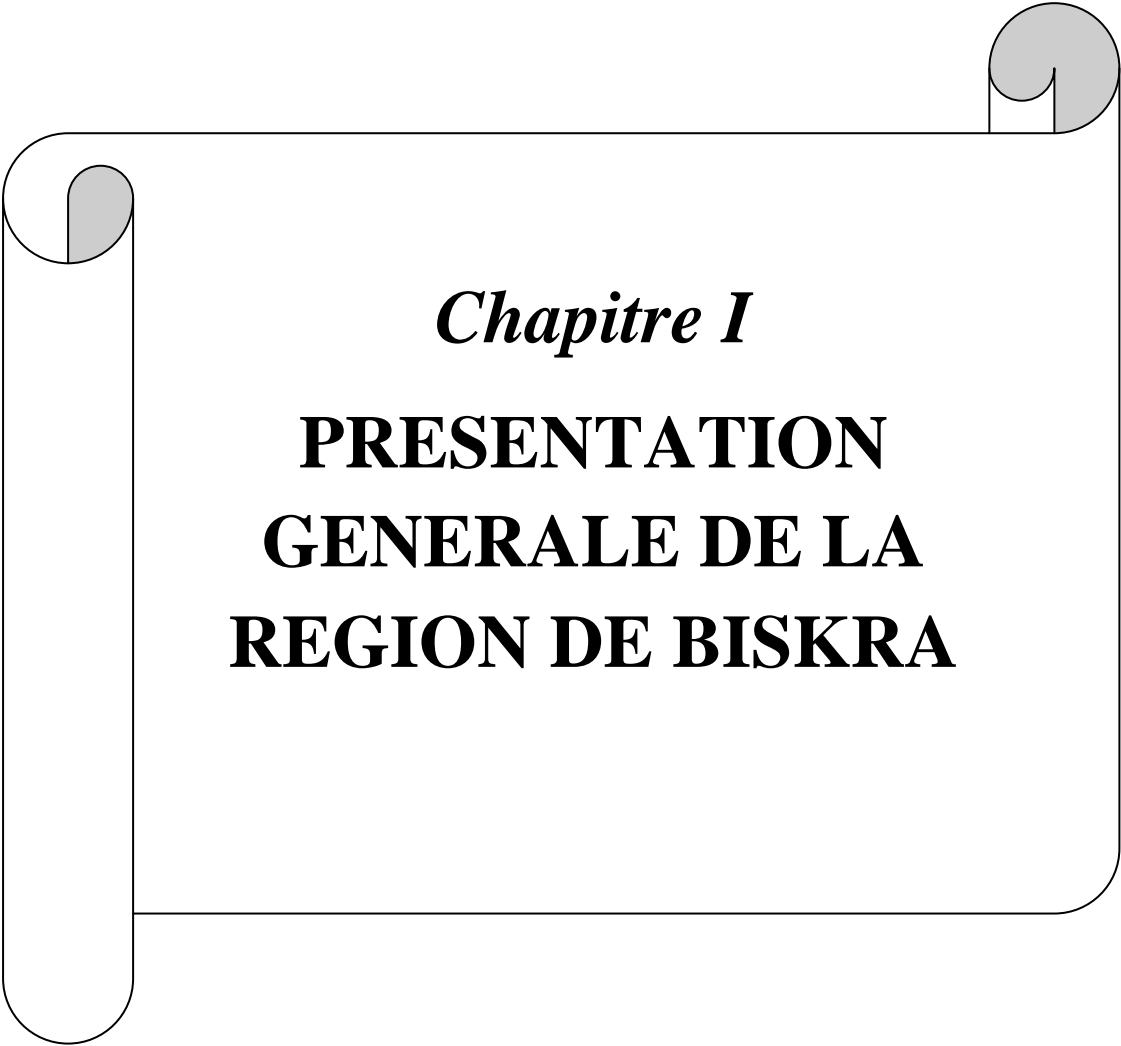
L'objectif visé dans ce travail est d'évaluer l'évolution de la qualité des eaux de l'aquifère dans la région de Biskra, destinée à l'alimentation en eau à l'irrigation.

Ce travail suivra la chronologie ci-dessous :

- Le premier chapitre expose les caractéristiques générales de la zone d'étude en synthétisant les données disponibles.
- Le deuxième chapitre est la partie du mémoire consacrée à la reconnaissance géologique de la région et à l'identification hydrogéologique de l'aquifère, principal source d'alimentation de nos points d'échantillonnage et qui est le Continental.
- Le troisième chapitre détaille les étapes de travail et les méthodes utilisées pour atteindre l'objectif tracé, c'est la principale partie dans ce travail qui s'est surtout consacrée à la détermination des faciès chimiques et la qualité des eaux.

INTRODUCTION GENERALE

Notre étude se termine par une conclusion générale et nous espérons que cette étude servira de manuel utile pour enrichir la bibliothèque ainsi que la documentation pour les promotions futur.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

Chapitre I

**PRESENTATION
GENERALE DE LA
REGION DE BISKRA**

I -1 Introduction

Du fait de sa position stratégique dans l'oriental algérien au pied des Aurès et du désert, la wilaya de Biskra a été un foyer de civilisation, de sciences et de culture. Elle a été un centre de rayonnement religieux et d'attraction touristique. Elle est une importante escale touristique.

La porte du désert; Biskra est située au pied du versant méridional du massif de l'Aurès. Elle constitue dans l'est Algérien, au confluent de deux vallées qui traversent le massif, la première étape et la porte de l'espace saharien. Outre les ressources en eaux et en sols qui ont permis la pratique de l'agriculture oasienne, cette position charnière, a fait de Biskra, un relais naturel de circulation Nord-sud. Depuis l'époque romaine, ce site à été utilisé par les occupants successifs, comme place forte et centre administratif et commercial.

I -2 La situation géographique

Ce travail a été réalisé au niveau d'une station à proximité du département d'hydraulique de l'université de Biskra. Située à environ 470 Km au Sud-est d'Alger, Biskra capitale des Ziban ; se trouve à une altitude de 124 m, sa latitude est de 34.48 m (N) est sa longitude est 5.44 (E). (ANAT, 2003).

Cette wilaya est limitée :

- * Au Nord par la wilaya de Batna et la wilaya de M'sila
- * Au Nord-est par la wilaya de Khenchla
- * Au Sud-ouest par la wilaya de Djelfa
- * Au sud par la wilaya d' El Oued.



Figure (1) : Carte de situation géographique de la wilaya de Biskra (H.P.E,2005)

I-3 Cadre administratif

Crée après le découpage administratif de 1974, la wilaya de Biskra se composait de six (06) daïras et vingt-deux (22) communes (ANAT,2003).

Avec le découpage administratif de 1984, la wilaya de Biskra se compose de trente-trois (33) communes et douze (12) daïras dont les Chefs-lieux sont: Tolga, Oued Djellal, Sidi Okba, El Outaya, El Kantra, Ourlal, M'chounèche, Zeribet El Oued, Sidi Khaled, Foughala, Djemourah et Biskra (figure 2).

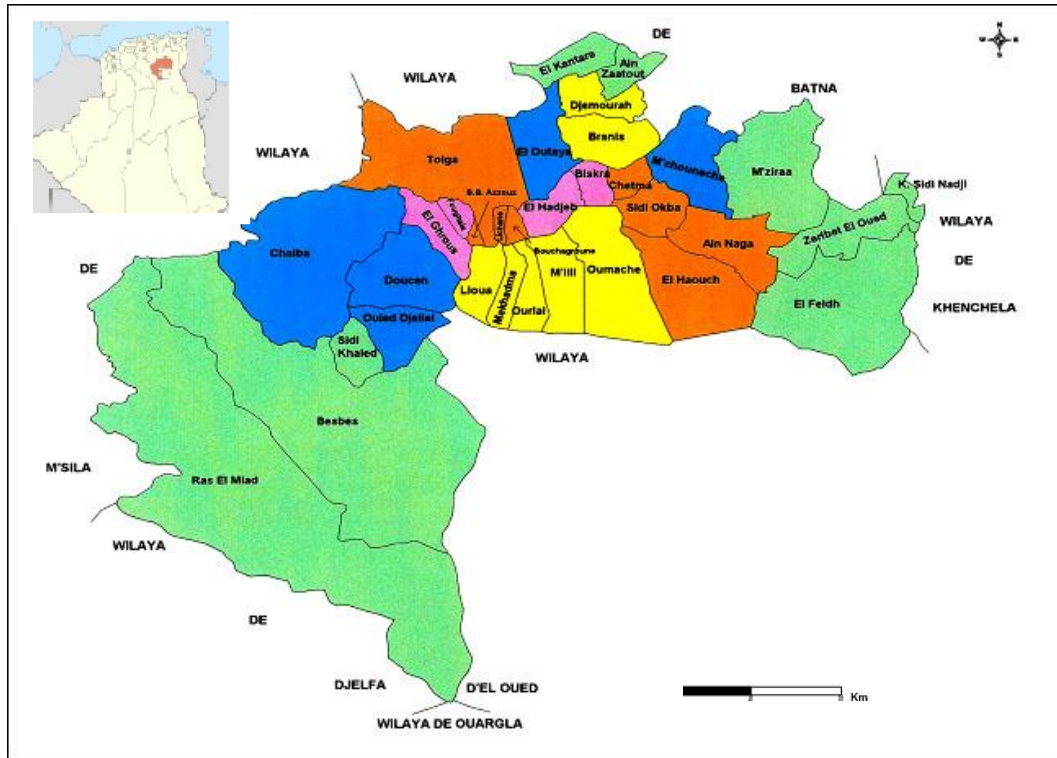


Figure (2) : Découpage administratif de la wilaya de Biskra (ANAT, 2003)

I-4 Aperçu géomorphologique

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques du Nord et les étendues plates et désertiques au Sud (figure3). Dans la partie Nord : plusieurs chaînons atlasiques, dont l'altitude maximale varie de 1500 m à 1700 m, la moyenne étant de l'ordre de 300 m. Vers le Sud, la plaine saharienne occupe approximativement les deux tiers de la dépression de chott Melrhir. Le relief de la région de Biskra est constitué de trois ensembles ; les montagnes, les plaines et les dépression (Chebbah,2007).

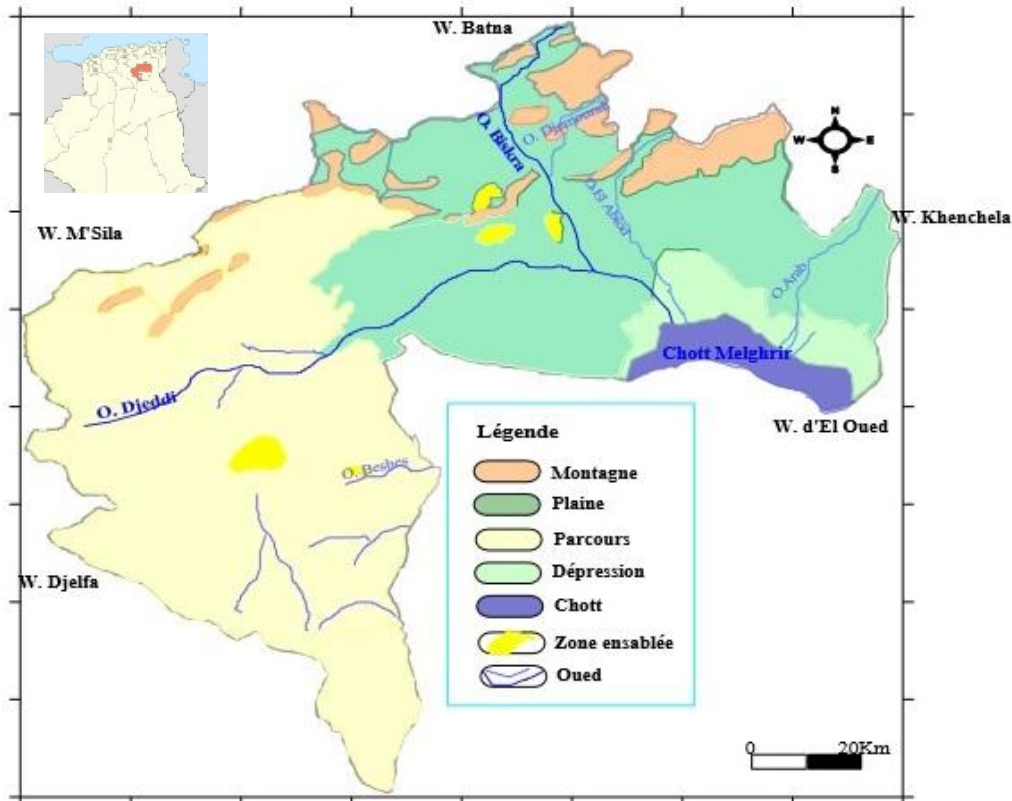


Figure (3) : Milieu physique de la wilaya de Biskra (I.F.E.S, 2005)

I-5 Climat

Le climat est le facteur déterminant sur le choix de l'exploitation humaine du milieu. Il détermine les pratiques agricoles, les techniques d'irrigation, le mode de vie et la mobilisation des moyens (Bouzidi, 2012).

Le climat de Biskra est caractérisé par une aridité due à l'influence combinée d'un manque de précipitations, d'un régime thermique très contrasté, d'un rayonnement solaire excessif et d'un pouvoir évaporant de l'air très élevé.

I-5-1 Précipitation

La pluviométrie de la région de Biskra extraite de la carte pluviométrique de l'Algérie montre une disparité spatiale du régime pluviométrique dans la région qui peut s'expliquer par l'influence du relief, nous distinguons (figure 4):

- Une zone au sud-est de Biskra (Bordj Chegga), les précipitations sont inférieures à 100mm

- Une zone de grande extension caractérisée par des précipitations comprises entre 100 à 200 mm enregistrées au niveau de la ville de Biskra, Branis, Sidi Okba, Ain-Naga, Tolga, Doucen, Ouled Djellal et Sidi Khaled.
- Au nord de Biskra est particulièrement au niveau des régions d'el Outaya et d'el kantara les précipitations varient 200 à 300 mm.
- Les précipitations allant de 300 à 500 mm, se localisent dans les zones montagneuses telles Dj Houdja, Dj Fouchi, Dj Metlili et El Azreg.

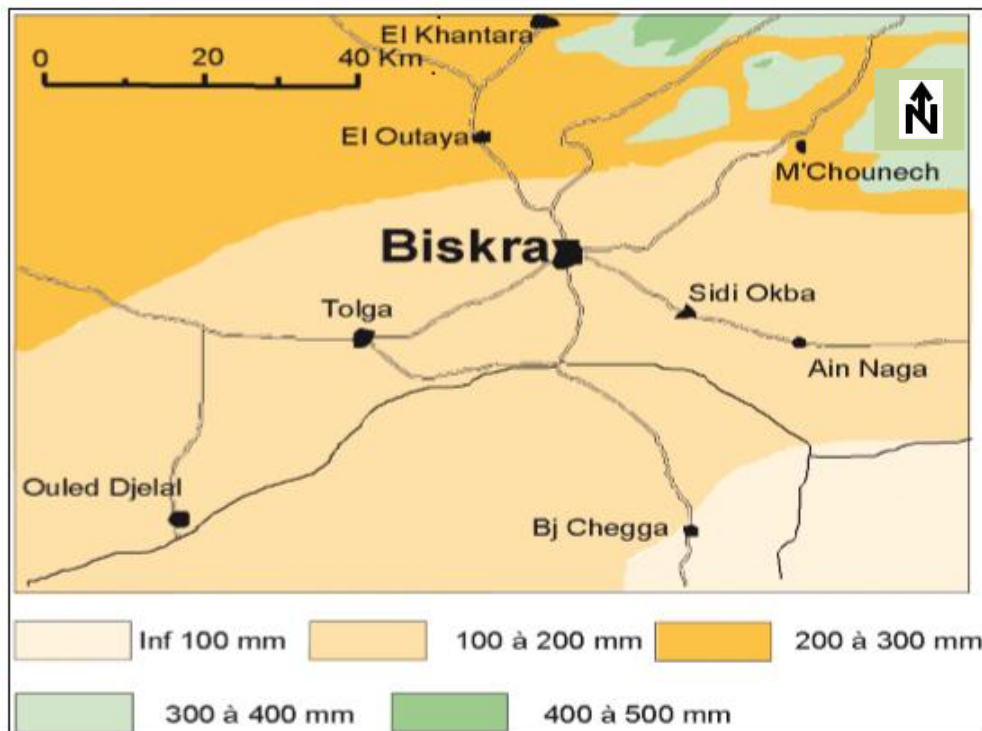


Figure (4) : Carte pluviométrique de la région de Biskra (Extrait de la carte pluviométrique d'Algérie 1/500000, 1971)

- Précipitations moyennes annuelles

Nous pouvons constater selon le tableau 1 que la pluviométrie moyenne annuelle est de 173 mm et ceci sur une période d'observation de 21ans (1992-2012).

Par ailleurs, la pluviométrie annuelle est très variable d'une année à l'autre. Cette variabilité inter- annuelle des précipitations montre une irrégularité assez prononcée, avec des périodes humides qui ont des valeurs supérieures à la moyenne, jusqu'à 342.69 mm (1994) et des périodes sèches dont les valeurs sont inférieures à la moyenne, jusqu'à 47 mm (2002).

Tableau(1) :Précipitations moyennes annuelles (1992-2012)

(station météorologique de Biskra)

Années	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
P (mm)	192.52	297.19	342.69	286.24	292.64	192.05	94.8	193

Années	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
P (mm)	64.5	88.8	47	156.9	294.1	58.8	173	79.3

Années	2008	2009	2010	2011	2012	P Moy (mm)
P (mm)	118.4	169.8	185.5	252.3	54.5	173

- Précipitations moyennes mensuelles

Le tableau 2 présente, les précipitations moyennes mensuelles enregistrées au niveau de la station de Biskra. Nous pouvons ainsi constater que les valeurs maximales sont marquées essentiellement au mois de septembre avec un maximum de 30.94 mm, et novembre (20.5 mm). Le mois le plus sec est bien celui d'août, avec une précipitation moyenne de 2.08 mm.

Tableau(2): précipitations moyennes mensuelles (1992-2012) (station météorologique de Biskra)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	P moy
P (mm)	19.6	8.5	21.7	15.6	10.2	3.83	8.17	2.08	30.9	14.8	20.5	17.2	173

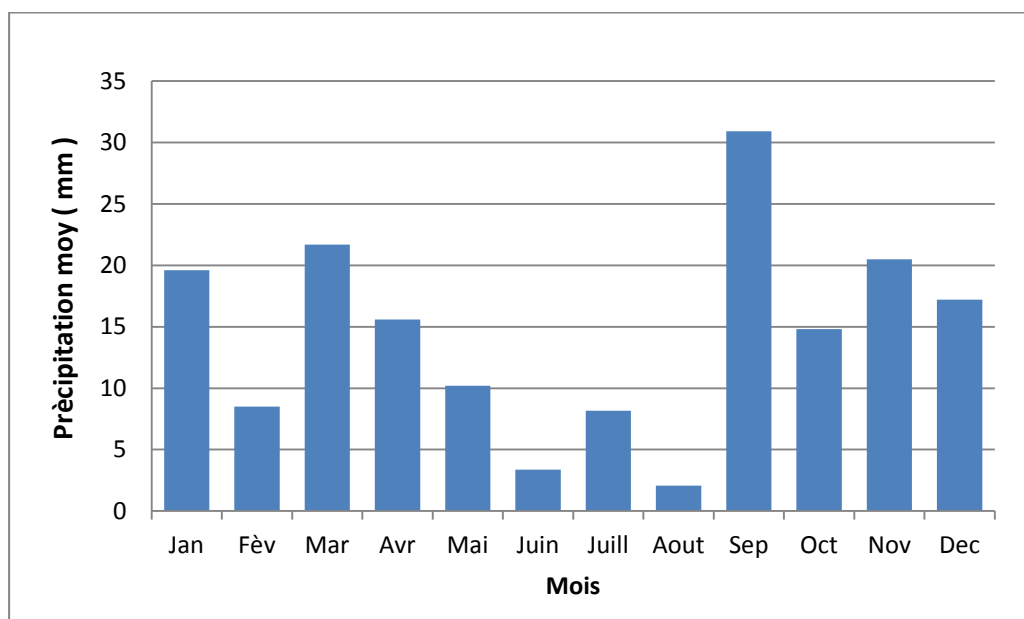


Figure (5) : Précipitations moyennes mensuelles (1992 à 2012)

I -5 -2 Température

La figure 6 résume les valeurs des moyennes mensuelles des températures enregistrées par la station météorologiques de Biskra et ceci pour une période allant de 2001 à 2011. D'après la série de valeurs sur 10 années d'observations, on constate que la température moyenne maximale est de l'ordre de 33.8 C° cela se produit au cours des mois de Juillet et Aout.

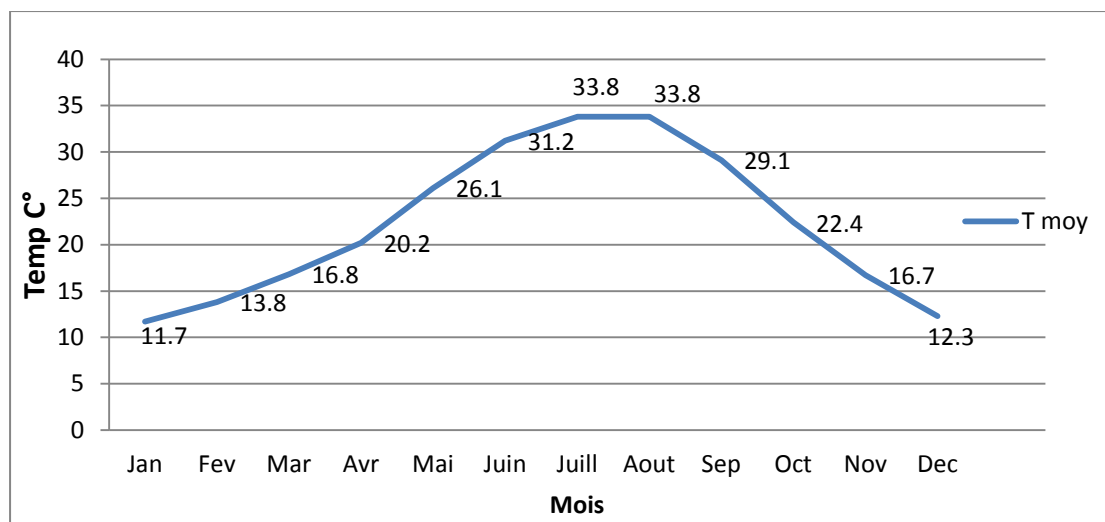


Figure (6): Température moyenne mensuelle (2001 à 2011)

I-5-3 Evaporation

L'évaporation est un paramètre étroitement lié à la température. Biskra étant située en zones à forte température, les quantités d'eau évaporées sont aussi relativement importantes (ANAT, 1996 -2011).

Evaporation moyenne mensuelle = 300 mm

Evaporation moyenne maximale = 323 mm

Evaporation moyenne minimale = 215 mm.

Tableau(3) : Evaporation moyenne en mm durant la période 1996-2011

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
ETP Moy (mm)	110.8	140.4	195.5	257.69	392.1	370.6	420.8	385.9	290.2	198.22	144.2	159.5	250.25

I-5-4 Humidité

C'est un élément important du cycle hydrologie contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente un degré de saturation de l'air en vapeur d'eau. Ce paramètre est relativement faible dans la zone d'étude, la moyenne est 41.58 %.

Cette faible valeur s'explique par l'aridité du climat et la concentration des masses d'air chaud du Sahara. Les valeurs moyennes mensuelles sont insérées dans le tableau (4), ci-dessous.

Tableau(4): Humidité relative mensuelle moyenne durant la période (2003-2014) (O.N.M, 2015).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Moy
Hum (%)	55.54	48.95	42.85	39.04	33.05	28.03	
Mois	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Hum (%)	25.18	28.45	39.60	46.20	53.11	59.04	

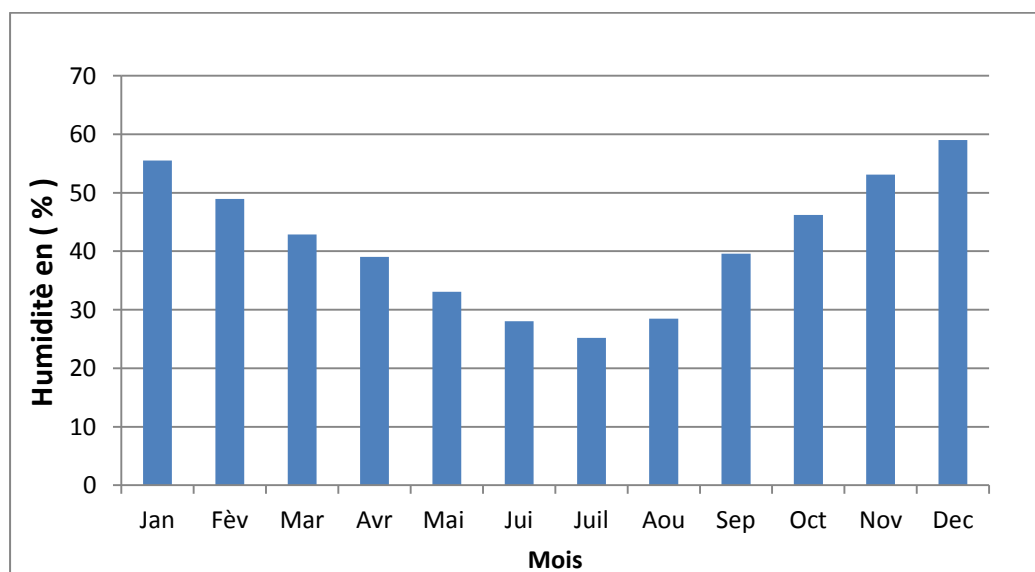


Figure (7) : Histogramme de l'humidité moyenne mensuelle station de Biskra (2003-2014)

I -5-5 Vent

Les vents chauds du sirocco, souvent chargés de sable, sont très fréquents pendant la saison chaude. La présence de la chaîne montagneuse de l'Atlas saharien diminue sensiblement l'effet des vents humides du nord et d'ouest arrivant de l'océan atlantique. Les vitesses sont presque homogènes pendant plusieurs mois de l'année (tableau 5).

Tableau(5): Vitesses moyennes mensuelles de vents (m/s) (1995-2014)
(station météorologique de Biskra)

Période mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse (m/s) 1995-2014	3.35	3.46	4.56	5.5	4.611	4.12	3.35	3.5	3.55	2.8	3.5	3.4

I -5-6 Ensoleillement

L'histogramme de temps d'ensoleillement fait remarquer une croissance presque linéaire du nombre d'heures de soleil de Janvier à Juillet (figure8).

- Le nombre d'heures moyens d'ensoleillement par jour est de 9.28 heures.
 - La valeur maximale est enregistrée au cours du mois de Juillet (12 h/jour).
 - la valeur minimale est enregistrée au du mois de Janvier (7 h/jour)
- (ANAT,2003).

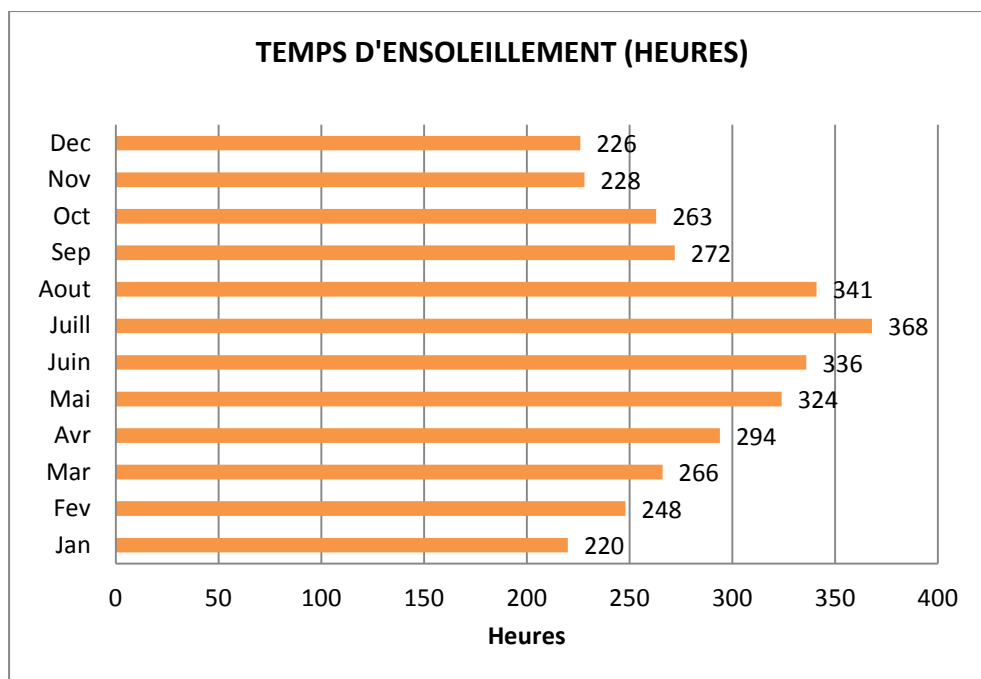


Figure (8) : Temps d'ensoleillement (ANAT, 2003).

I-6 Sol

Les sols dans la région de Biskra sont de 3 types (Khachai,2001, ANAT,2003) :

- La classe des sols peu évolués dont le profil contient plus de trace de matières organiques dans les vingt premiers centimètres supérieurs. Les sols peu évolués d'apport alluvial sont fréquents en bordure de certains grand oueds, tels Oued Salsou et Oued Naam mais les sols peu évolués d'apport colluvial sont observés aux abords de la chaîne atlasique vers Tolga jusqu'à l'Est de Chaiba.
- La classe des sols calcimagnésiques dont le profil est caractérisée par l'influence dominante de carbonate de calcium, de calcium de magnésium ou de sulfate de calcium. Ces sols sont les plus répandus dans la wilaya et effectivement les carbonates et les sulfates constituent un trait commun aux sols du domaine aride, auquel appartient la région de Biskra.
- La dernière classe des sols et celle qui correspond aux sols halomorphes. Les sols de cette classe pédologique sont dominés par l'évolution et ils se distinguent par leur forte salinité. Ils se rencontrent dans les dépressions à proximité du Chott Melghir, au Nord des palmeraies d'Oumache dans la zone de Selga et dans la plaine d'El-Outaya.

I-7 Population

La population de la wilaya a été estimée en 1966 à 135901 habitants. En 10 ans, elle est passée à 206 856 habitants ce qui correspond à un taux de croissance de 3.8 %.

En 2006, le nombre d'habitant est estimé à 758 401 (**ANAT, 2003**); avec une densité moyenne de 35 Hab/ km^2 .

Cette densité varie d'une commune à une autre. A titre d'exemple, dans la commune de Biskra chef-lieu de la wilaya, elle est de 1695 Hab/ km^2 et dans la région de Besebes et Ras El Miaad, elle est de 03 et 04 Hab/ km^2 .

Selon l'**ANDI.(2015)**, la population totale de la wilaya est estimée à 775 797 habitants en 2010, soit une densité moyenne de 36 habitants par km^2 . La population active est estimée à 277 976 hab. dont presque la moitié occupe le secteur agricole (tableau 6) ce qui illustre la vocation agricole de la région de Biskra.

Tableau (6): Répartition de la population occupée (ANDI, 2015)

Secteur	Nombre D'emplois	Taux %
Agriculture	113 120	40.69
Bâtiments et Travaux publics	31 544	11.34
Industrie	11 573	4.16
Administrative	37.169	13.37
Service	51 730	18.6
Autres service	32 840	11.81

I-8 Potentialités économique

La région de Biskra constitue un carrefour d'échanges économiques, culture et social grâce à sa position géographique et ses richesses naturelles.

- Secteur tourisme

La wilaya de Biskra est une région qui regorge de ressources naturelles brutes et de nombreuses potentialités tant matérielles qu'humaines qui transparaissent à travers ses nombreuses zones d'expansion touristique, ses paysages pittoresques, ses sites archéologiques, ses chotts, ses barrages, ses sources thermales et hammams aux eaux minérales curatives.

Tous ces atouts représentent des sérieuses assises ayant permis le développement du secteur du tourisme qui offre une série de prestations de qualité supérieure et de haute gamme, et furent également à l'origine de l'ouverture de ce secteur à l'investissement et à lui accorder une dimension universelle tout en préservant l'héritage naturel et civilisationnel.

- Secteur de l'industrie

La wilaya connaît un tissu industriel varié, il se compose de sept établissements dans le secteur public et soixante établissements dans le secteur privé ainsi que 26 mines exploitées (**ANDI, 2013**).

Ce secteur touche une vaste gamme de produits comme la fabrication des matériaux de construction, produits alimentaires, farine, broderie, tissage, artisanat, bois, papier et imprimerie.

- Secteur de l'agriculture

Notons que la population totale de la wilaya est estimée à 775797 hab. dont la population occupée est de 277976 hab. et celle qui occupe le secteur agricole est de 113120 hab. soit 40.64% de la population totale occupée (**ANDI, 2013**). L'activité économique de la wilaya est surtout axée sur l'agriculture et la région de Biskra est essentiellement à vocation agricole.

Au cours de ces dernières décennies, l'état a mis en place des politiques agricoles incitatives. l'encouragement des forages profonds et la loi 1983 instaurant l'accession à la propriété foncière agricole (**A.P.F.A**), ont permis aux Ziban de connaître une

mutation spectaculaire qui se caractérise par une activité agricole diversifiée. Grâce à l'exploitation des nappes profondes un net recul de parcours est constaté devant l'extension des cultures.

Avec l'avènement du développement agricole initié depuis les réformes agricoles, le verger phoenicicole a connu une progression significative. En l'an 2000, le nombre de palmier était de 2460170 palmiers ; ce potentiel a connu une progression d'environ d'un million et demi en l'espace de 7 années pour atteindre en 2007 un nombre de 4127800 palmiers (**DSA, 2008**).

Le système de production maraîchère se caractérise par le mode des cultures sous serres et en plein champ. Les cultures maraîchères plein champ sont pratiquées depuis très longtemps dans la région des Ziban mais la plasticulture est relativement récente.

Depuis son introduction en 1984 dans la zone d'el Ghrous, la plasticulture ne cesse de connaître un développement considérable. En termes de superficie, les cultures sous serres ont passées de 500 hectares au début des années quatre-vingt-dix à 2321 hectares en 2007 (**DSA,2008**). Les cultures dominantes sous sont la tomate, le piment et les petits pois qui se pratiquent essentiellement au Zab occidental et notamment dans la commune d'el Ghrous laquelle est pionnière dans tout le pays pour ce type des cultures. Par ailleurs ; les cultures dominantes en plein champ sont le melon, les pastèques, les carottes et la fève vertes qui se pratiquent principalement au Zab oriental tel la région de M'Ziraa.

Selon Bou Ammar (2010), la surface agricole utile de la wilaya est estimée à 179.000 ha et les superficies irriguées représentent environ 108.400 ha soit 60% de la surface agricole utile. Ceci met évidence l'importance de la mobilisation des ressources hydriques pour l'agriculture dans la wilaya.

I -9 Les ressources en eau

La situation géographique de Biskra entre le Tell et le Sahara offre à la région, sur le plan hydrique, l'avantage des eaux superficielles du nord et des eaux souterraines du Sahara septentrional. Cependant, les réserves souterraines représentent le potentiel hydrique le plus important de la région (96.62%) (sedrati ,2011).

- Les eaux de surface :

Les eaux de surface sont omniprésentes dans la région de Biskra et sont alimentées essentiellement par les principaux oueds, tels Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued El Arab, Oued El Abiod (tableau 7). Par manque d'infrastructures destinées à la mobilisation de ces ressources (barrages, retenues collinaires,.....), la majorité de ces oueds se jettent lors des crues dans chott Mel Ghir. Dans certains oueds des prises d'eau par dérivation et ouvrages traditionnels s'effectue par les fellahs pendant la fonte des neiges et les crues.

Tableau(7) : Longueurs et débits des principaux Oueds (Benhamida et Fedal,2008)

Oueds	Longueur (km)	Apport Interannuel (m^3/an)
Oued Djeddi	380	32.70
Oued El Arab	22.5	13.21
Oued El Abiod	80	11.20
Oued Biskra	57	6.05

Par ailleurs, deux grands barrages sont édifiés à l'exutoire d'oued El Abiod et oued El Hai, il s'agit du barrage foug El Gherza et Fontaine des Gazelles. Ces barrages en exploitation sont totalement mobilisés pour l'agriculture.

- Barrage Foug El Gherza : il est situé à 18 km à l'Est de la ville de Biskra et il conçu pour irriguer des palmiers de Sidi Okba, Seriana et Thouda. Il a été réalisé entre 1947 et 1950 avec une capacité est réduite jusqu'à près de 17 mm^3 en 2003.

- Barrage Fontaine des Gazelles : C'est un barrage en remblai dont la digue est construite en matériaux locaux avec un noyau d'argile. Il se situe à l'aval d'oued El Hai et il est alimenté par une surface de 1600km^2 . Le volume totale de la retenue est de 55 km^3 . Cet ouvrage permettra l'irrigation du périmètre d'El Outaya dont la superficie est de 1137 Ha (Touati, 2010).

- Les eaux souterraines :

La ressource en eau souterraine dans la région est contenue dans les deux grands systèmes aquifères qui sont : le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI) tous deux surmontés par la nappe phréatique qui est présentée dans l'ensemble des oasis (figure 9) (UNESCO, 1972).

Dans la région de Biskra, il faut signaler que 90,34% du volume d'eau souterraine mobilisé ($686,5\text{ Hm}^3/\text{an}$) est destinés à l'irrigation (ABHS, 2005).

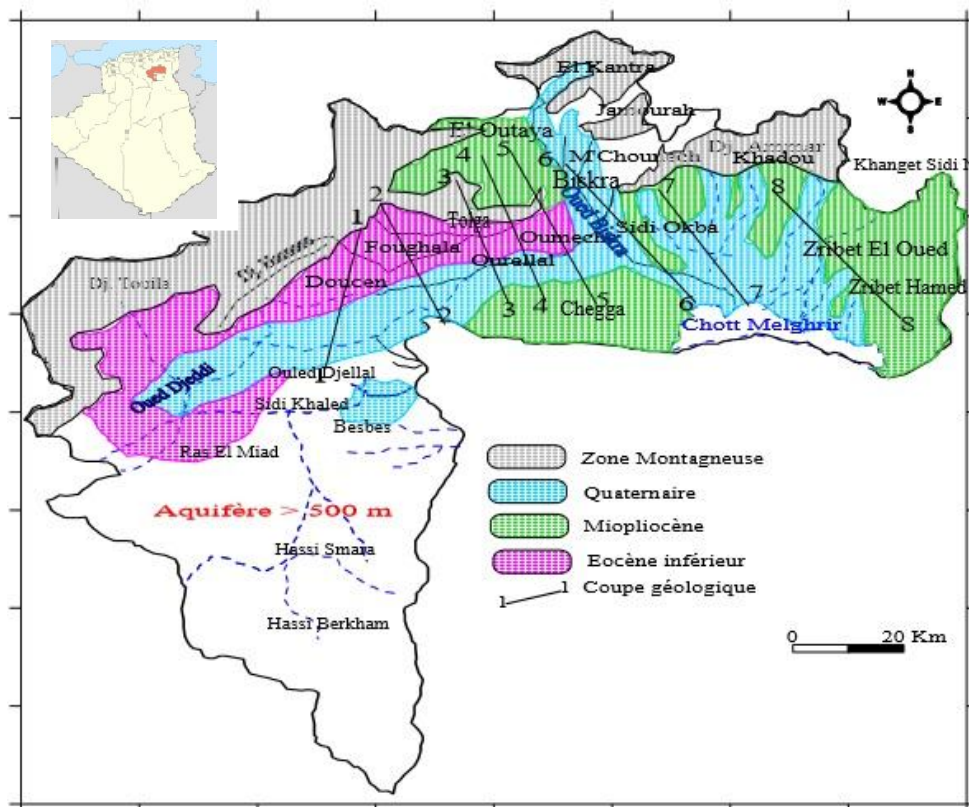


Figure (9) : Les aquifères inventoriés au niveau de la région de Biskra (ANRH, 2008)

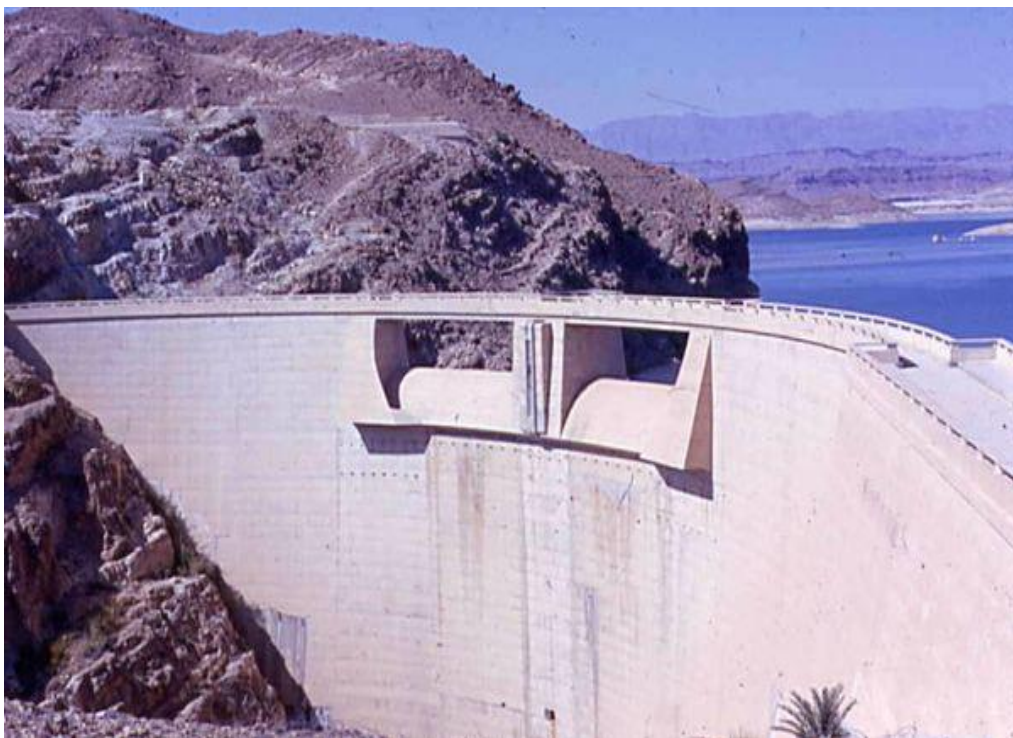


Figure (10) : Barrage Foum El Gherza (ANBT, 2004)



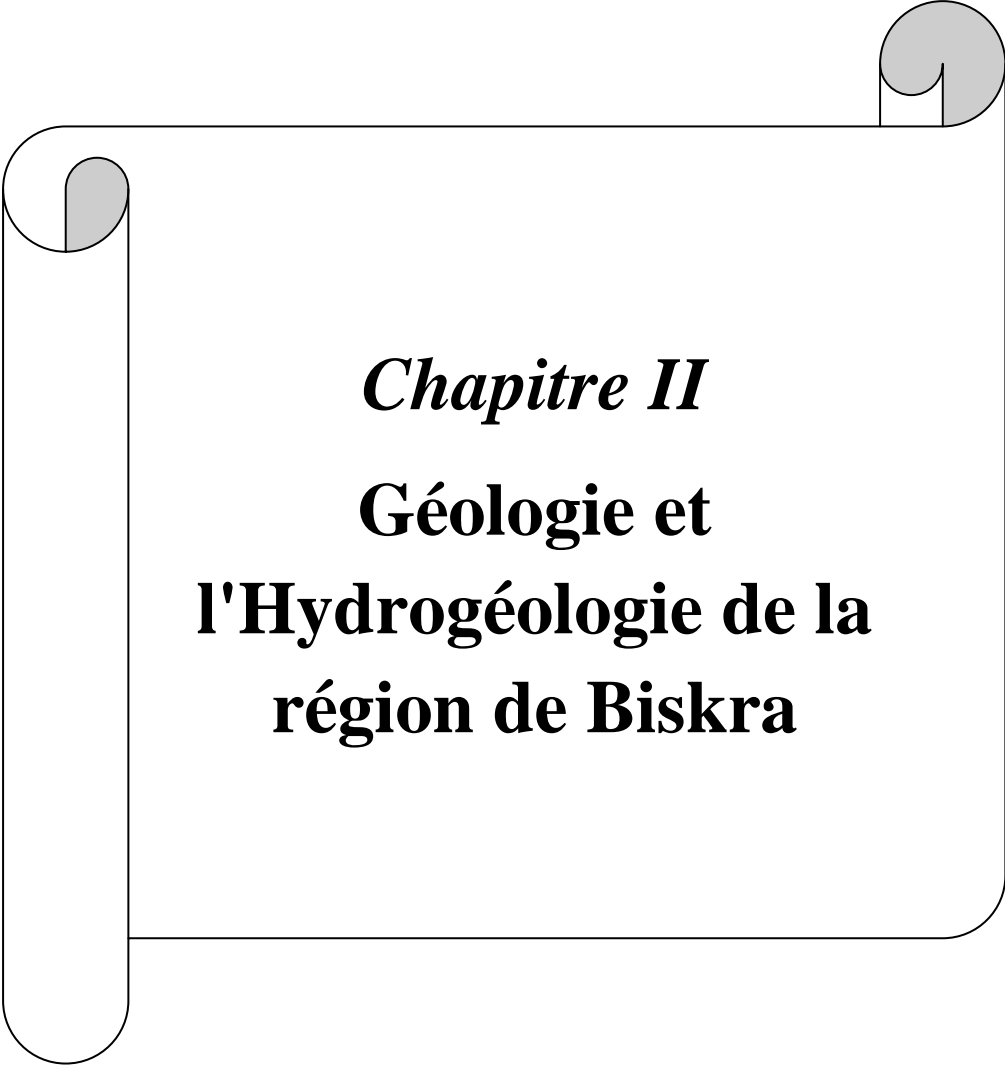
Figure (11) : Barrage Fontaine des Gazelles (ANBT,2004)

I -10 Conclusion

Le climat de Biskra est caractérisé par une aridité marquée par un manque de précipitations et un rayonnement solaire excessif et un pouvoir évaporant très élevé. Toute fois, la région constitue un carrefour d'échanges économique, culturel et social grâce à sa position géographique et ses richesses naturelles.

Au cours de ces dernières décennies, l'Etat a mis en place des politiques agricoles incitatives qui a permis aux Ziban de connaître une mutation spectaculaire qui se caractérise par une activité agricole diversifiée.

La situation géographique de Biskra entre le Tell et le Sahara offre à la région, sur le plan hydrique, l'avantage des eaux superficielles du Nord et des eaux souterraines du Sahara septentrional. Cependant, les réserves souterraines représentent le potentiel hydrique le plus important de la région.



Chapitre II
**Géologie et
l'Hydrogéologie de la
région de Biskra**

II -1 Introduction

La région de Biskra présente des ressources en eau souterraines importantes, représentées par quatre unités aquifères. Il s'agit de la nappe phréatique du quaternaire, la nappe des sables du mio-pliocène, la nappe des calcaires de l'éocène inférieur et du sénonien et la nappe du continental intercalaire. Nous consacrons ce chapitre à la présentation de ces ressources et nous donnons un aperçu sur l'historique des prélèvements et sur la salinité de ces nappes aquifères.

Nous présentons également une synthèse sur la région d'étude permettant d'identifier la région en termes de dynamisme agricole et nappe d'eau exploitée.

II -2 Cadre Géographique

La région des Ziban s'étend sur les piémonts de l'Atlas saharien qui se partage en trois massifs montagneux du Zab, des Aurès et des Nemenchas, juste à la flexure de contact entre le bouclier saharien rigide et tabulaire et les plissements très marqués de l'Atlas. La wilaya de Biskra se situe au Nord-est du Sahara septentrional, elle s'étend sur une superficie de 21671Km^2 .

II -3 Géologie

La région de Biskra représente un pays de transition structurale et sédimentaire, 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.

Cet accident s'est développé lors de la phase paroxysmale pliocène et post-pliocène de la surrection de l'Aurès. Cette phase orogénique est responsable de toutes les déformations majeures de l'ensemble de continental Néogène (Mio-pliocène). La région de Biskra se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Quaternaire au sommet jusqu'au Barrémien à la base.

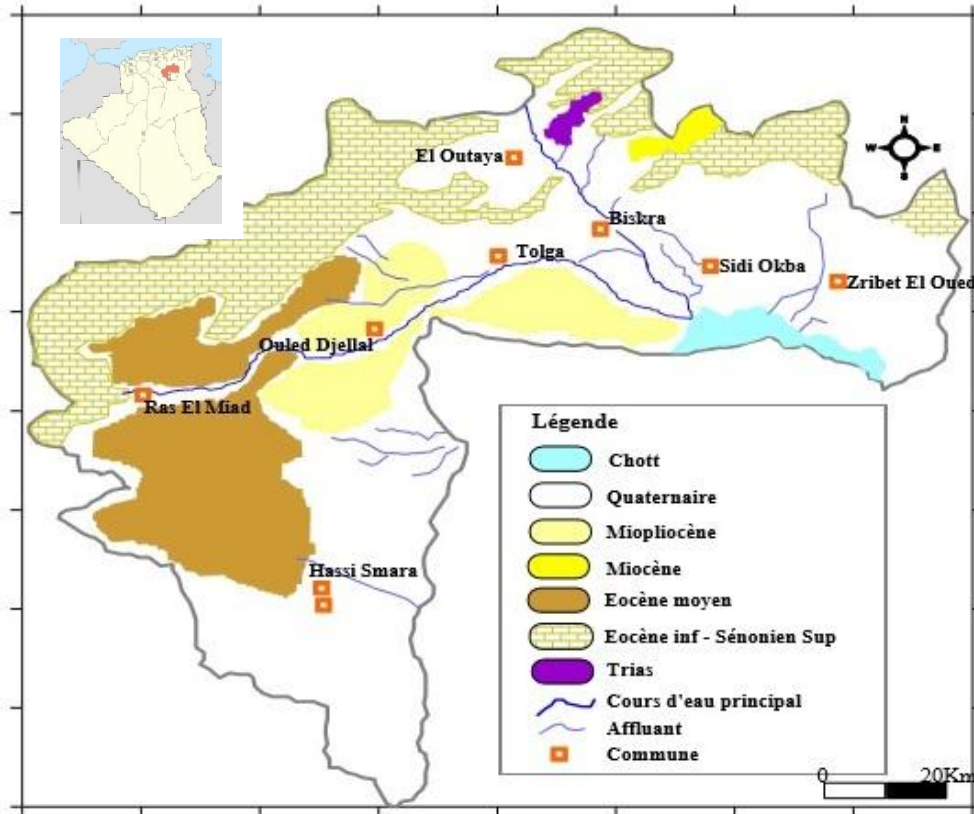


Figure (12) : Carte géologique de wilaya de Biskra (ANRH, 2008)

II -3-1 Quaternaire

Il s'étend largement dans la plaine en couvrant les dépressions, les vallées, il est caractérisé par une érosion des dépôts pliocènes ainsi que par un alluvionnement important (sable et argile) dans les grandes plaines.

II 3-2 Miocène supérieur (Pontien)

Il affleure seulement dans la dépression (combe) de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal.

Il est représenté par des argiles et marnes multicolores souvent très sableuses. C'est un dépôt continental détritique : argiles, sables, graviers et marnes.

II -3-3 Pliocène

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

II -3-4 Eocène moyen (Lutétien): C'est un dépôt exclusivement lagunaire représenté par des argiles, du gypse en couches épaisses, des anhydrites et des calcaires dolomitiques. Les couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région d'Ouled Djellal.

II -3-5 Eocène inférieur

Sa puissance varie entre 150 et 200 mètres. Ce sont des calcaires blancs riches en silex noirs; ils affleurent au Nord de Tolga.

II -3-6 Sénonien 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 Rhezal). Ce sont des calcaires maestrichtiens reposant sur les marnes noirâtres du campanien (à Dalaat el hamra).

II -3-7 Sénonien inférieur

Il affleure sur le flanc Nord de Djebel Bou Rhezal, sa puissance est de 300 à 400 m. Ce sont des calcaires gris ou blancs alternant régulièrement avec des marnes grisâtres, parfois gypseuses.

II -3-8 Turonien

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

II -3-9 Cénomaniens

Cet étage affleure aux deux extrémités de la région de Biskra, surtout au niveau de la combe du Djebel Bou Rhezal et au Nord est du Borj Chaiba, sa puissance est de 500 m. Ce sont des calcaires marneux avec intercalations marneuses et gypseuses.

II -3-10 Albien

Il affleure dans la combe de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal et au Nord de Chaiba. Il est constitué en majeure partie par des grès rouges ou gris avec intercalation d'argile rouge, sa puissance est d'environ 250 m.

II -3-11 Aptien

Cette couche est visible seulement vers Chaiba, elle représente un faciès lagunaire avec intercalation marine, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, des anhydrites, des calcaires dolomitiques et de dolomies. L'épaisseur de ce dépôt est d'environ 60 m.

II -3-12 Barrémien

Cette couche affleure uniquement vers Chaiba. Elle est constituée par les grès rouges avec quelques intercalations argileuses.

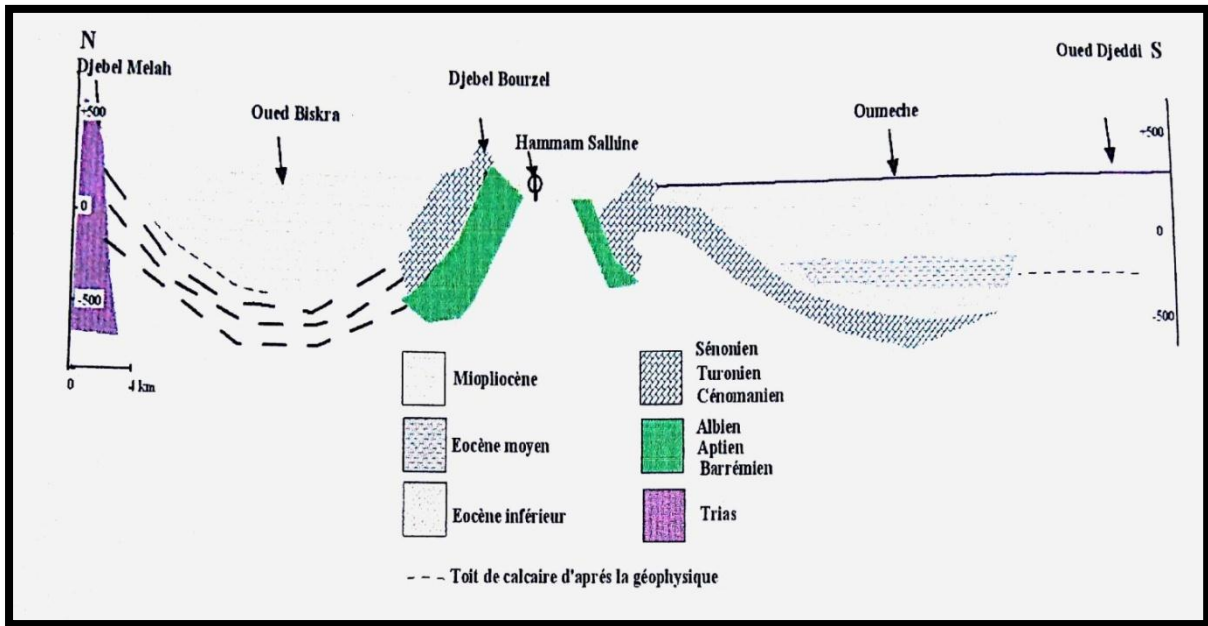


Figure (13) : Coupe hydrogéologique schématique montrant la succession des niveaux aquifères (Extrait de la carte hydrogéologique de BISKRA 1/200.000) (ANRH 2003)

Tableau(8) : Unités géologiques et hydrogéologiques dans la région de Biskra.

Unités stratigraphiques	Lithologie	Unités Hydrogéologiques	
Quaternaire	Sables, Argiles	Nappe phréatique	
Mio-pliocène	Alternance d'argiles et sables	Nappe des sables	Complexe Terminal
Eocène moyen	Argiles gypseuses	Semi perméable	
Eocène inférieur	Calcaires	Nappe des calcaires	
Sénonien supérieur Maestrichtien	Calcaires		
Sénonien inférieur	Argiles, gypse, sels	Imperméable	
Turonien	Calcaires dolomitique et dolomie	Nappe du turonien	
Cénomanien	Argiles, marnes, Mamo-calcaire et gypse	Imperméable	
Albien	Calcaire Marne, grès	Nappe du Continental Intercalaire	
Aptien	Grès , dolomies		
Barrémien	Grès		

II -4 Hydrogéologie

II -4-1 Réseau hydrographique :

L'ensemble des Oueds (fig.14) 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.

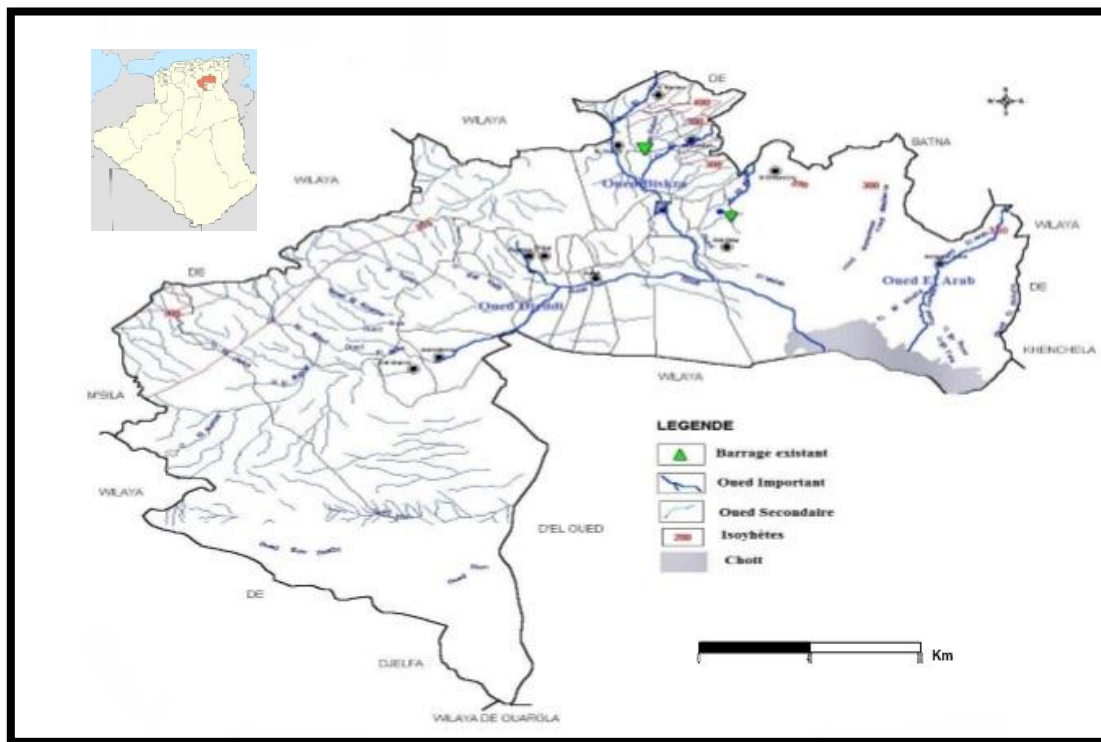


Figure (14) :Réseau hydrographique (FARHANI, 2007).

La wilaya de Biskra présente des ressources en eau souterraines considérables, représentées par quatre unités aquifères :

- La nappe phréatique du quaternaire.
- La nappe des sables du mio-pliocène (CT).

- La nappe des calcaires de l'écène inférieur et du sénonien (CT).
- La nappe des grés du continental intercalaire (CI).

II -4-2 Nappe phréatique

Il s'agit de nappes superficielles généralement exploitées par puits. Ces nappes sont localisées dans les plaines et les lits d'oueds. Ce sont des nappes peu profondes. Elles sont constituées généralement par les formations quaternaires. Elles sont alimentées, directement par les précipitations, les eaux de crues, parfois par drainante à partir des aquifères situés plus en profondeur et artésiens, les eaux de drainage, les fuites occasionnées par les ouvrages de canalisation et les forages et enfin par le retour des eaux à partir de l'irrigation. Le système aquifère d'inféro-flux le plus important de la région est, sans conteste, celui de la nappe en gouttière de l'oued Djeddi ainsi que celui de la nappe phréatique de la plaine de Doucen. Dans la région d'el Outaya, la nappe d'inféroflux de l'oued Biskra est généralement, en relation directe avec la nappe mio-pliocène. Ces nappes en gouttière épousant les lits d'oued, se caractérisent par de faibles épaisseurs. L'extension en longueur peut être assez importante, alors que la largeur est limitée entre les bergs. Ces nappes ont de bonnes perméabilités et présentent de fortes fluctuations.

La géométrie de cette nappe se distingue par sa discontinuité dans l'espace. Elle repose généralement sur la formation imperméables du pliocène (formation argileuses) ou en discordance sur l'écène moyen lagunaire, quand le Mio-pliocène est absent, comme c'est le cas au niveau d'Ouled Djalal et Sidi Khaled (**Chabour, 2006**).

II -4 -2 -1 Les paramètres hydrodynamiques de la nappe phréatique :

* 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 (m^2/s);

Q : débit pompé (constant en (m^3/s)).

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

II -4-3 Nappe des sables du Mio-pliocène

La nappe des sables occupe, généralement, les dépressions formant les plaines bordées par les massifs de Dj. Guedare et Dj. Bourhezal ou nord-ouest et Dj. Ammar Khadou au Nord-est. Cet aquifère est constitué par

une alternance d'argiles, des sables, de graviers et conglomérats avec des passées gypseux. Il repose en discordance sur les assises imperméables du miocène marin et de l'éocène moyen. Il est recouvert de dépôt alluvionnaire peu épais, de croute gypseuse et de sable. Le moi-pliocène affleure au nord-est et au sud tous le long de l'Oued Djeddi ainsi qu'au sud-ouest du Doucen vers Ouled Djellal. Notons qu'à proximité des bordures des monts des Ziban (figure 15), les argiles sableuses sont en contact avec le calcaire de l'éocène inférieur. Ce qui semble indiquer des échange entre les aquifères de sables et de calcaires fissurés, particulièrement lorsque l'épaisseur des argiles est faible.

Messaoudi et al.(1995), admettent que la nappe des sables est alimentée principalement à partir des bordures des monts de l'Atlas saharien. La recharge de la nappe serait également à la faveur des pluies exceptionnelles dans les zones d'affleurement.

A l'Est de la wilaya de Biskra, cette nappe se subdivise en deux aquifères séparé par une épaisse couche d'argile sableuse, l'un, profond désigné sous le non du Pontien et l'autre, moyennement profond qui est la nappe du Mio-pliocène (figure16).

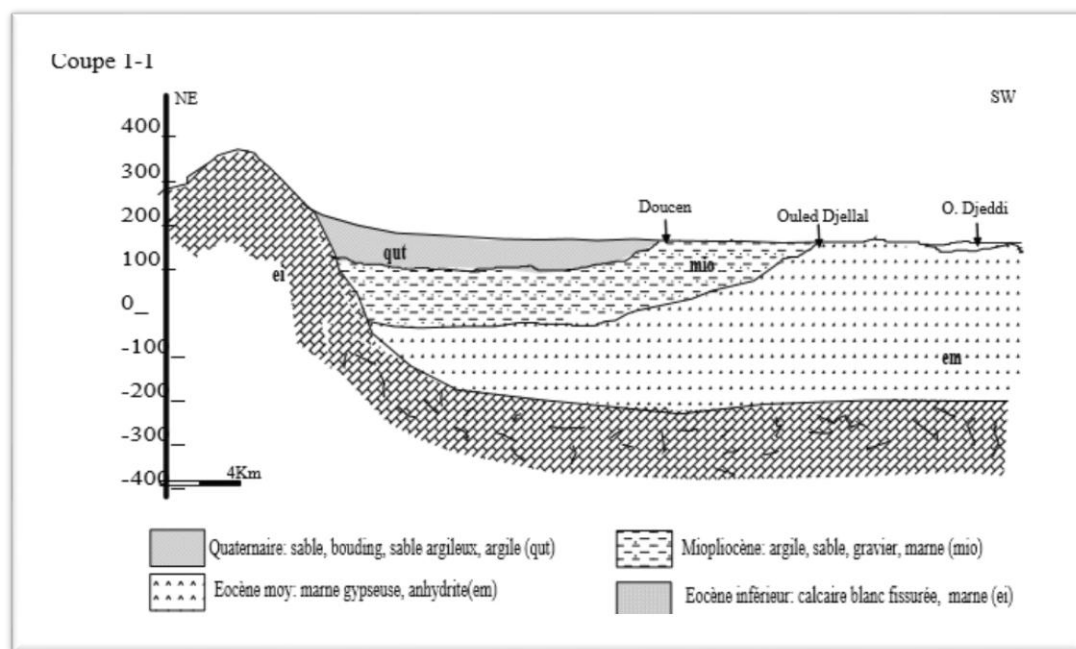


Figure (15) : Coupe hydrogéologique schématique dans la région de Biskra

(Direction d'Hydraulique de Biskra, 1990) (ANRH) (2008)

II -4-3-1 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. Ceci explique les variations latérales de la Transmissivité, Ainsi au niveau de cette nappe la Transmissivité T , varie entre $6 \text{ à } 8.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, le coefficient d'emmagasinement varie de 0.5 à 0.1 tandis. que la porosité moyenne est estimer à 30%.

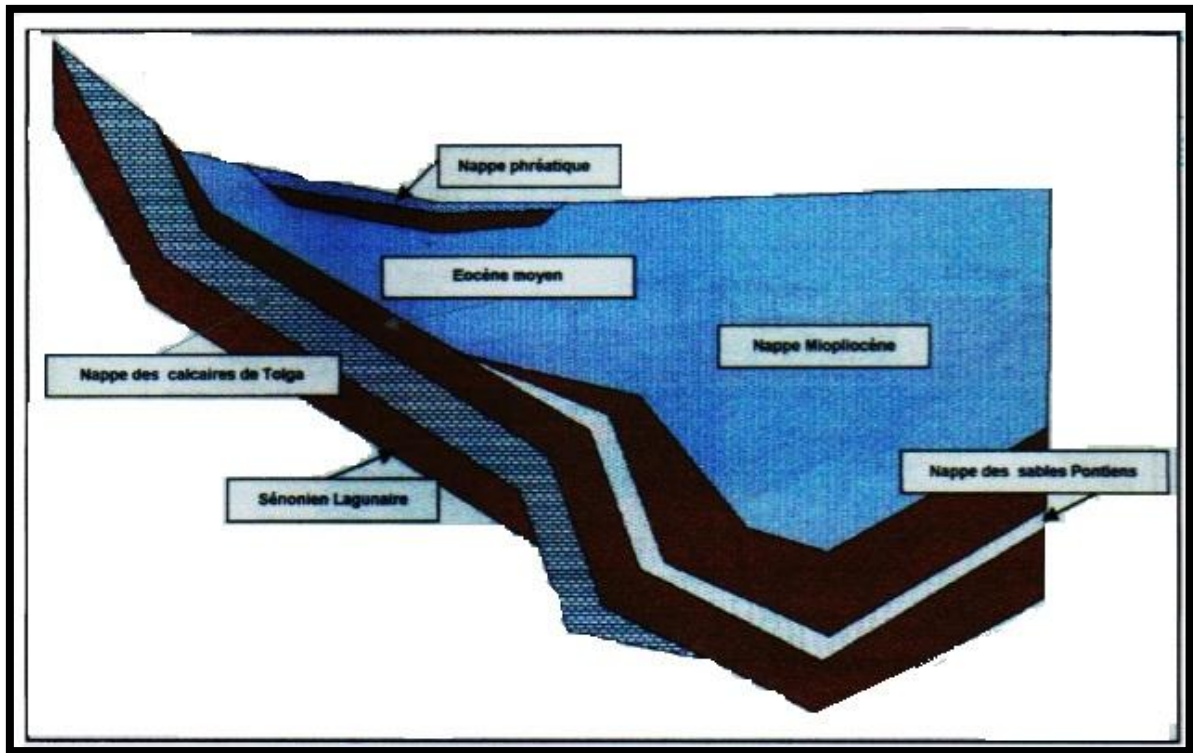


Figure (16) : Coupe hydrogéologique schématique dans la région de Biskra (OSS, 2004)

II -4-4 Nappe des calcaires de l'Eocène inférieur

La nappe des calcaires est connue depuis longtemps par ses exutoires naturels et est plus exploitée dans les palmeraies des Ziban. Cette nappe, dite également " nappe de Tolga " est constituée essentiellement de calcaire blanc fissuré datant de l'Eocène inférieur et des calcaires marneux dolomitiques appartenant au Sénonien supérieur. Le toit de la nappe est formé par des formations argilo-sableuses du Mio-pliocène au Nord et des marnes à gypses de l'Eocène moyen au Sud (figure 17). Le mur de la nappe est composé par des niveaux carbonatés correspondant au Sénonien inférieur. L'alimentation de la nappe s'effectue essentiellement par deux zones d'affleurement l'une au Nord de Tolga où l'Eocène inférieur affleure sur une étendue de 70 km et l'autre à l'Ouest de Doucen et Oued Djellal.

Au Nord et au Nord Est de la wilaya, cette nappe est représentée par un aquifère très important qui est le Maestrichtien et le Campanien d'une profondeur comprise entre 200 et 900 m et d'une bonne qualité chimique d'eau.

A l'Ouest des Ziban, l'aquifère le plus important du Complexe Terminal est, sans aucun doute, la nappe des calcaires. Le Zab occidental dans la région de Biskra se caractérisait par l'importance de ses palmeraies générées essentiellement grâce à la présence de nappes souterraines très productives et peu profondes dont l'exploitation remonte depuis plus d'un siècle.

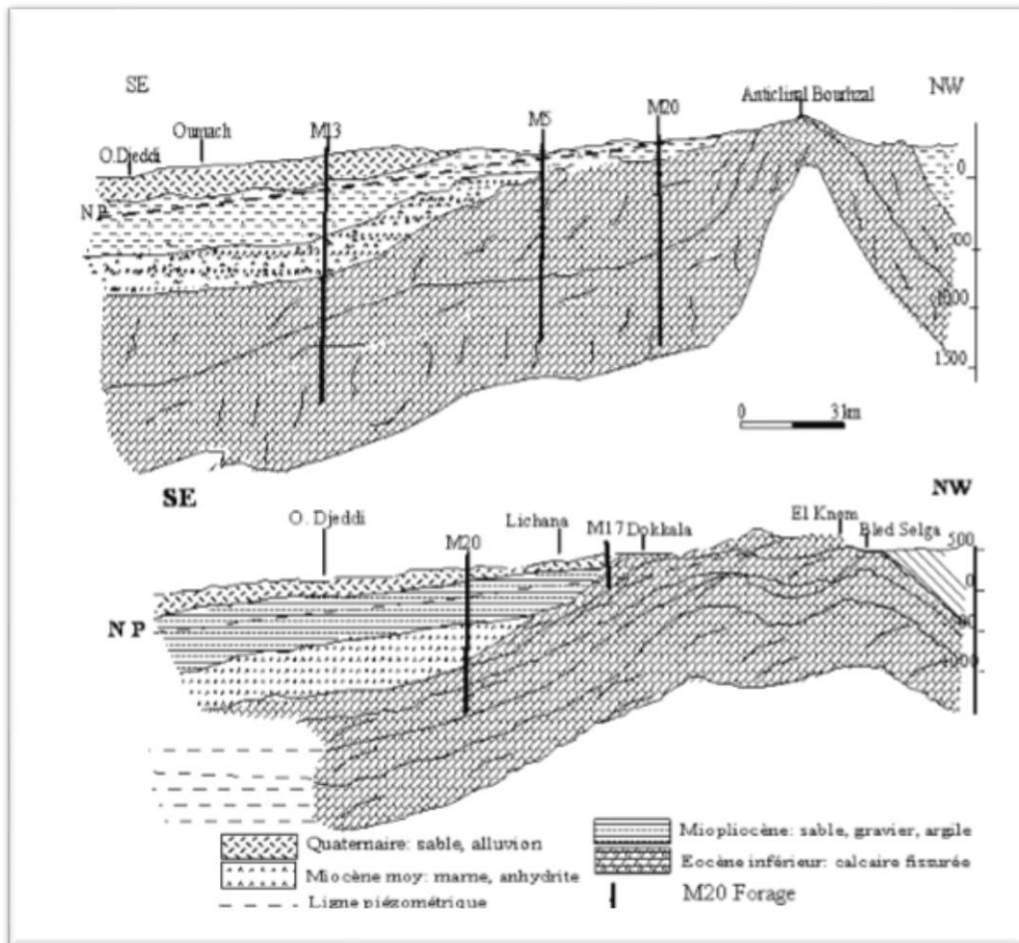


Figure (17) : Coupe hydrogéologique dans la nappe des calcaires (DHW de Biskra, 1990)

II -4-5 Nappe de Continental Intercalaire (CI)

Cette formation occupe pratiquement la totalité du Sahara algérien septentrional. Elle s'étend sur une superficie d'environ 600 000 km².

Dans la région des Ziban, cette nappe a environ une épaisseur de 500 mètres (secteur d'Ouled Djellal) et est constituée par le complexe Albien, Aptien et Barrémien(figure 18). Le toit du Continental Intercalaire correspond aux formations argileuses et évaporitiques du Cénomaniens. La profondeur de ce toit, dans le secteur d'Ouled Djellal et de Sidi Khaled se situe à environ 2000 mètres. Le mur est mal défini et correspond aux formations comprises entre la discordance hercynienne et le Barrémien. Dans la région des Ziban, il correspond au Néocomien.

L'exploitation de cet aquifère est très coûteuse, en raison de sa profondeur qui dépasse 2000 m, la température de l'eau peut dépasser les 60°C. Cette nappe est représentée dans la wilaya, par des sources hydro thermales qui sont les sources de Hammame Essalhines, dans la commune de Biskra et de Hammam Sidi El-Hadj, dans la commune d'El-Outaya (Chabour,2006).

II -5-1 Paramètre hydrodynamique :

II -4-5-1-1 Perméabilité de la nappe des calcaires de l'éocène inférieur :

Les valeurs de la perméabilité obtenues (évaluée par abaque de Freez and Cherry et vérifiée par les quelques résultats d'essai de pompage) tableau 9, montrent une perméabilité importante de l'ordre 10^{-3} à 10^{-4} m/s, dans la région de Tolga.

En allant vers Doucen et Ouled Djellal, elles baissent allant jusqu'à atteindre 10^{-6} m/s).

Tableau 9 : Perméabilité de la nappe des calcaires déterminés à partir des essais par pompage (ANRH)

Aquifères	Région considérée	Numéro de sondage	Perméabilité (m.s ⁻¹)
Calcaires de l'éocène 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	$1,46.10^{-4}$

II -4-5-1-2 Transmissivité :

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

UNITE stratigraphique	LOG Stratigraphique	Description Stratigraphique	Unité Litho-Stratigraphique	Unité Hydrogéologique
quaternaire		Alluvions	Continental	Nappe Phréatique
Mio-Pliocène		poudingues calc. gypseux sable, argile	Terminal	Nappe De Sable
Eocène Moy.		argile, gypse calc. dolomitique	Eocène Argilo-Evaporitique	Nappe de l'Eocène moyen Semi-Imperméable
Eocène Inf.		Calc. blancs à silex	Eocène Carbonaté	Nappe Calcaire
Senonien Sup.		Calc. dolomitique	Senonien Carbonaté	
Senonien Inf.		Alternance de calcaires et de marnes	Senonien Lagunaire	Imperméable
TURONIEN		calc. dolomitique calc.	Turonien Carbonaté	Nappe Calcaire Du Turonien
CENOMANIEN		Marno - Calc. Marnes Gypse	Cenomanien Argilo - Evaporitique	Imperméable
ALBIEN		Argiles Gres	Albien Argilo Greséux	NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE
APTIEN		calc. marnes argiles, gres.	Aptien Lagunaire greséux	
BARREMIEN		Gres	Barremien Greséux	

Figure (18) : Tableau récapitulatif des unités géologiques et hydrogéologiques

Source : ANRH, 1973

II -5 Exploitation des nappes d'eau souterraines

Dans la région de Biskra, le volume d'eau extrait des aquifères et le nombre des forages ont beaucoup évolué dans le temps (Benhamida et Fedal,2008) (figure 19)

- En 1950, le nombre de points d'eau était de 1141 avec un volume extrait de 101 Hm³/an, soit 3.20 m³/s.
- En 1970, le nombre passe à 1865 avec 165 Hm³/an, soit 5.32 m³/s.

- En 1990, le nombre passe à 2960 forages avec 262 Hm^3 /an, soit 8.31 m^3 /s.
- En 2008, le nombre a atteint les 9908 points d'eau avec un volume extrait de plus de 566 Hm^3 /an, soient 18 m^3 /s.

Le volume d'eau soutiré par aquifère dans la région de Biskra est estimé par l'ANRH en 2008, les résultats sont donnés sur le tableau 9. Nous pouvons constater que les nappes du Mio-pliocène et de l'Eocène Inférieur restent les plus sollicitées. Elles rassemblent à elles seules un volume de 426.238 Hm^3 /an, pour un total de 565.618 Hm^3 /an.

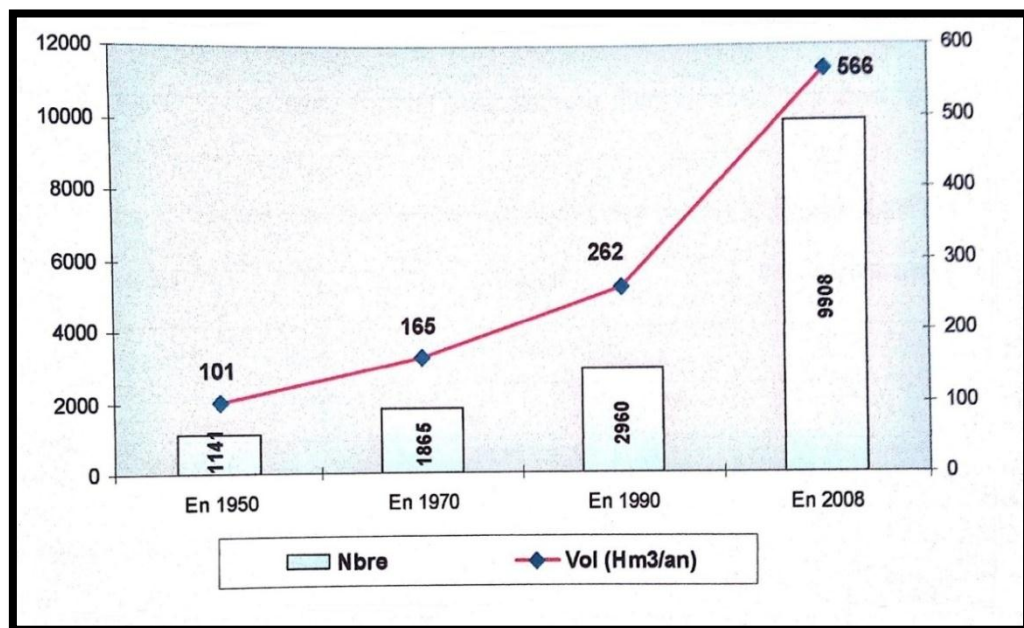


Figure (19) : Evolution dans le temps du nombre de forages et du volume extrait (Benhamida et Fedal, 2008)

Tableau(10) : Volume d'eau soutiré par nappe dans la région de Biskra (ANRH, 2008)

Aquifère	Volume en (Hm^3 /an)
Phréatique	65.77
Mio-pliocène	264.706
Eocène Inférieur	161.532
Sénonien	15.95
Pontien	6.19
Maestrichtien	12
Albo-Barrémien	39.39
Total	565.618

Le tableau 10 représente les nappes d'eau exploitées par daïra à travers la wilaya de Biskra.

Tableau (11) : Nappes captées par daïra à travers la wilaya de Biskra (ANAT, 2003)

Daïra	Nappe	Profondeurs (m)
Zribet El Oued	Mio-pliocène	90-250
	Pontien	500-900
Sidi Okba	Mio-pliocène	90-250
	Pontien	500-900
Oued Djellal	Phréatique	20-60
	Mio-pliocène	90-250
	Eocène Inférieur	90-500
	Albien	1700-2600
Sidi Khaled	Phréatique	20-60
	Eocène Inférieur	90-500
	Albien	1500-2500
Biskra	Phréatique	20-60
	Mio-pliocène	90-250
	Eocène Inférieur	90-500
	Albien	2500
Tolga	Phréatique	20-60
	Eocène Inférieur	90-500
	Albien	1700-2600
Foughala	Phréatique	20-60
	Mio-pliocène	90-250
	Eocène Inférieur	90-500
	Albien	1700-2600
Ourlal	Phréatique	20-60
	Mio-pliocène	90-250
	Senono-Eocène	90-500
	Albien	2500
El Outaya	Phréatique	15-20
	Mio-pliocène	90-250
El Kantra	Phréatique	15-20
	Maestrichtien	200
	Turonien	300-1000
Djemorah	Mio-pliocène	150
	Maestrichtien	100-350
	Turonien	300-1000
Mchouneche	Mio-pliocène	80-200
	Maestrichtien	150-500

II -6 Potentialités hydriques :

II -6-1 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.

II 6-2 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.

La ressource mobilisée de la wilaya de Biskra est de 35% pour les eaux de surface, 43 % pour les eaux souterraines de 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 12).

Tableau 12: 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

II -7 Niveau des prélèvements

Pour ce qui de la nappe des calcaires, les débits d'exploitation sont bien suivis et ce depuis plusieurs décennies. Ainsi, le tableau 11 représente l'historique des prélèvements depuis des débits de sources et forages de la nappe d'Eocène inférieur (EI).

Tableau (13) : Débits observés des sources et forages de la nappe de Tolga (EI) (OSS,2004)

Année	Sources (l/s)	Forages (l/s)	Totale (l/s)
1930	1485	590	2075
1952	1250	860	2110
1967	457	1650	2125
1970	985	2000	2985
1973	834	2537	3371
1993	100	4300	4400
2000	40	4180	4220

On peut remarquer que le débit des sources a connu une augmentation en 1970,qui n'est sans doute pas due à un replanissement du débit des forages mais elle est le résultat d'un surcroit lors des pluies exceptionnelles de septembre-octobre 1969 (OSS, 2004).

Nous pouvons également observer que le total des prélèvements n'a pas vraiment augmenté au cours des 40 premières années d'exploitation (1930-1970) et ce malgré une augmentation consistante du nombre de forages et du débit total extrait par ces derniers. Cette exploitation en condition d'artésianisme s'accompagne d'un rabattement relativement faible de la nappe et ce n'est pas le cas lorsqu'on passe en condition de pompage intensif.

Par ailleurs, le tableau 12 et présentent la reconstitution du débit pour le système aquifère Biskra : sources (EI), et forages de l'Eocène inférieur (EI) Pontien et Mio-pliocène ainsi que la nappe phréatique.

Tableau(14) : Evolution des prélèvements dans le système aquifère Biskra
 (Exprimés en million de m³/an) (OSS,2004)

Année	Sources EI	Forages EI	Pontien	Mio- pliocène	Phréatique	Total
1990	40	25	1	8	27	101
1960	35	45	2	9	39	130
1970	31	71	4	13	47	165
1980	11	82	4	15	55	166
1990	4	122	8	54	73	262
2000	2	132	9	211	101	454

II -8 Niveaux piézométriques

Le développement agricole dans la région de Biskra est génère grâce l'abondance des eaux souterraines. Ces ressources en eau sont exploitées par des forages qui ont prolifères dans la région. Cependant, l'utilisation anarchique et abusive des eaux risque de mettre en péril la ressource. La baisse significative et continuelle des niveaux piézométriques des nappes, l'absence de l'artésianisme et le tarissement des sources sont des signes de la surexploitation des aquifères.

Les nappes d'eau les plus sollicitées dans la région de Biskra sont celles du Mio-pliocène et de l'Eocène inférieur. Les figures20 et 21 permettent de mettre en évidence la gravité du rabattement des niveaux hydrostatiques de ces deux nappes (ANAT, 2003). De plus, des études similaires sur les fluctuations piézométriques de la nappe de Mio-pliocène entre l'année 2000 et 2008, ont révélées des rabattements considérables notamment dans le Zab oriental (Ourlal et Zeribet El Oued) où la nappe est plus exploitée (Sedrati et al., 2001). De même la piézométrie de la nappe d'Eocène inférieur s'est révélée en régression en 2008 dans la totalité de la région.

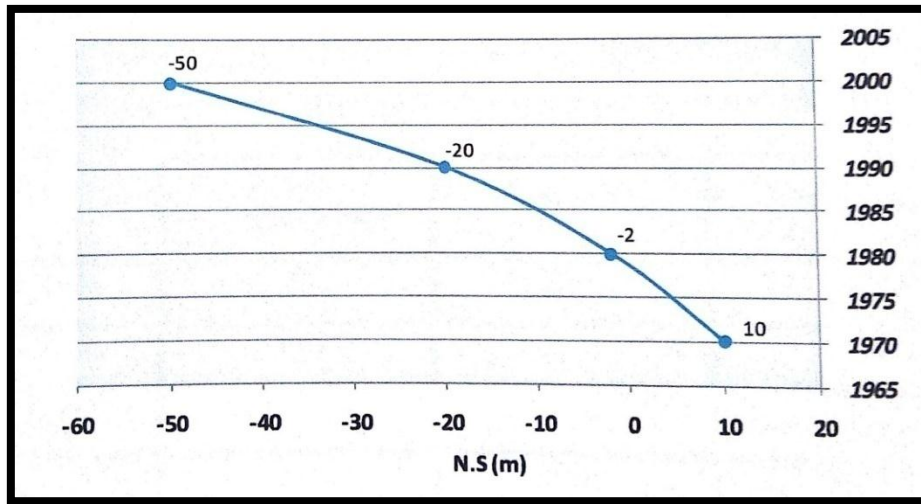


Figure (20) : Variation des niveaux statiques de la nappe Mio-pliocène dans la zone Est de la wilaya de Biskra (ANAT, 2003).

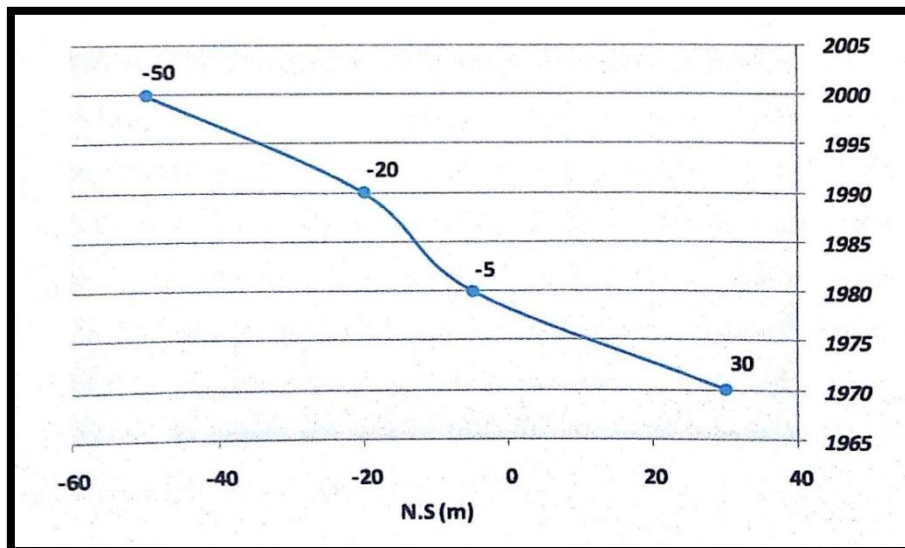
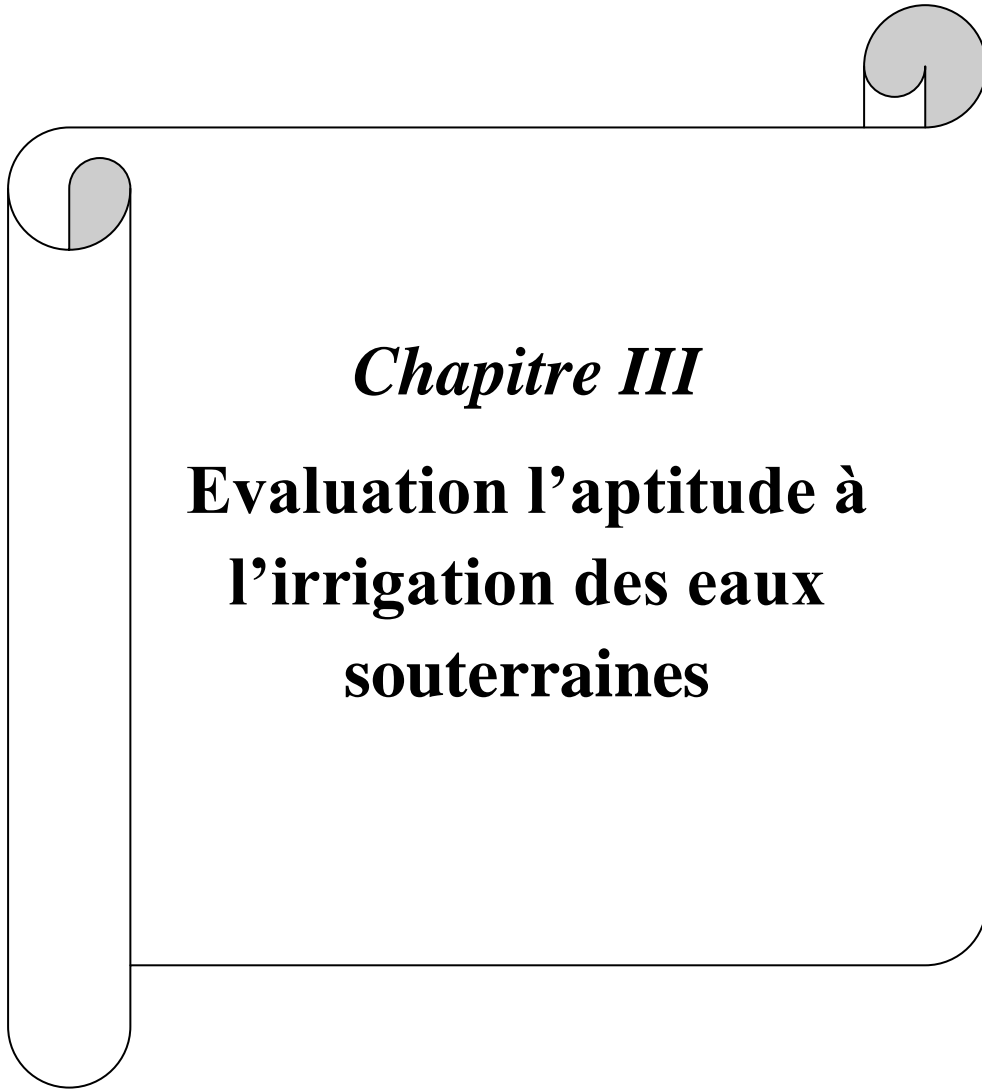


Figure (21) : Variations des niveaux statiques de la nappe des calcaires (ANAT, 2003).

II -9 Conclusion

Les principaux aquifères de la région de Biskra sont contenus dans de grands complexes sédimentaires : le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal. Le CI regroupe les formations continentales du Barrémien et de l'Albien. Dans la région de Ouled Djellal le CI se situe a une profondeur de plus de 2000 m et à une épaisseur d'environ 500 m. Le CI est constitue d'une nappe de calcaire contenue dans les formations sènono-éocènes et de nappe a matériel continental appartenant à l'étage Mio-Plio-Quaternaire. L'écoulement général des eaux systèmes se fait des zones d'alimentation situées dans l'Atlas saharien (en grand partie oriental) vers la zone des chotts.



Chapitre III

**Evaluation l'aptitude à
l'irrigation des eaux
souterraines**

1^{ère} partie: Hydrochimie des eaux.

III -1 Introduction :

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.

III -2 Echantillonnage et analyse hydrochimique :

Les échantillons ont été collectés à travers toute la zone d'étude afin de mieux représenter la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines de la nappe (Figure 22).

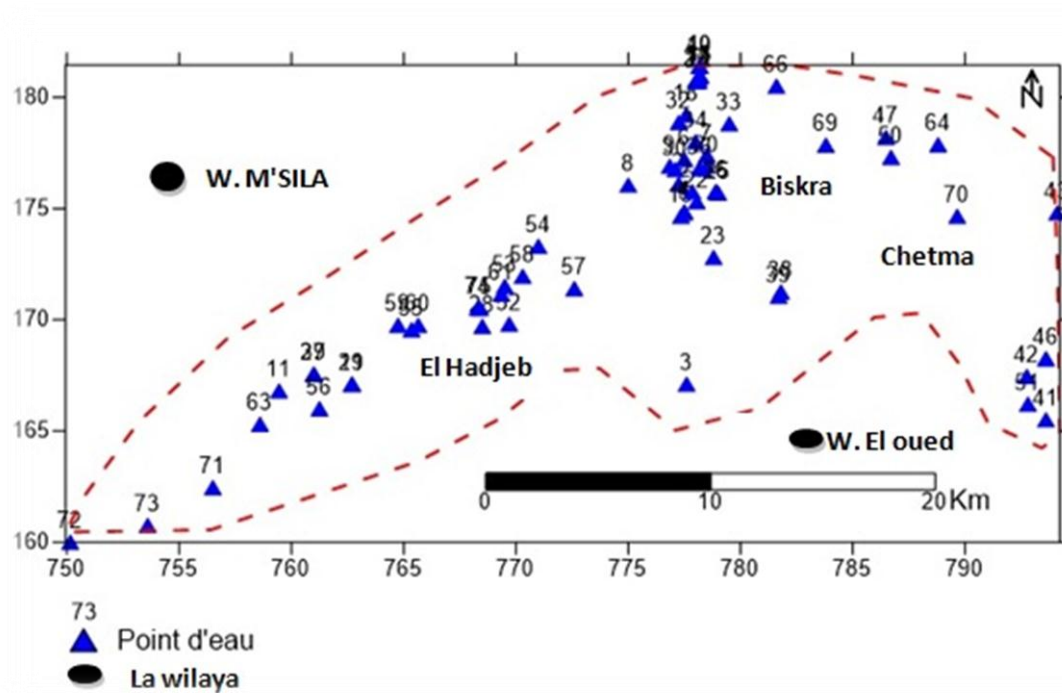


Figure (22) : Carte des points d'eau échantillonnés (Nov 2013)

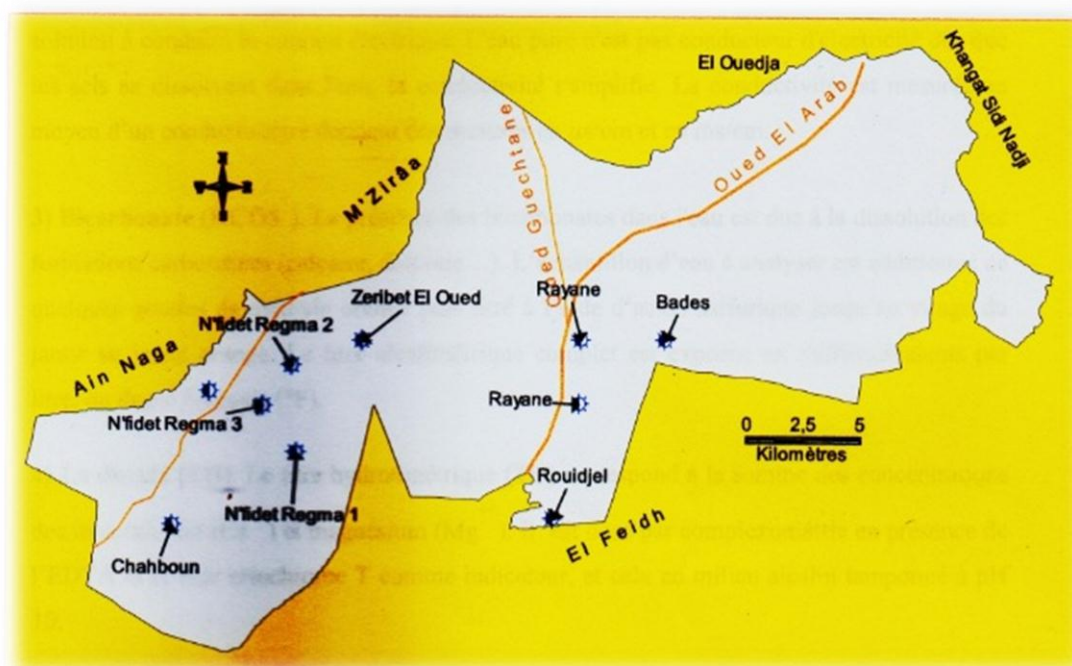


Figure (23) : Localisation des points d'eau dans la région de Biskra (2016)

III -3 Détermination des principaux facies hydrochimiques :

Suivant :

$Na^+ > Ca^{+2} > Mg^{2+} > K^+$ les cations présentent l'ordre des concentrations les plus fortes au plus faibles. Parfois, le sodium est plus important comme dans la majorité des points d'eaux, où il

domine les autres cations ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^+ > \text{K}^+$). Le potassium a toujours la concentration la plus faible.

Pour ce qui concerne les anions, les sulfatés sont largement les ions dominants, et ils représentent plus de 66% de la charge anionique dissoute. Ils sont particulièrement élevés dans la plupart des points d'eaux, avec une concentration plus de 600 mg/l. Les anions se présentent dans l'ordre suivant : $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$.

A partir des calculs des quantités en réaction et la classification des ions (formule ionique), les faciès sont représentés dans le tableau (14) :

Tableau (15) : Faciès chimiques des eaux souterraines de la plaine d'étude.

Campagne d'échantillonnage	Faciès chimique				
	Sulfaté Sodique (%)	Sulfaté calcique (%)	Chloruré calcique (%)	Chloruré sodique (%)	Sulfaté Magnésienne (%)
Nov 2013	39,72	27,39	1,36	27,39	4,10
Oct 2016	22,22	44,44	11,11	11,11	0

Sur les deux périodes d'observation, nous remarquons que la répartition des différents faciès dépendait de la lithologie et de l'hydrodynamisme de la nappe. Le faciès sulfaté calcique et sodique tire son origine les formations gypseuses bordant la nappe.

Le faciès sodique est important. Il s'explique par la présence des formations alluvionnaires salées du Mio-Plio-Quaternaire et des marnes gypsifères.

Les eaux sulfatées magnésienne qui ne s'observent qu'à un faible pourcentage de la totale des points d'eaux: les formations carbonatées d'âge crétacé y sont présentes.

III -4 Représentation graphique des faciès hydrochimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil indispensable. Pour atteindre cet objectif, nous avons eu recours au diagramme de Piper. L'établissement de ces diagrammes a été fait en utilisant le logiciel **Diagrammes**, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

III -4-1 Diagramme de PIPER :

Les faciès sont représentés sur le diagramme de Piper (figure 24 et figure 25). D'après les figures 24 et 25, nous remarquons que l'ensemble des nuages de points ne présente pas de dominance anionique ou cationique. Nous signalons cependant la présence d'un faciès sulfaté sodique et calcique, relativement dominant, et un faciès chloruré sodique moyen et chloruré

calcique très faible (27,39% et 1,36%) des puits. La présence du sodium s'explique par les marnes gypsifères d'âge triasique qui constituent le substratum de la nappe.

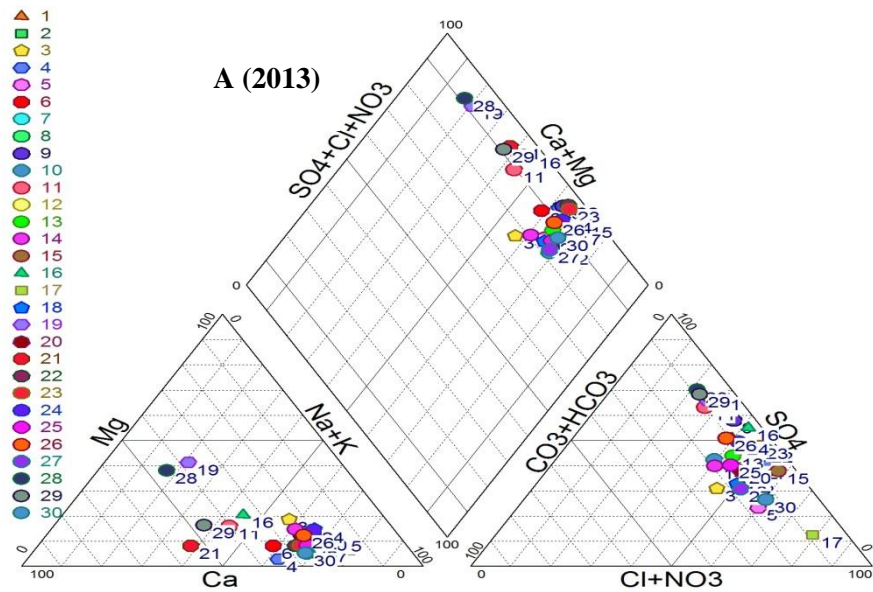


Figure 24 (A) : Diagramme de Piper des eaux souterraines dans la plaine (Nov 2013).

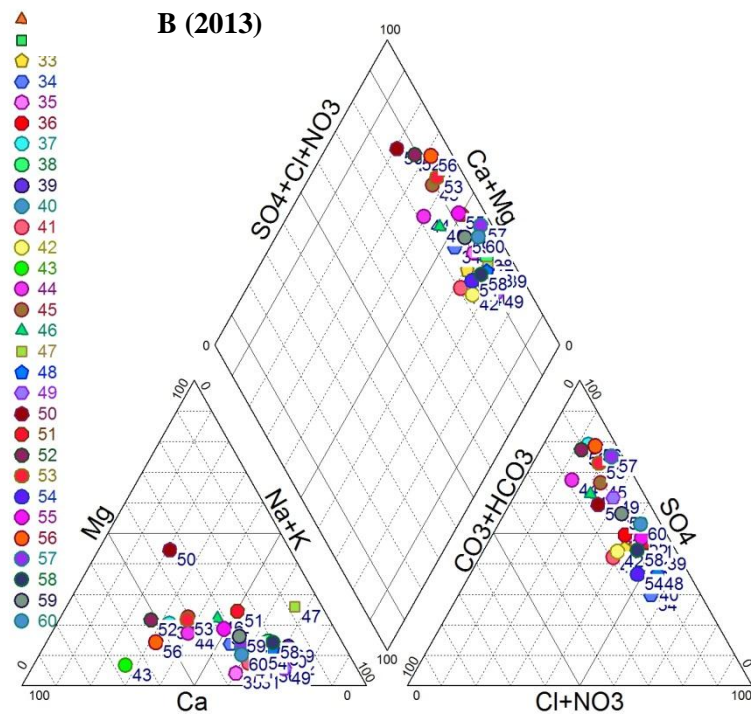


Figure 24 (B) : Diagramme de Piper des eaux souterraines dans la plaine (Nov 2013).

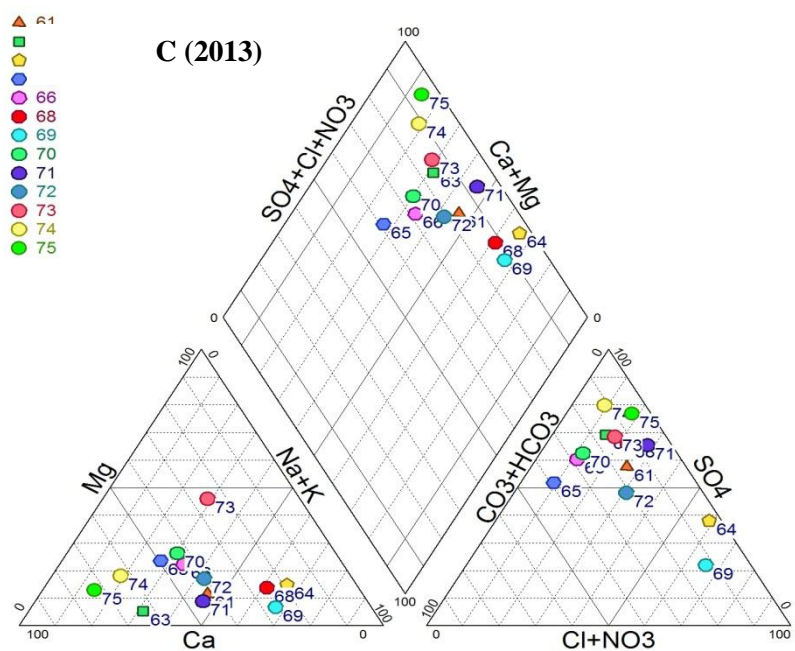


Figure24 (A, B, C): Diagramme de Piper des eaux souterraines dans la plaine(Nov 2013).

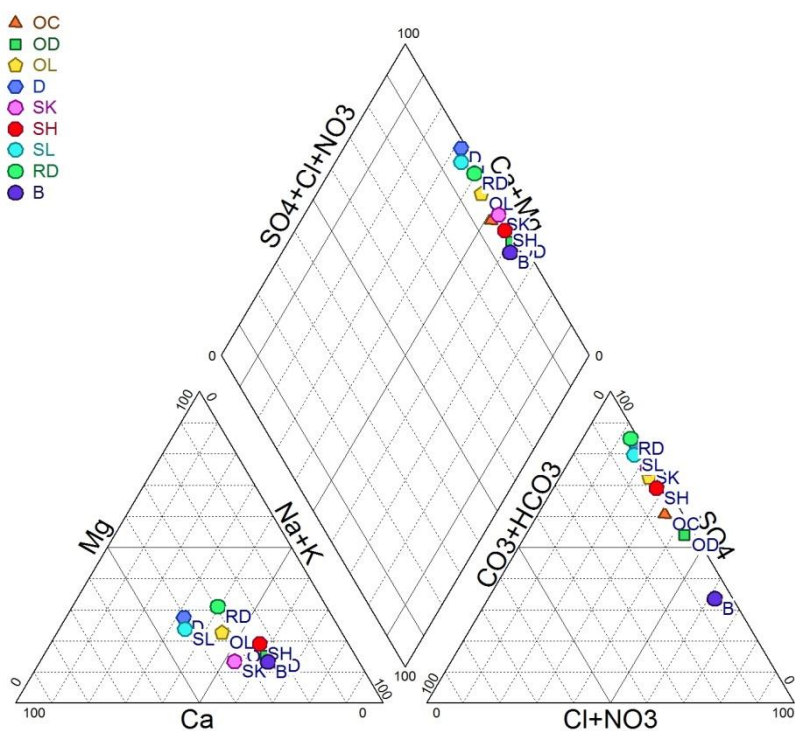


Figure 25: Diagramme de Piper des eaux souterraines dans la plaine(Oct 2016).

III -5 Cartographie hydrochimique

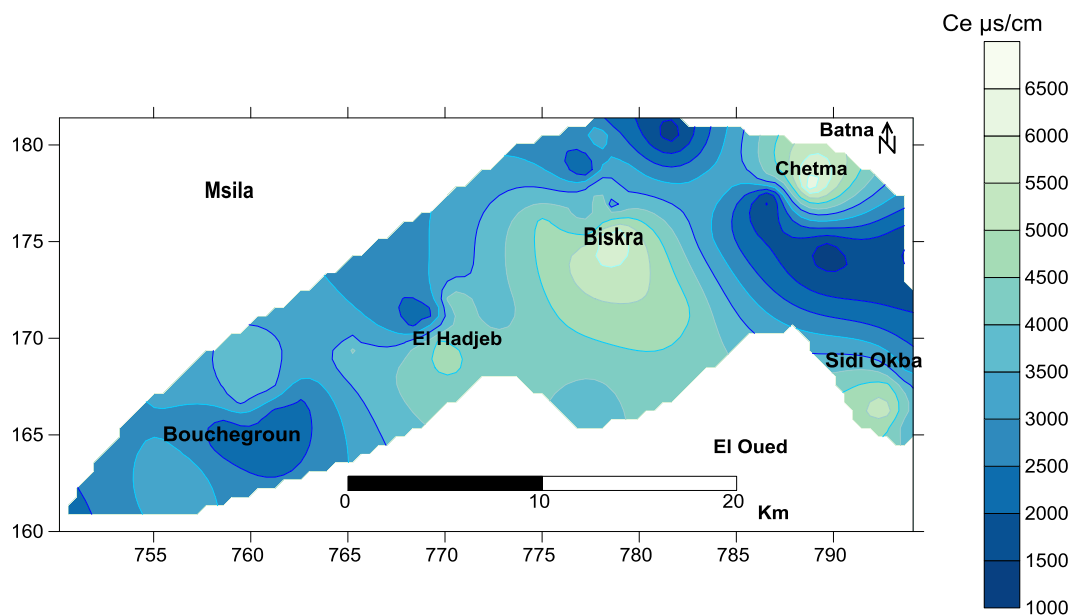
L'outil cartographique reste un outil très appréciable dans la vision de l'évolution spatiale d'un constituant chimique quelconque ou d'un polluant. Les éléments chimiques caractérisant les faciès chimiques sont cartographiés, ils montrent une évolution significative durant toute la période d'observation. La campagne de 2013 a montré des teneurs maximales en sels dissous, c'est pourquoi nous les avons prises pour illustrer la variation spatiale des éléments chimiques.

La cartographie hydrochimique a été illustrée par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 11 (Golden software, 2013).

III -5-1 La conductivité électrique (CE) :

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs mesurées ont été ramenées à 25°C.

Les valeurs de la conductivité électrique montrent que la plupart des puits dépassent la norme recommandée relative à la potabilité des eaux, surtout pendant la période des basses eaux. Les valeurs minimales sont enregistrées à l'amont de la nappe. Les valeurs maximales sont de l'ordre de 5230 ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$), on les rencontre dans la zone d'accumulation des eaux souterraines, au Nord-est de la nappe, elles sont dues aux dépôts évaporitiques issus de la région de Biskra. figures (26 et 27).



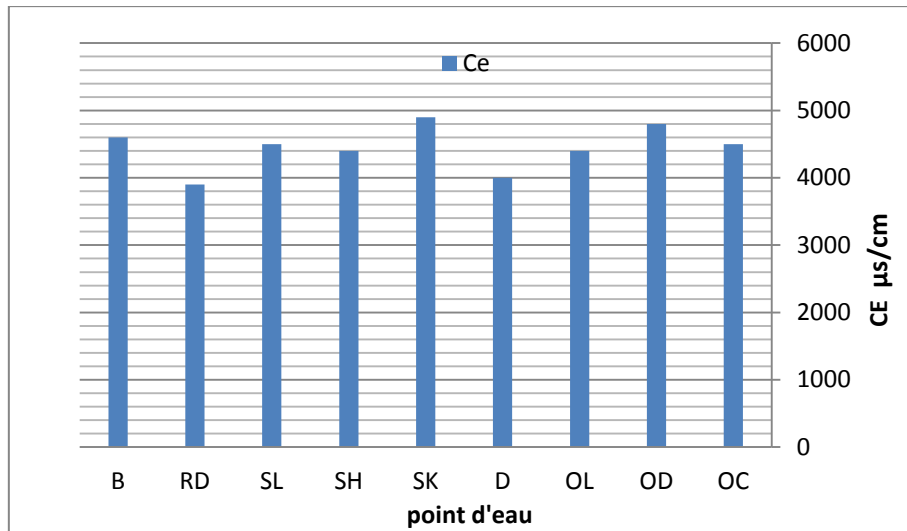


Figure (27) : Evolution de la Conductivité électrique Oct 2016.

III -5-2 Potentiel d'Hydrogène (pH) :

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité des eaux. Les valeurs du pH montrent que tous les puits se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité, pendant la période des basses eaux. Le pH varie entre 7.1 et 8.8, nous constatons que la majorité des eaux de la nappe alluviale sont incrustantes.(figures 28 et 30).

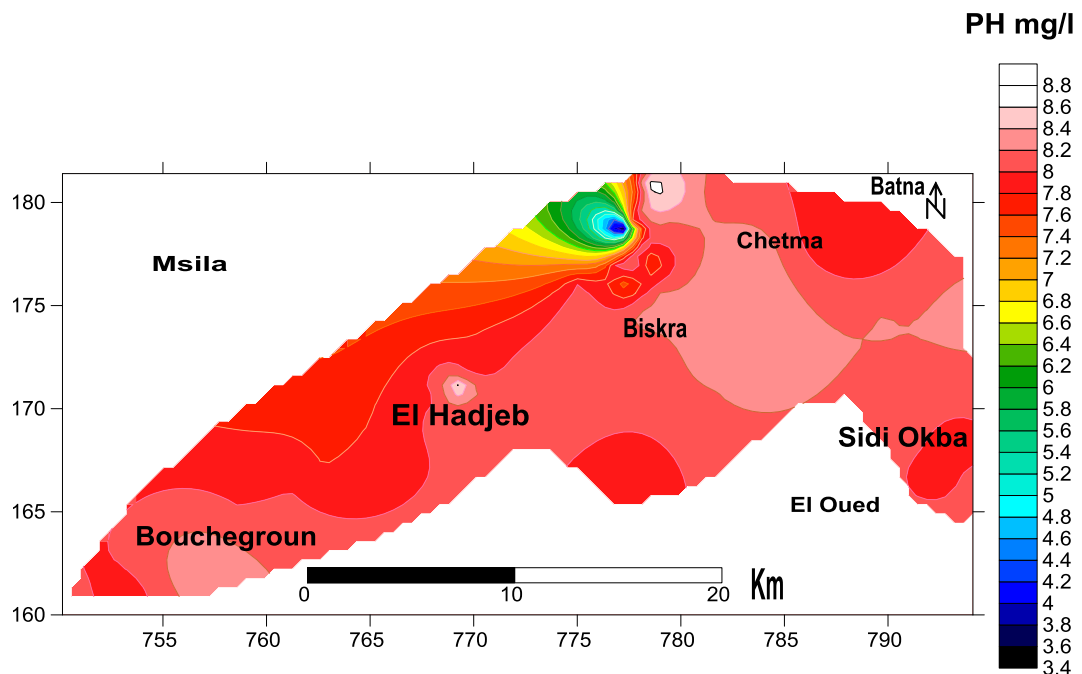


Figure (28) : Répartition spatiale du potentiel d'hydrogène Nov 2013.

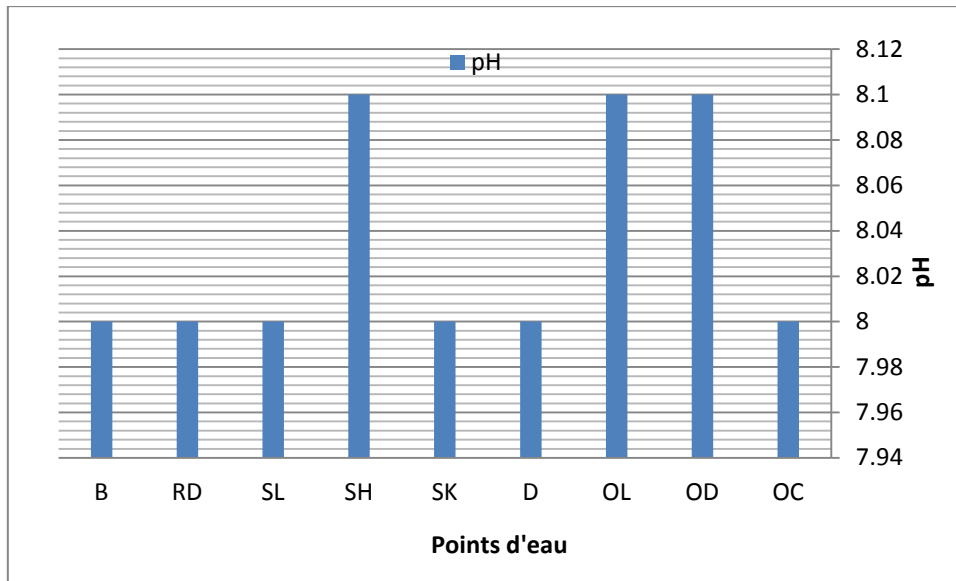


Figure (29) : Evolution du potentiel d'hydrogène Oct 2016.

III -5-3 Les sulfates (SO_4^-)

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypsifères. Les teneurs déterminées sont comprises entre (200 et 2600 mg/l) avec une moyenne de (1011 ±311 mg/l).(figures 30 et 31).

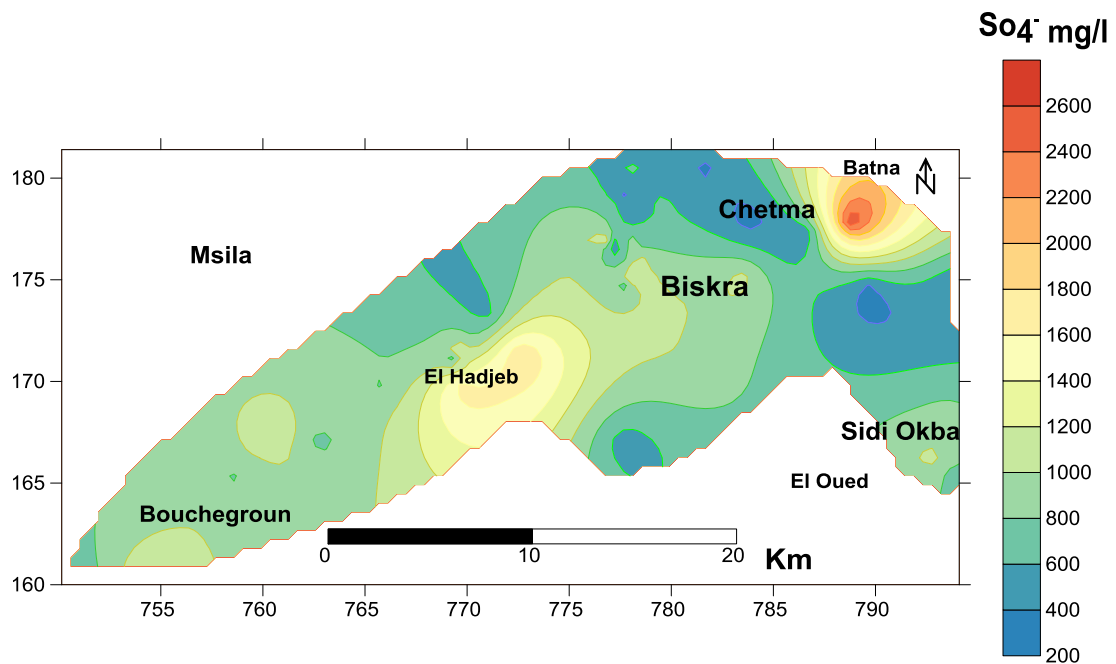


Figure (30) :Répartition spatiale de Sulfate Nov 2013.

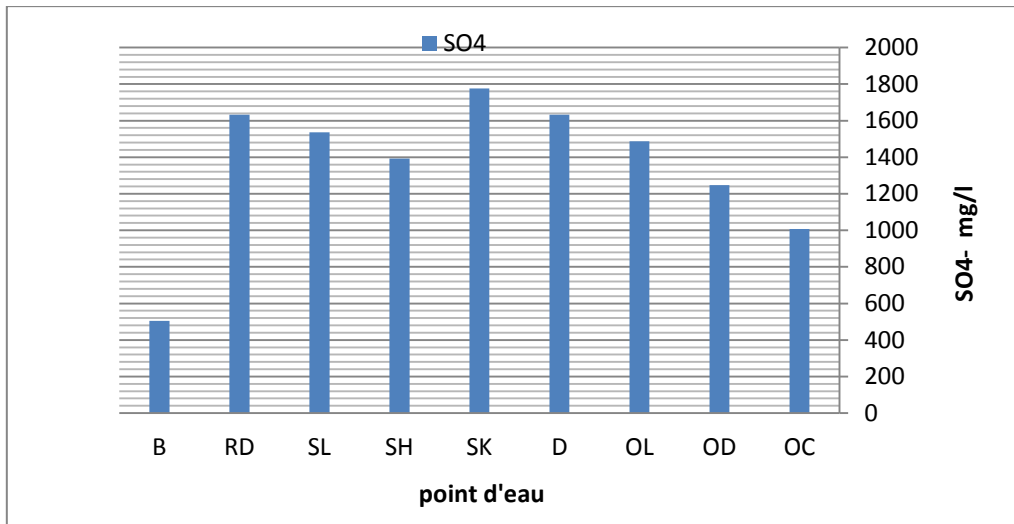
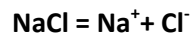


Figure (31) :Evolution de sulfate Oct 2016.

III -5-4 Les chlorures et sodium (Cl⁻), (Na⁺) :

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des minéraux salifères.



La teneur moyenne en chlorures est de 450 ± 252.59 mg/l (minimum =180 mg/l, maximum = 2200 mg/l) (figures 32,33). Dans le cas des eaux de nappe étudiée, nous remarquons que 75% des points d'eau dépassent la norme de 250 mg/l. Les teneurs du Sodium sont comprises entre (48 et 4000 mg/l) (moyenne 414.88 ± 216 mg/l) (figures 34 et35).

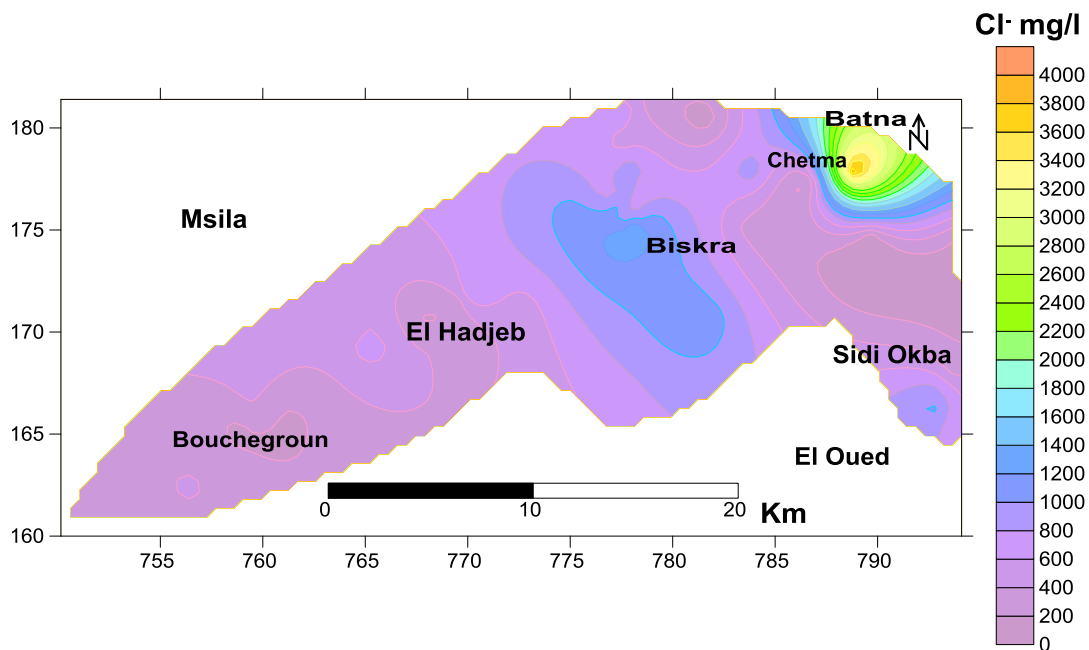


Figure (32) : Répartition spatiale de chlorure Nov 2013.

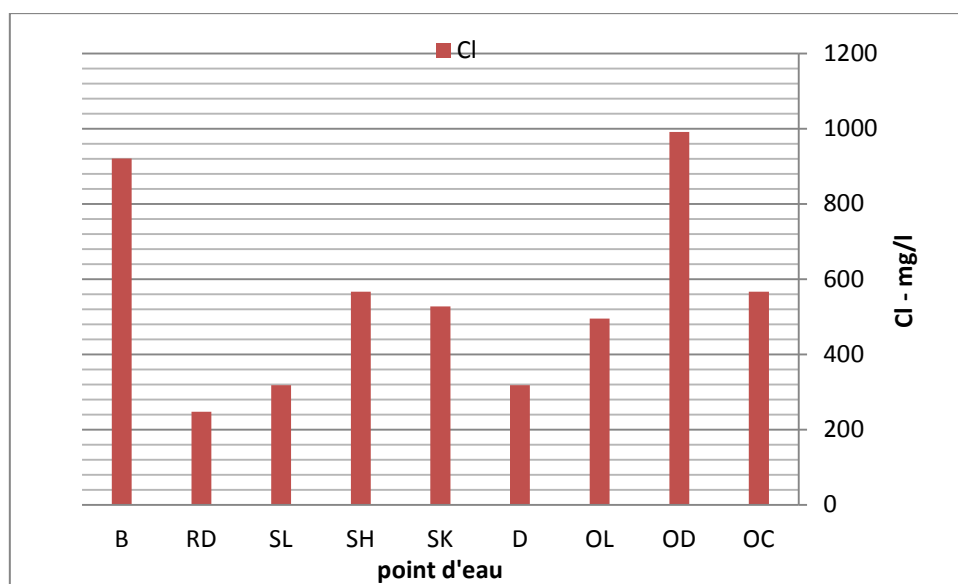


Figure (33) : Evolution de chlorure Oct 2016

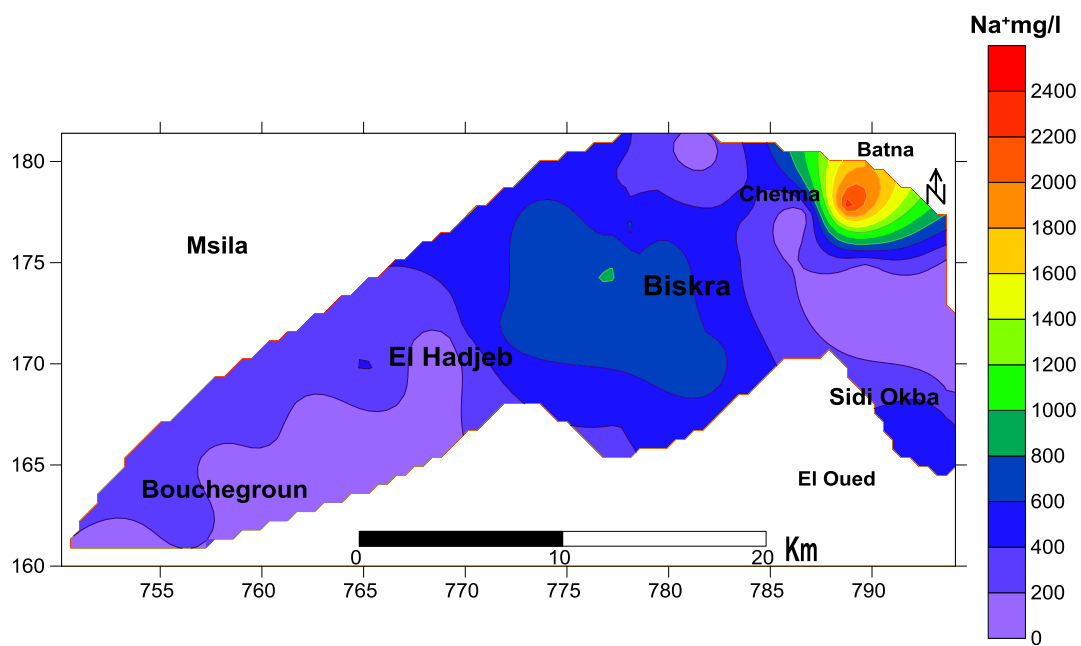


Figure (34) : Répartition spatiale du Sodium Nov 2013.

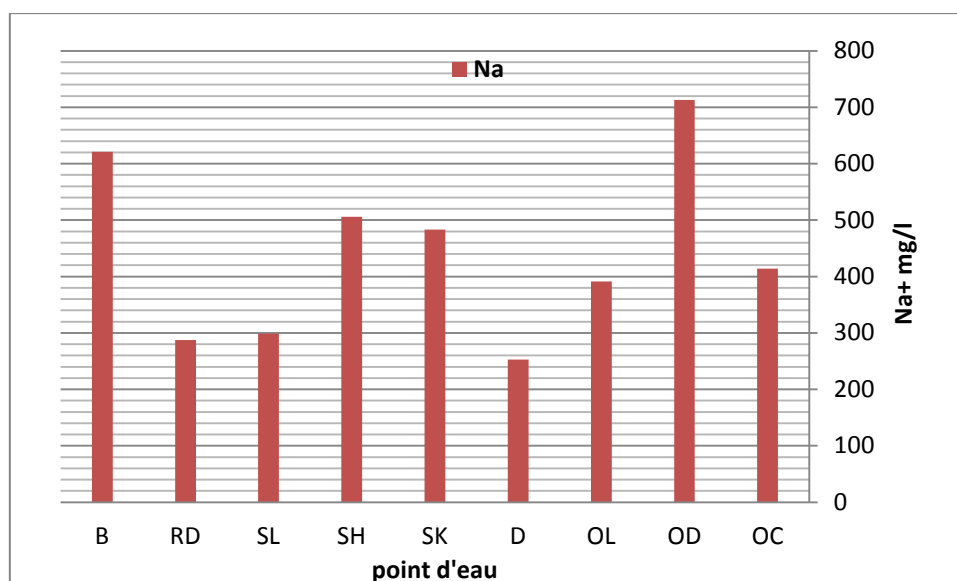
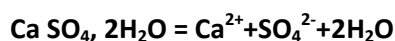
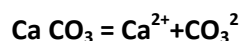


Figure (35) : Evolution de Sodium Oct 2016.

III -5-5 Le calcium (Ca²⁺) :

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées (Ca CO₃), soit la dissolution des formations gypseuses (Ca SO₄).



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 Ca²⁺ de 100 à 200 mg/l.

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire montrent que tous les points d'eau de la plaine présentent des concentrations supérieures à 100 mg/l, elles varient de 100 et 700 mg/l (figures 36 et 37).

Ce constat, nous permet de dire que les eaux de la nappe restent dans les limites de potabilité. L'ion Ca⁺⁺, peut provenir soit de la dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypseuses.

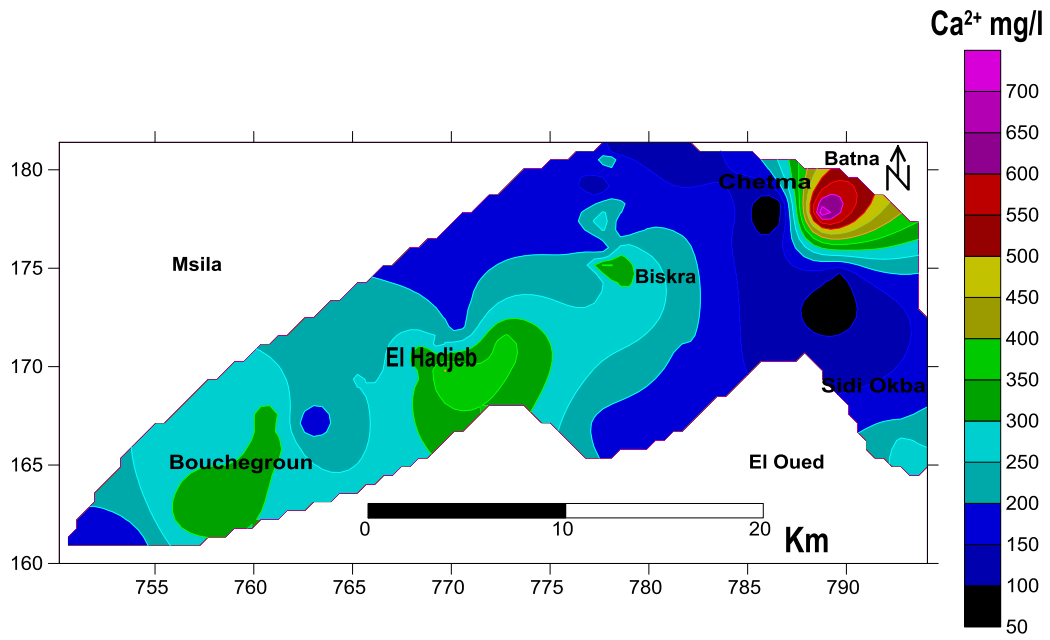


Figure (36) : Répartition spatiale du Calcium Nov 2013.

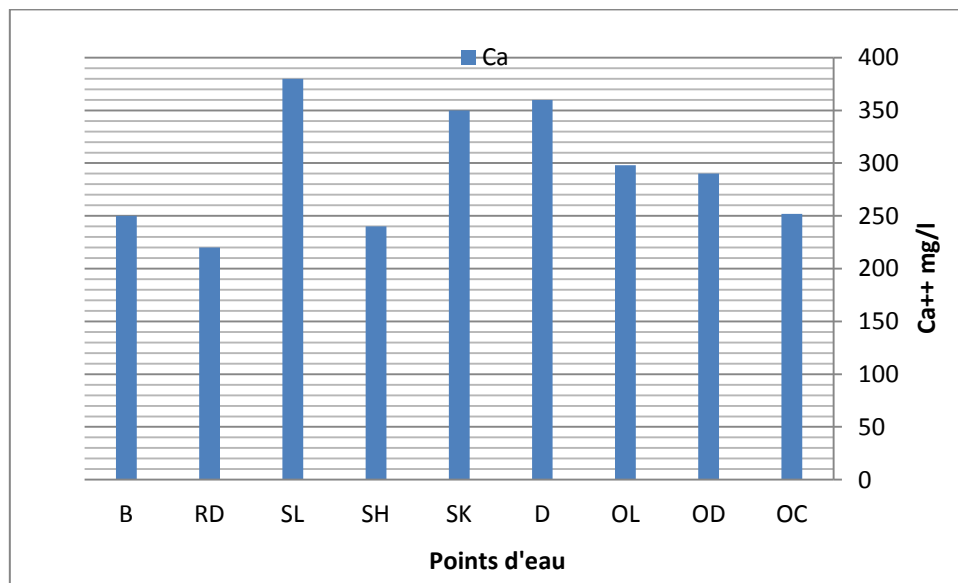
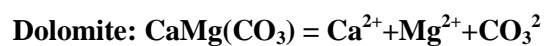


Figure (37) : Evolution de Calcium Oct 2016.

III -5-6 Le magnésium (Mg^{2+}) :

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 35 à 500 mg/l (moyenne 133.22 ±71.18 mg/l). 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%) possède des teneurs supérieures à la norme de potabilité (50mg/l),(figures 38 et 39).

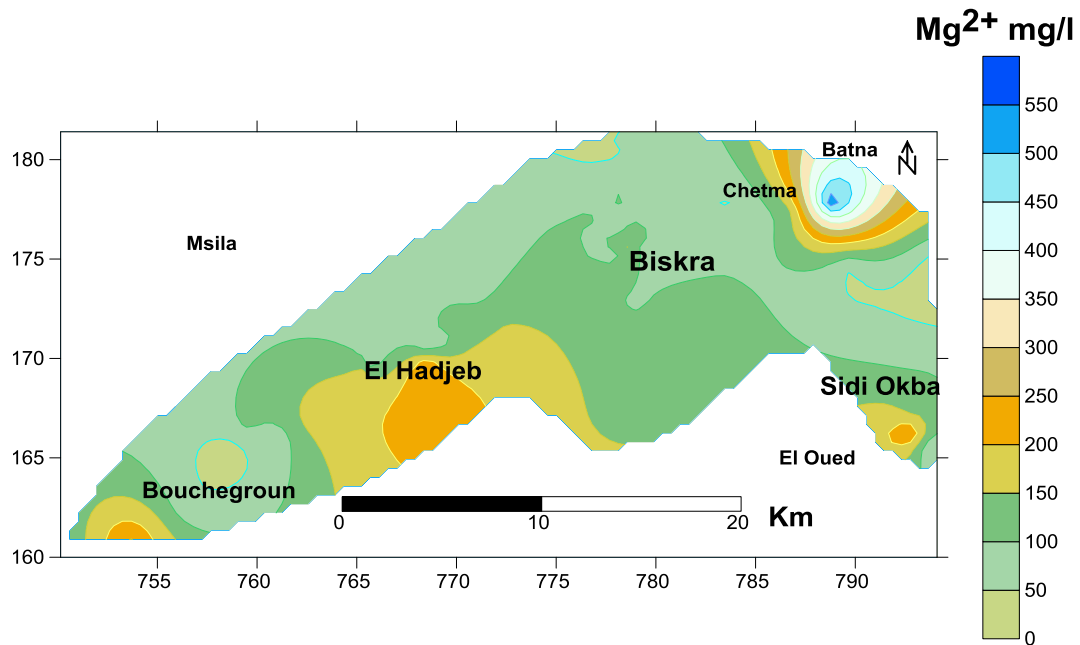


Figure (38) : Répartition spatiale du Magnésium Nov 2013.

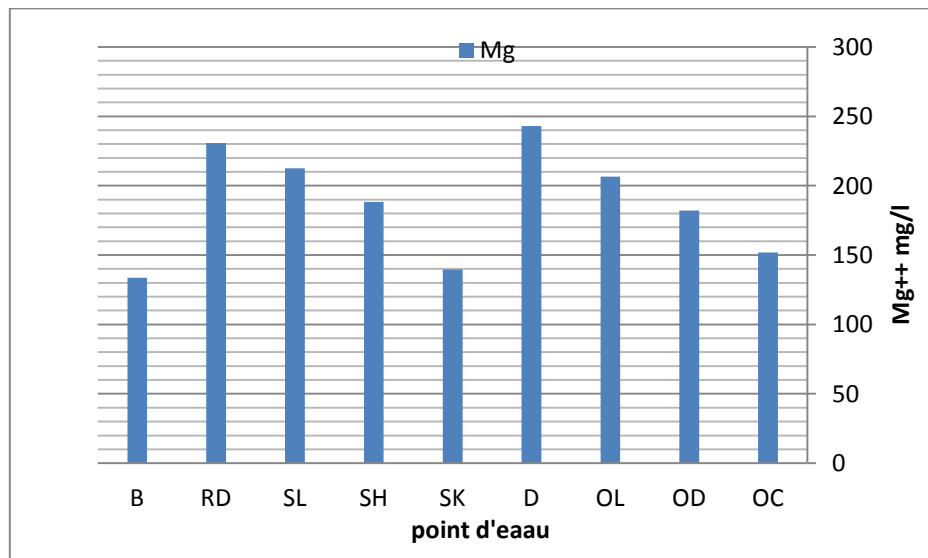


Figure (39) : Evolution de Magnésium Oct 2016.

III -5-7 Le potassium (K⁺) :

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la plaine. Les valeurs les plus élevées sont observées pendant la période des basses eaux avec une moyenne de 13,44 mg/l. et un maximum de 80 mg/l,(figures 40 et 41).

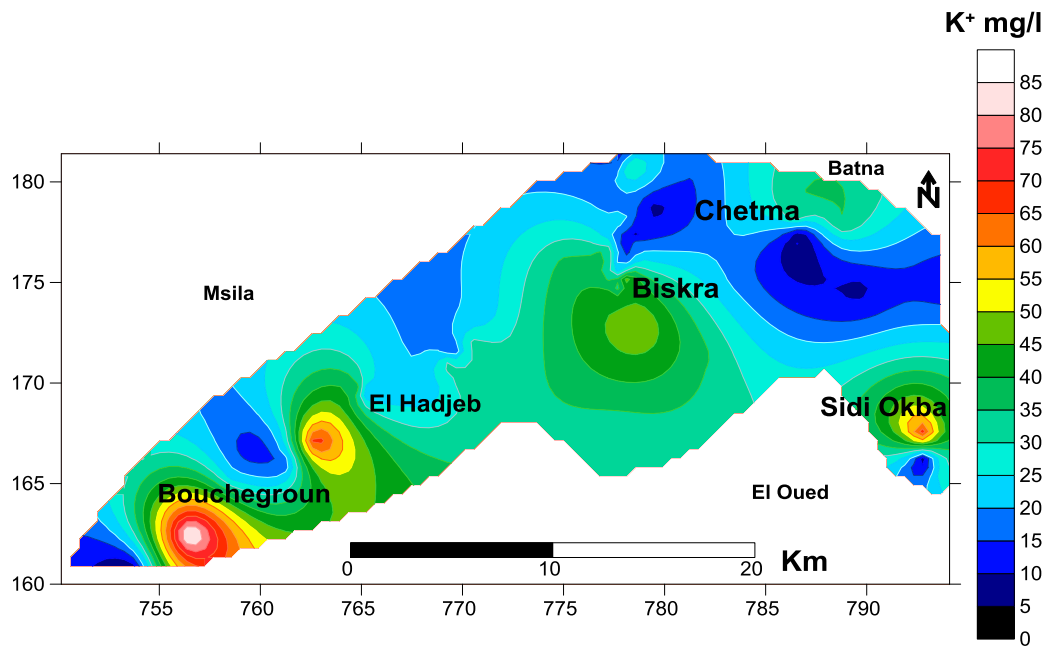


Figure (40) : Répartition spatiale du Potassium Nov 2013.

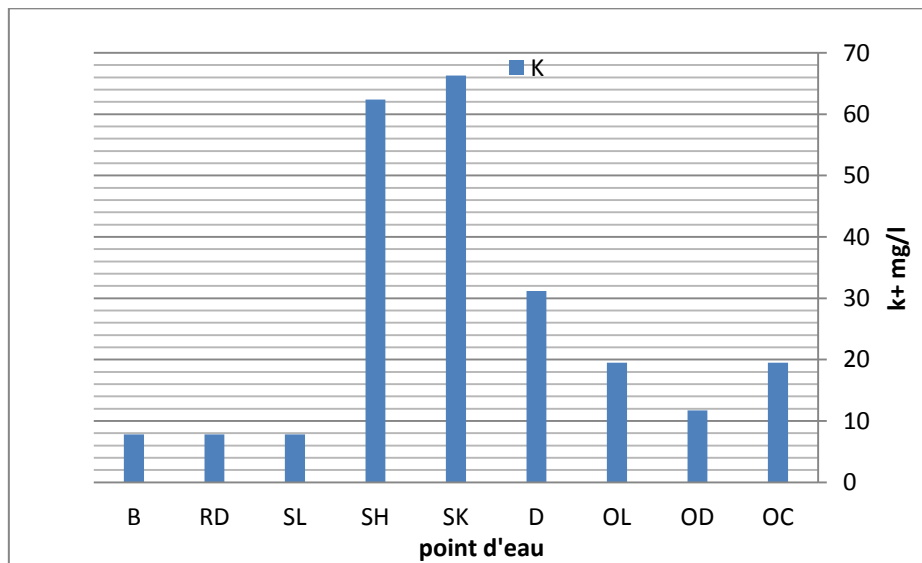


Figure (41) : Evolution de Potassium Oct 2016.

III -5-8 Bicarbonates (HCO_3^-) :

la Partie amont de l'Est de la plaine montre une teneur de Bicarbonate plus élevée qui varié entre 378 mg/l et 686mg/l, cette élévation nous amène à supposer une origine géologique due à la présence des carapaces calcaire dans le sol , dans la Partie centrale les concentrations de bicarbonates sont moyennes, comprise entre 250 mg/l et 380 mg/l. les concentrations des bicarbonates en aval varient entre 80 mg/l et 400 mg/l,(figures 42 et 43).

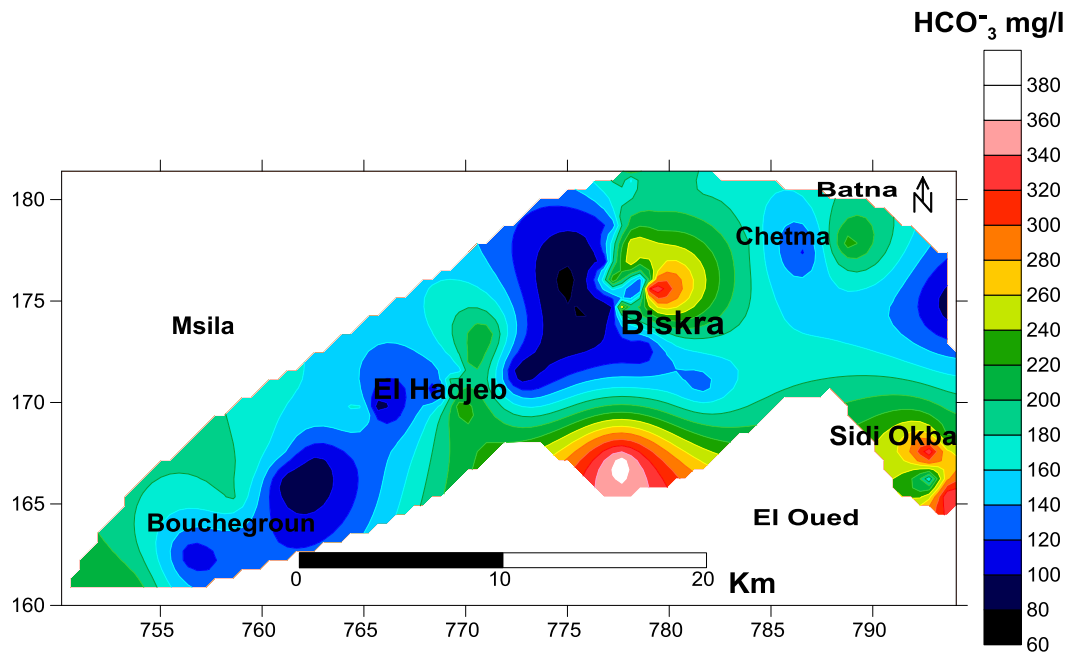


Figure (42) : Répartition spatiale des Bicarbonates Nov 2013.

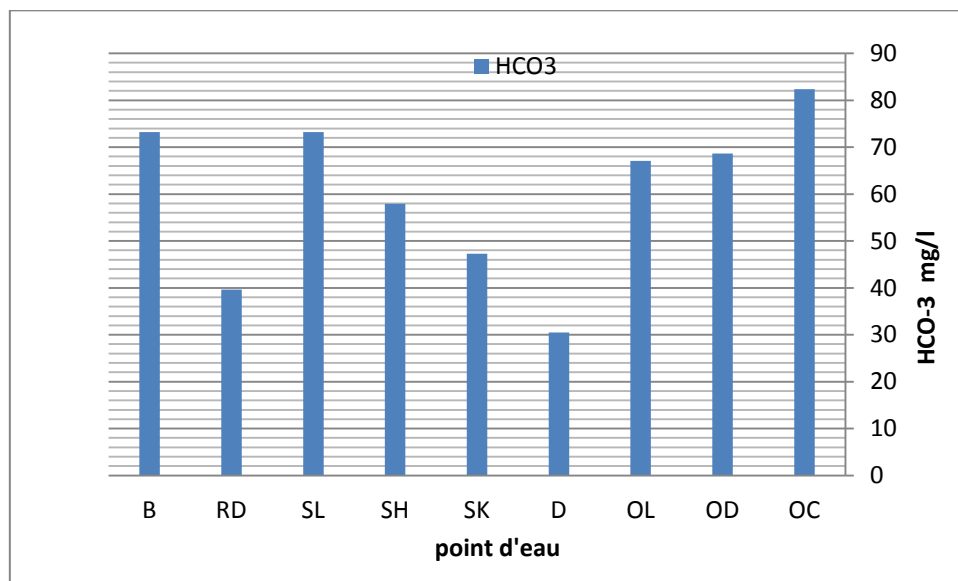


Figure (43) : Evolution des Bicarbonates Oct 2016.

III -5-9 Nitrate (NO_3^-) :

Les composés azotés sont les contaminants les plus répandus dans les environnements souterrains, provenant principalement de sources ponctuelles et multi-sources agricoles diffuses. Les données épidémiologiques suggèrent que l'exposition de nitrate d'azote est fortement associée à plusieurs maladies, telles que la méthémoglobinémie (baby blue-syndrome), le cancer gastrique, la maladie de la thyroïde et du diabète (**Krishna Kumar et al., 2011**). Par conséquent, la contamination de l'azote croissante menace sérieusement l'eau potable et la santé humaine.

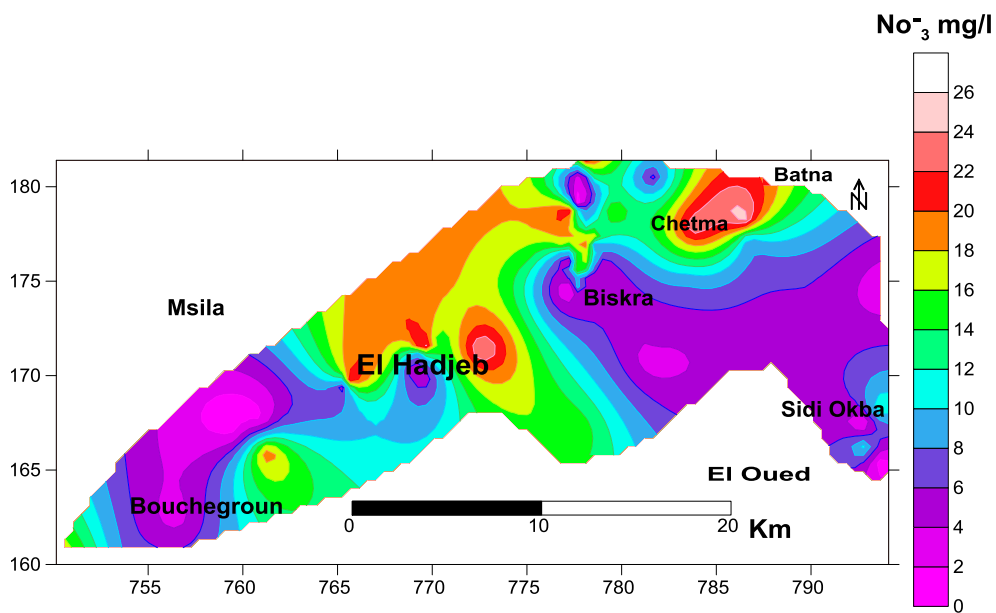


Figure (44) : Répartition spatiale des Nitrates Nov 2013.

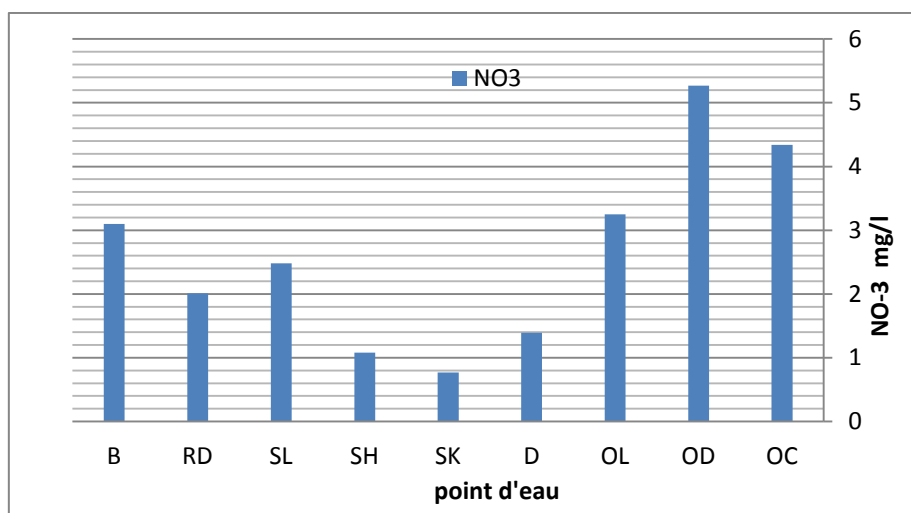


Figure (45) : Evolution des Nitrates Oct 2016.

Les résultats de mesure ont données des teneurs de l'ordre de (8 à 90mg/l), supérieures à la limite de potabilité (12mg/l) fixé par l'OMS, (figures 44 et 45).

Deuxième partie : Aptitude des eaux à l'irrigation

Dans les zones arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, aussi bien dans l'intensification des cultures, que dans l'extension des surfaces irriguées. Pour les régions tempérées, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; alors que dans les zones semi-arides, où cette ressource est rare ou inexistante, il est fait appel aux eaux souterraines. Le développement de l'agriculture dans ces zones rencontre actuellement, en dehors de la rareté des ressources hydriques, de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation et d'alcalinisation des sols. Cette dernière est due aux échanges ioniques (du sodium, du calcium et du magnésium) entre l'eau et le sol irrigué. L'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol d'enracinement influe négativement sur la croissance des plantes, nous avons recensé deux séries d'effets de la salinité : les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol. En effet, ces sels causent des changements de la perméabilité et de l'aération du sol d'une part, et d'autre part ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces dernières. Comme la région de Biskra est à vocation agricole et les risques de salinisation des sols se font sentir, une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire, car cette région se caractérise par une faible pluviométrie, une forte évaporation et une eau souterraine trop chargée en chlorures et en sulfates. Les risques qu'encourt cette plaine imposent une bonne connaissance des régimes hydriques et salins afin de pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et des sols. Dans la présente approche, l'estimation de quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour les deux campagnes saisonnières a été établie. Dans cette recherche, une simple tentative de formuler des indices de qualité de l'eau et leurs cartographies, en utilisant les normes de l'OMS de l'eau potable a été menée dans la plaine. L'objectif fondamental de l'actuelle recherche est de formuler un Indice de la qualité des eaux souterraine (GWQI) comme un outil de surveillance de la qualité des eaux souterraines. Deux méthodes ont été effectuées pour évaluer l'aptitude des eaux à l'irrigation ; L'une par classification de Richards et Wilcox, et l'autre par la détermination de (GWQI).

III -6 Classification des eaux par la méthode de Richards :

Après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de Richards (voir figures E, F,G, et H), selon la conductivité électrique et la valeur du SAR, nous avons dégagé sept classes: Les classes C2S2, C3S2 et C3S3 renferment des eaux bonne à admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée. Ces classes C3-S2 représente les puits qui se situent au Sud-est et Nord-Ouest de la plaine (au niveau des communes de Chetma, Oumache, Elhadjab et Sidi Okba). Elles représentent 12.34 % des puits, Les classes C4-S1, C4-S2, C4-S3 et C4-S4 représentent les eaux médiocres à mauvaises fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

La majorité des puits, appartenant à la classe C4-S4, se situent à Biskra et représentent 79,45% et des points d'eau analysés. Les classes C4-S1, C4-S2 et C4-S3 est d'une sodicité moins importante que celle de la classe précédente, avec un pourcentage de 2. 73 %.

Les eaux de la nappe de la plaine de notre secteur d'étude présentent, en général, les mêmes qualités pour l'irrigation au cours de toute la période d'observation (Figures 46 et 47),(Tableau 14).La dégradation observée est due au gypse et aux argiles d'une part, et l'effet de l'évaporation d'autre part.

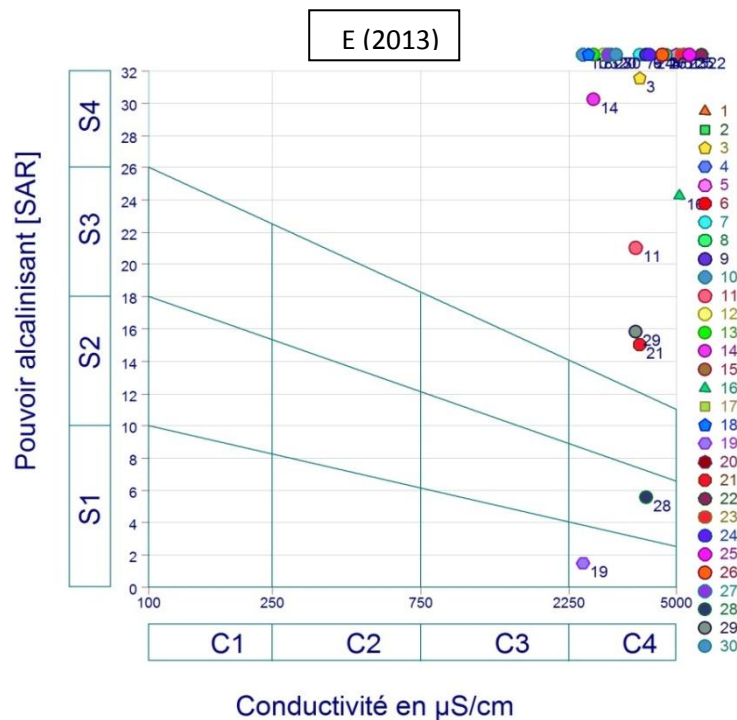


Figure (46) (E): Diagramme de Richards pour l'année Nov 2013.

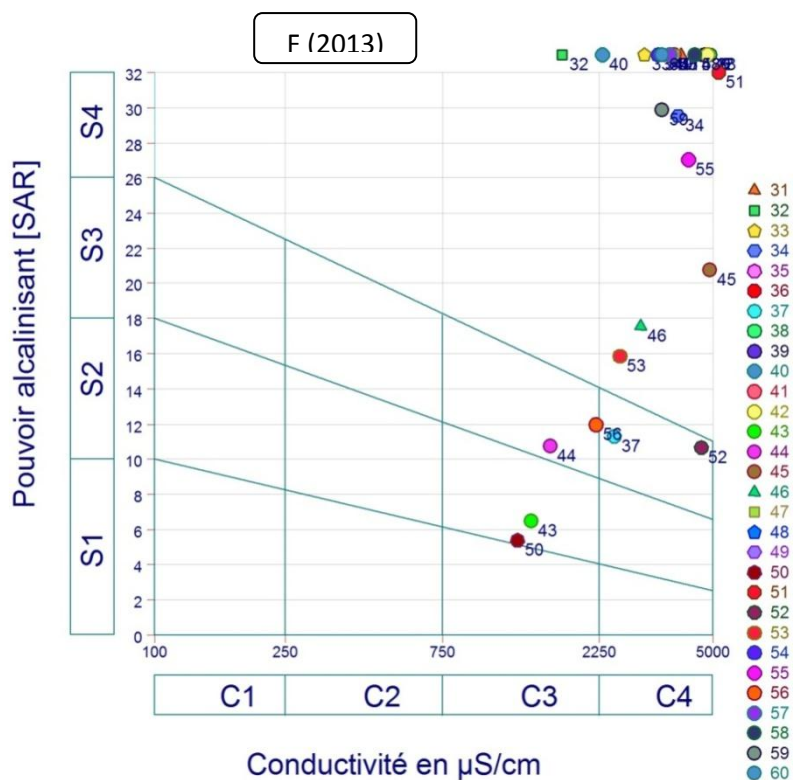


Figure (46) (F): Diagramme de Richards pour l'année Nov 2013.

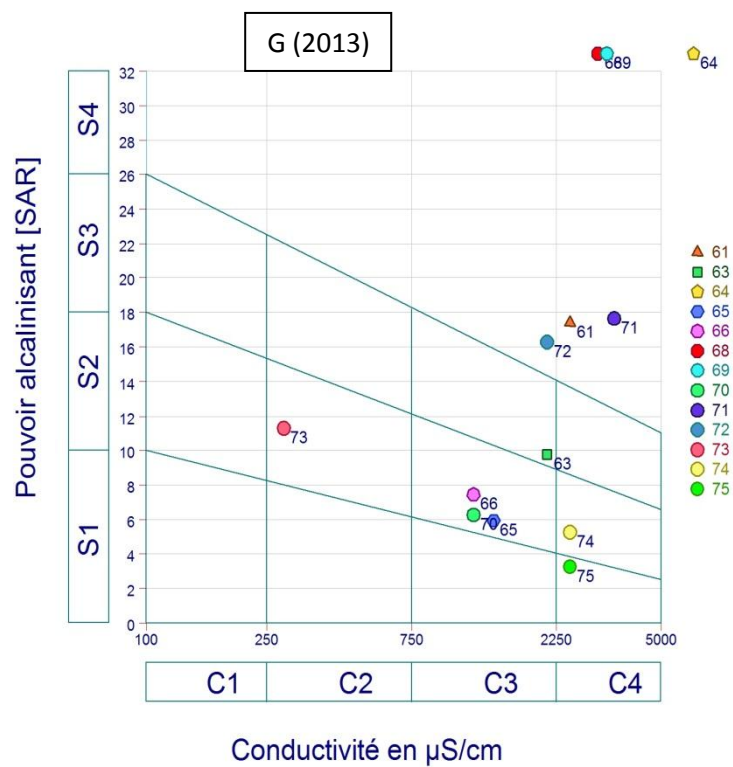


Figure (46) (E,F,G): Diagramme de Richards pour l'année Nov 2013.

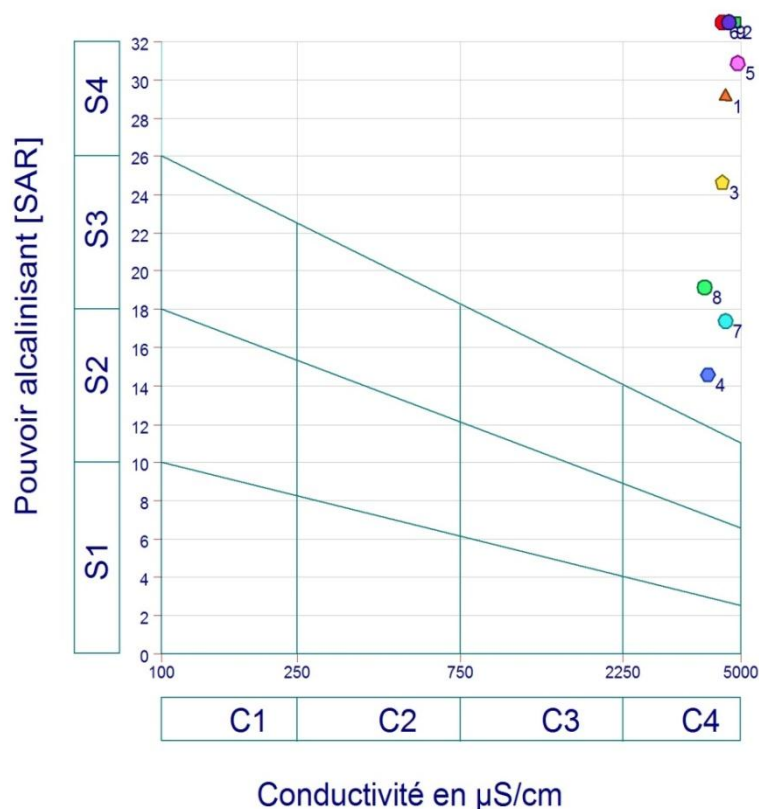


Figure (47): Diagramme de Richards pour l'année Oct 2016.

Nous observons que la majorité des eaux se situent dans la classe C4-S2, C4-S3, C4-S1 qui définit une eau de salinité très élevée (C4) qui ne convient pas à l'irrigation en conditions ordinaires. Ces eaux ne peuvent être utilisées que pour l'irrigation des sols perméables avec un bon drainage. A défaut de ces critères l'eau présente un danger d'alcalisation des sols à textures fines.

Tableau (16): Evolution des classes d'irrigation selon Richards.

Classe	Nov 2013	Oct 2016
C2-S2	1,36%	0%
C3-S2	6,84%	0%
C3S3	4,10%	0%
C4S1	2,73%	0%
C4S2	2,73%	0%
C4S3	2,73%	0%
C4S4	79,45%	100%

III -6-1 Classification des eaux par la méthode de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. La représentation des différents échantillons sur ce diagramme permet la caractérisation des eaux pour leur aptitude à l'irrigation (Figures 48 et 49) Le %Na⁺ est défini par la relation:

$$\text{Na}^+ \% = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{Na}^+ + \text{K}^+)$$

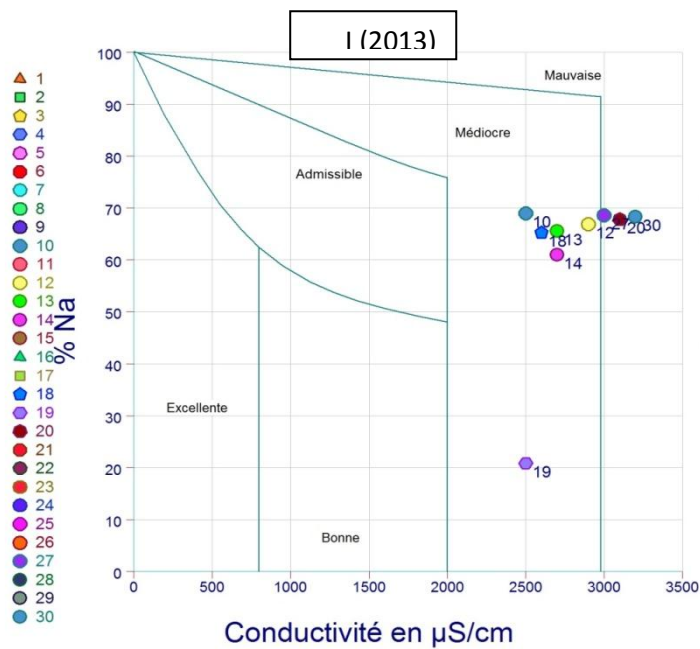


Figure 48 (I) : Diagramme de Wilcox pour l'année Nov 2013.

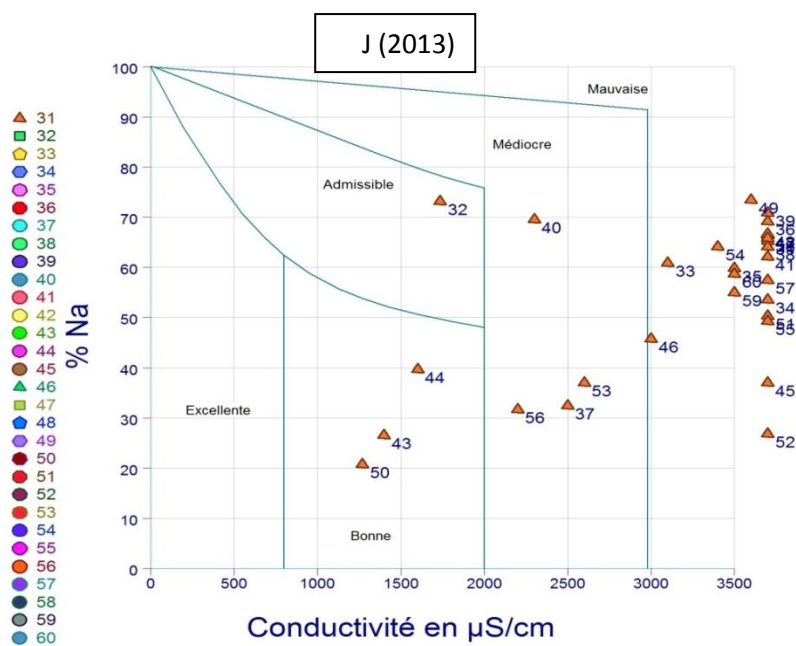


Figure 48 (J) : Diagramme de Wilcox pour l'année Nov 2013.

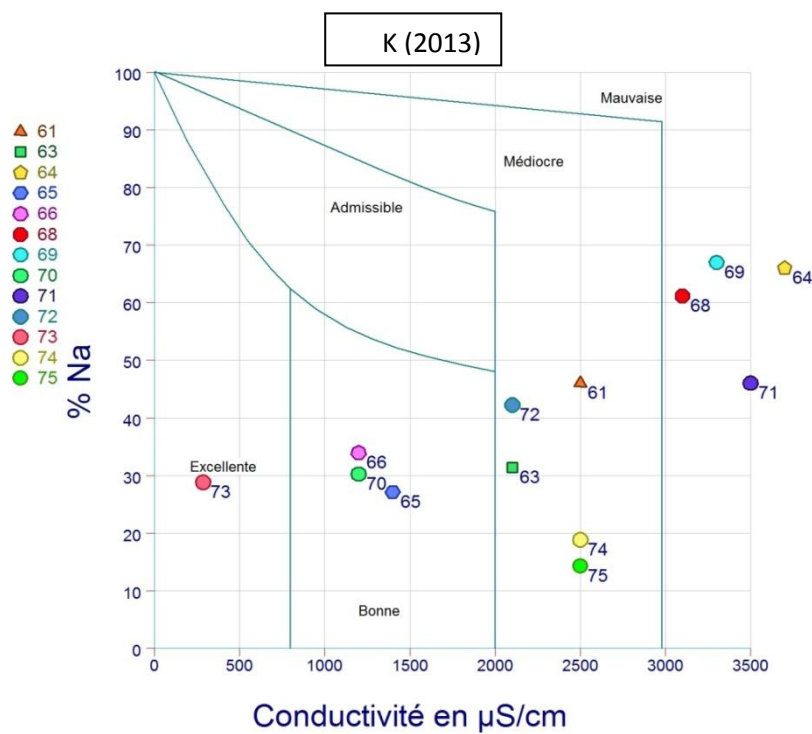


Figure 48 (K) : Diagramme de Wilcox pour l'année Nov 2013.

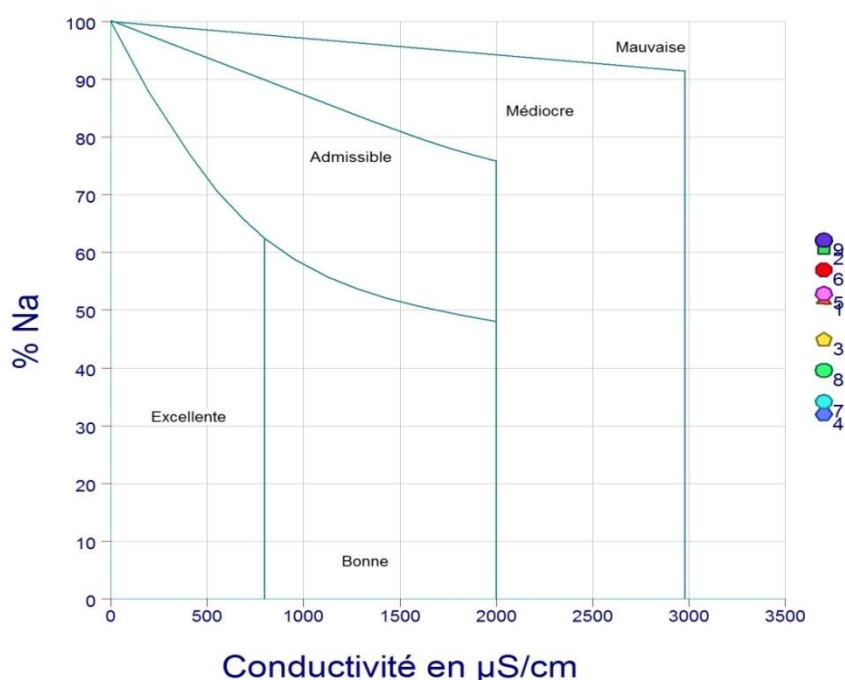


Figure 49 : Diagramme de Wilcox pour l'année Oct 2016.

Les diagrammes couvrant toute la période d'observation montrent que les eaux souterraines de la nappe notre région d'étude selon la classification de Wilcox, appartiennent aux cinq classes : Excellente, Bonne, Admissible, Médiocre et Mauvaise (Tableau 15).

Tableau (17) : Evolution des classes d'irrigation selon Wilcox.

Classe	Oct 2013	Nov 2016
Excellente	1,36%	0%
Bonne	8,28%	0%
Admissible	1,36%	0%
Médiocre	21,91%	0%
Mauvaise	67,12%	100%

La classe Excellente et Bonne regroupe les eaux qui sont faiblement minéralisées et se rencontre dans les régions Sud-est et Nord de la région d'étude (Chetma et Bouchegroun).

La classe Admissible et Médiocre regroupe les eaux plus minéralisées que celles des classes précédentes, elle se manifeste au centre et au Nord-est de la région (au niveau de Elhajeb, Sidi Okba et Chetma).

La classe Mauvaise regroupe les eaux qui se situent au centre et à l'Est de la plaine (au niveau de Biskra). Elle est la plus répandue dans la nappe (67.12 %).

En examinant les deux classifications d'aptitude des eaux à l'irrigation établies à l'aide des deux méthodes de Richards et Wilcox, nous remarquons qu'elles présentent presque la même distribution de la qualité.

III -6-2 Détermination de l'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI) :

La chimie des eaux souterraines est souvent utilisée comme un outil pour discriminer la qualité de l'eau potable et d'irrigation (Subba Rao 2006; Vasanthavigar et al., 2010). L'Indice de la qualité de l'eau (GWQI) est un paramètre important pour l'identification de la qualité de l'eau et de sa viabilité à l'irrigation (Subba Rao, 1997; Magesh et al 2013.). GWQI est défini comme une technique d'évaluation et de notation qui fournit l'influence composite individuelle de différents paramètres agissant sur la qualité globale de l'eau.

Trois étapes sont suivies pour calculer l'IQES. Dans la première étape chacun des paramètres a été attribué par un poids (w_i) en fonction de son rapport d'importance dans la qualité globale de l'eau destinée à l'irrigation. Un poids maximum de 5 a été attribué au paramètre nitrate en raison de son importance dans l'évaluation de la qualité de l'eau. Dans la deuxième étape, le poids relatif est calculé à partir de l'équation suivante :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Où W_i est le poids relatif, w_i est le poids de chaque paramètre et n est le nombre de paramètres. Les valeurs calculées de W_i sont données dans le tableau 17.

Dans la troisième étape, une échelle de notation (cote) de la qualité (q_i) pour chaque paramètre est assignée en divisant sa concentration par sa concentration standard respective fixée selon les lignes directrices énoncées dans la norme de l'OMS (2011). Et le résultat est multiplié par 100.

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100$$

Où C_i est la concentration de chaque paramètre chimique dans l'échantillon d'eau en mg/l, et S_i est la norme de l'eau (OMS) pour chaque paramètre chimique en mg/l.

Pour le calcul de l'IQES, le S_i est le premier déterminé pour chaque paramètre.

La somme des valeurs SI_i donne l'indice de qualité de l'eau pour chaque échantillon.

$$SI_i = W_i \times qi$$

$$WQI = \sum SI_i$$

SI_i est le sous-indice du paramètre i ème

qi est la notation basée sur la concentration du paramètre i ème

n le nombre de paramètres.

Tableau (18) : les poids relatifs des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Norme de l'OMS	Poids (w_i)	Poids relatif (W_i)
pH	6,5-9,5	4	0,13
Ca	100	2	0,06
Mg	50	1	0,03
Na	150	2	0,06
Cl	250	3	0,10
SO ₄	250	4	0,13
NO ₃	50	5	0,16
K	12	2	0,06
HCO ₃	250	3	0,10
CE	2500	4	0,13
		Total = 30	

L'indice de qualité des eaux souterraines a été classé dans le tableau suivant :

Tableau (19): Classification de la qualité des eaux souterraines selon GWQI




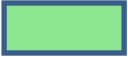






Classe	Indices de classes	Type d'eau
	< 50	Excellent
	50-65	Bon niveau d'eau 1
	65-85	Bon niveau d'eau 2
	85-100	Bon niveau d'eau 3
	100-125	Faible niveau d'eau 1
	125-135	Faible niveau d'eau 2
	135-150	Faible niveau d'eau 3
	150-165	Très faible niveau d'eau 1
	165-185	Très faible niveau d'eau 2
	185-200	Très faible niveau d'eau 3

Tableau (20) : Classification des points d'eau (Nov 2013)

Classe	Point d'eau	%
Excellent	03	4.10
Bon niveau d'eau 1	04	5.47
Bon niveau d'eau 2	13	17.8
Bon niveau d'eau 3	16	21.91
Faible niveau d'eau 1	24	32.87
Faible niveau d'eau 2	06	8.21
Faible niveau d'eau 3	03	4.10
Très faible niveau d'eau 1	02	2.73
Très faible niveau d'eau 3	02	2.73
$\Sigma = 73$		

Tableau (21) : Classification les point d'eau (Oct 2016)

Classe	Point d'eau	%
Bon niveau d'eau 2	01	11.11
Bon niveau d'eau 3	01	11.11
Faible niveau d'eau 1	04	44.44
Faible niveau d'eau 2	02	22.22
Faible niveau d'eau 3	01	11.11
$\Sigma = 09$		

III -6-3 La distribution spatiale de l'indice de la qualité de l'eau souterraine (GWQI) :

L'analyse de la carte de la répartition spatiale de GWQI a montré que, la partie Sud-est et une petite zone au Nord de la région d'étude est affectée par une bonne qualité ' excellente et Bon niveau d'eau 1 qui présente 8 % et respectivement de la surface totale de la plaine, 73 % ,11 % de la surface totale présente une qualité ' Bon niveau d'eau 2, Bon niveau d'eau 3 respectivement. Cela peut être dû au procédé de lixiviation et la dissolution effective de sel. Une concentration élevée de CE, chlorures, et sulfates, est la principale source de dégradation de la qualité de l'eau dans cette partie de la zone d'étude (Figures 50 et 51).

Concernant la carte spatiale de GWQI pour la période 2013, nous remarquons que la partie de l'extrémité du Nord-Ouest de la plaine montre une variation plus de 150 avec une mauvaise qualité de Très faible niveau d'eau 2 et Très faible niveau d'eau 3. L'indice varié entre 113 et 156 se situe dans la partie centrale et Sud-ouest de la région à la proximité de la ville des Biskra et Sidi Okba. Cette détérioration est due au lessivage des roches de Trias affleurant dans cette partie.

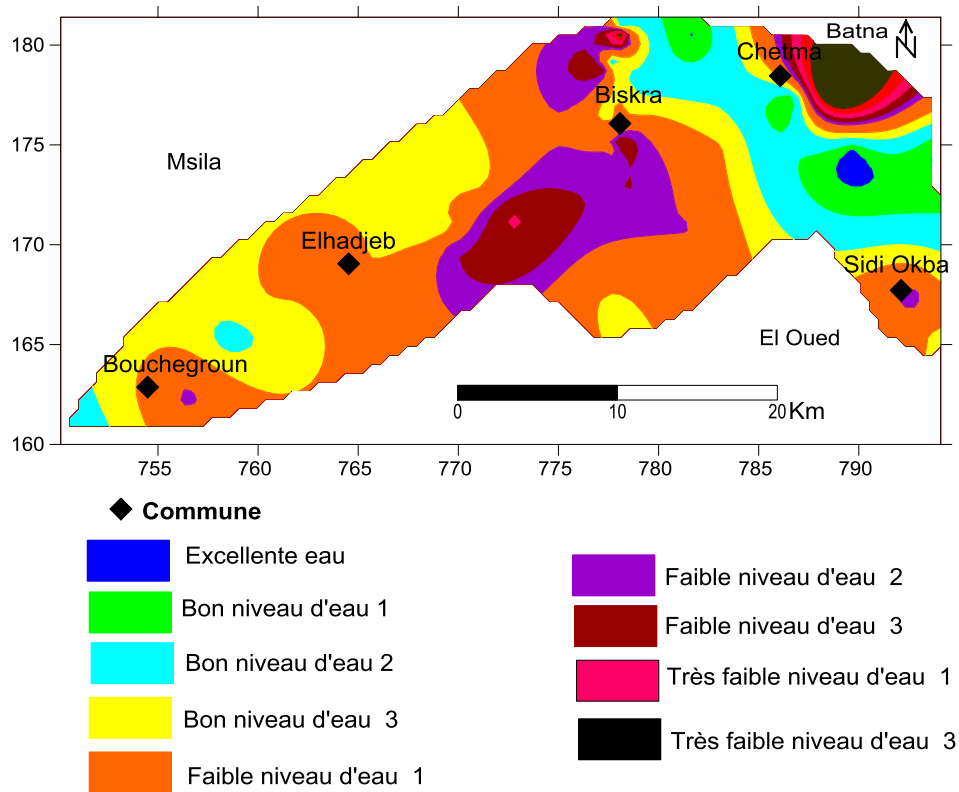


Figure (50) : Répartition spatiale de l'indice de qualité des eaux souterraines de la plaine de Biskra (Nov 2013)

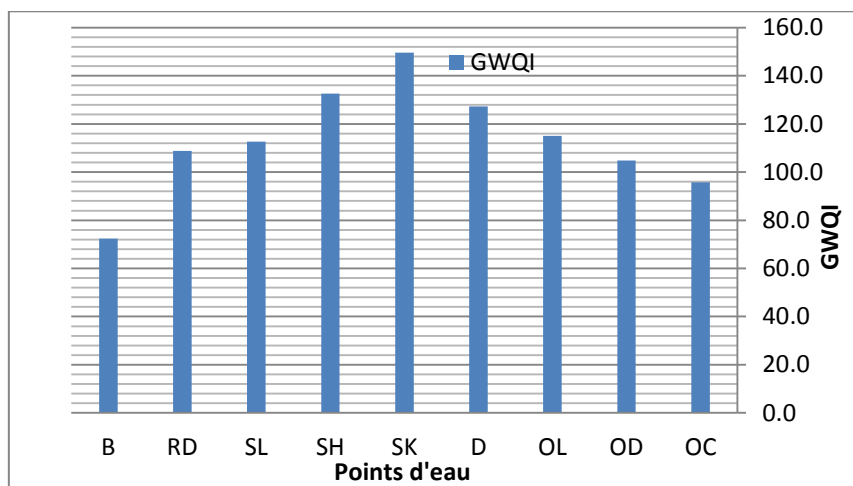


Figure (51) : Evolution de l'indice GWQI Oct 2016.

D'après l'interprétation de la carte de l'indice obtenue pendant la année (Nov 2013), nous constatons que les eaux souterraines de mauvaise et moyenne qualité caractérisent la majorité de la zone étudiée, la répartition de l'indice est caractérisée par bonne qualité pour la zone qui se localise au niveau de Boucheग्रoun, Elhadjab et Chetma de la région d'étude, le facteur principale peut être due à la dilution des éléments chimiques en suivant le sens d'écoulement.

III -7 Conclusion

A partir des prélèvements des 73 échantillons de Novembre 2013 et 09 échantillons de Octobre 2016 des eaux albiennes de la région de Biskra. Un certain nombre de paramètre on fait l'objet de mesures in situ et d'analyse au laboratoire.

Les différentes méthodes utilisées portent sur deux types de paramètres :

- Les paramètres physiques mesurés généralement sur terrain, il s'agit de la température, de la conductivité et du pH.
- Les paramètres chimiques, ce sont les ions : les cations (Ca, Mg, Na, K) et les anions (Cl, SO₄, HCO, NO₃). Dans le but d'interpréter aussi bien les résultats obtenus mais aussi établir l'évolution physicochimique, un traitement a été appliqué aux différents paramètres.
- Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de faciès chlorées et sulfatée calcique et magnésienne.
 - Pour l'irrigation, elles présentent des risques de salinité et parfois des dangers d'alcalinisation du sol ce qui exige des préventions avant l'utilisation.



**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La région de Biskra présente une morphologie propre au plateau saharien, il reste cependant qu'en profondeur la structure plissée de l'Atlas saharien se fait sentir. Il s'agit en effet d'une zone de transition entre un domaine d'aspect tectoniquement calme et une zone plissée à relief dominant qui forme une barrière ou une bordure d'âge essentiellement crétacé.

La présente étude s'est effectuée sur les eaux albiennes de la région d'Ouled Djellal et 73 points d'eaux réparti à travers la région d'étude, elle présente un réservoir très important bien distincte de part leur constitution lithologique, leur structure géologique et les facilités d'exploitation qu'ils présentent. Ce aquifères appartiennent à l'Albien.

Les résultats des analyses chimiques des eaux, révélant ce qui suit :

- Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.
- La composition chimique des eaux a connue une évolution caractérisée essentiellement par l'augmentation de la salinité suite à l'augmentation d'une façon générale des ions en particulier le Na, Ca, Mg, SO_4 et HCO_3
- L'évolution physicochimique montre que le chimisme est fortement lié à la lithologie de la nappe albienne, suite à la dissolution des formations évaporitiques ;
- L'évolution des éléments chimiques (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) caractérisent les formations géologiques principales de la région,

La classification des eaux selon Piper montre la dominance de faciès Chlorurée et Sulfatée calcique et magnésienne. Cette dominance de faciès est liée au contact eau roche selon la nature géologique de la région, puisque l'interaction entre l'eau et la roche provoque une dissolution.

L'hydrochimie a porté sur les aspects qualitatifs des eaux de la région. Dans notre travail, on s'est intéressé aux eaux de la zone d'étude.

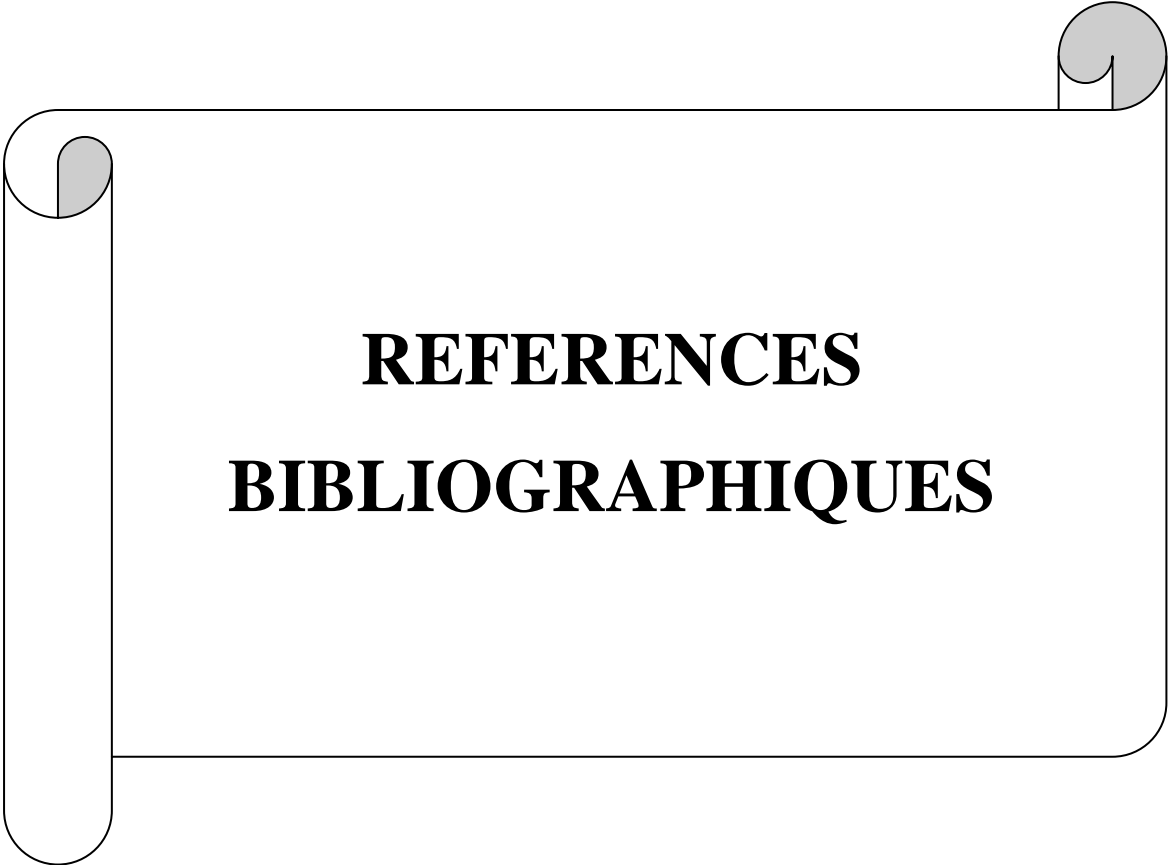
L'analyse de l'eau destinée à l'agriculture, montre que :

Après réalisation des diagrammes de Richards et Wilcox et GWQI nous avons pu remarquer que les eaux de la région d'étude, elles présentent des risques de salinité et parfois des dangers d'alcalinisation du sol ce qui exige des préventions avant l'utilisation.

En conclusion, quelques soit la destination prévue des eaux de la région d'étude, ces eaux demandent à être traitée (station de traitement) avant usage pour l'AEP. Concernant l'irrigation, ces eaux sont très minéralisées, et peuvent causer une forte salinisation des terres agricole.

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation de cette eau reste réserver uniquement pour quelques plantes résistant au sel tel que la luzerne, le blé, l'orge et les palmiers.



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - AGENCE DE BASSIN HYDROGRAPHIQUE SAHARA (ABHS) (2005).** Banque de données des forages de Chott Melghir (Wilaya de Biskra).
- 2 - AGENCE NATIONALE D'AMENAGEMENT DE TERRITOIRE (ANAT) (2003).** Schéma Directeur Des Ressources En Eau. Wilaya de Biskra, Dossier agro pédologique.
- 3 - AGENCE NATIONALE D'AMENAGEMENT DE TERRITOIRE (ANAT)(2003).** Schéma Directeur Des Ressources En Eau. Wilaya de Biskra, Rapport de synthèse. Phase II.
- 4 - AGENCE NATIONALE D'AMENAGEMENT DE TERRITOIRE (ANAT) (2003).** Schéma Directeur Des Ressources En Eau. Wilaya de Biskra, Les eaux souterraines et les potentialités en eaux superficielles.
- 5 - AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRIQUES (ANRH) (2008).** Inventaire des forages et enquêtes sur les débits extraits de la wilaya de Biskra. Biskra, Algérie.
- 6 - A.N.D.I (2015).** Agence Nationale de Développement de l'Investissement. Article Wilaya de Biskra.
- 7 - A.N.B.T.** Agence Nationale des Barrages et Transferts.
- 8 - BENHAMIDA S, FEDAL M, (2008).** Inventaire des points d'eau et enquêté sur les débits extraits de la wilaya de Biskra. Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques. Direction régionale Sud-Ouargla.
- 9 - BOUZIDI, M (2012).** Evaluation hydrochimique des eaux souterraines dans la région de Biskra; Cas de Oued Djeddi. Thème Université de Blida.
- 10 - BRINIS, N (2003).** Essai d'explication de la salinité des eaux de la nappe du mio-pliocène, cas de la zone est de la plaine d'El-Outaya Biskra ALGERIE. Mémoire de magister, Univ. Badji Mokhtar Annaba.
- 11 - CHABOUR, (2006).** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas Saharien et plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de Doctorat. Université de Mentouri Constantine.
- 12 - 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. Université de Mentouri Constantine.
- 13 - DIRECTION DES SERVICES AGRICOLES (DSA, 2008).** Direction des services agricoles de la wilaya de Biskra, Service des statistiques agricoles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 14 - FARHANI, H (2007).** Development of dispersive liquid–liquid microextraction combined with gas chromatography–mass spectrometry as a simple, rapid and highly sensitive method for the determination of phthalate esters in water samples, *Journal of Chromatography A*, 2007, 1172, p. 105-112.
- 15 - I.F.E.S (2005).** Icosium Forage Engineering Service.
- 16 - GOLDEN SOFTWARE, (2013).** Golden Software, Inc. 2013. Surfer 11 2013. <http://www.goldensoftware.com/products/surfer>.
- 17 - KHACHAI, S (2001).** Contribution à l'étude de comportement hydro physique des sols du périmètre de l'I.T.D.A.S (Ain Bennoui), plaine de l'Outaya. Thèse de Magister. Université de Batna.
- 18 - KRISHNA KUMAR, AL., (2011).** Hydrogeochemical study of shallow carbonate aquifers, Rameswaram Island, India. *Environ Monit Assess*. <http://10.1007/s10661-011-2249-6>.
- 19 - MESSAOUDI , AL. (1995).** Contribution à l'étude hydrogéologiques et la région de Biskra (zone de Biskra-Ourlal). Mémoire de fin d'étude, Université de Batna.
- 20 - Mémoire de fin d'étude.(2016).** Evolution physico-chimique des eaux albiennes dans la région d'Ouled Djellal. Université Mohamed Khaider Biskra.
- 21 - OSS, (2004).** Observation du Sahara et du Sahel. Etude sur modèle mathématique de la nappe de Biskra-Nord des Chotts. Première partie : Hydrogéologie et Modèle Conceptuel.
- 22 - SEDRATI, N (2011).** Origines et caractéristiques physico-chimique des eaux de la wilaya de Biskra-Sud est Algérie. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba.
- 23 - SUBBA RAO, (1997), MAGESH, AL (2013).** Groundwater quality in crystalline terrain of Guntur district, Andhra Pradesh, Visakhapatnam. *Journal of Science*, 2 (1) (1998), pp. 51–54
- 24 - SUBBA RAO (2006), VASANTHAVIGAR, AL., (2010).** N. Subba Rao .Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 49 (2006), pp. 413–429
- 25 - TOUATI B, (2010).** Les Barrages et la politiques hydraulique en Algérie, état, diagnostic, et prospective d'un aménagement durable. Thèse de Doctorat. Université de Mentouri Constantine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

26 - UNESCO, (1972). Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. Vol 5. Nappe du Continentale Intercalaire Vol 2. Complexe Terminal Vol 3.