

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Génie civil et hydraulique  
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم: الهندسة المدنية والري  
المرجع:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Doctorat en sciences en : HYDRAULIQUE**

Spécialité (Option) : Hydraulique urbaine et aménagement

**Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et  
superficielles de la région de Biskra**

Présentée par :

**Fattoum BOUCHEMAL**

Soutenue publiquement le : 18/05/2017

**Devant le jury composé de :**

Pr. GUERGAZI SAADIA	Professeur	Présidente	Université de Biskra
Pr. ACHOUR SAMIA	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. BOUDOUKHA ABDERRAHMANE	Professeur	Examineur	Université de Batna
Pr. CHAFFAI HICHEM	Professeur	Examineur	Université d'Annaba
Pr. DJEMILI LAKHDAR	Professeur	Examineur	Université d'Annaba
Pr. YUCEF LEILA	Professeur	Examineur	Université de Biskra

## ***Remerciements***

Avant tout je remercie Dieu tout puissant, de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.

Ce travail de recherche a été effectué au laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS), à l'Université Mohamed Khider de Biskra.

Je tiens tout particulièrement à témoigner ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Madame **Achour Samia**, Professeur à l'Université de Biskra, d'avoir accepté de me diriger, de m'avoir conseillée judicieusement, et de m'avoir orientée et encouragée tout au long de ce travail

C'est avec un grand plaisir que j'adresse mes remerciements à Madame **Guergazi Saadia**, Professeur à l'Université de Biskra, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider le jury.

Mes sincères remerciements vont également à Monsieur **Boudoukha Abderrahmane**, Professeur à l'Université de Batna, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'examiner ce travail.

J'exprime également mes remerciements les plus sincères à Monsieur **Chaffai Hichem**, Professeur à l'Université d'Annaba, d'avoir bien voulu examiner ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur **Djemili Lakhdar**, Professeur à l'Université d'Annaba, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.

Je tiens également à remercier Madame **Youcef Leila**, Professeur à l'Université de Biskra, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à notre Professeur Monsieur Achour Bachir, directeur du laboratoire LARHYSS ainsi qu'aux membres de l'équipe « Qualité et Traitement des Eaux »

Mes remerciements vont encore à :

- ✚ Tout le personnel de l'Algérienne Des Eaux (A.D.E) de la route de Chetma, en particulier le chef de service Monsieur **Khezani Ibrahim**.
- ✚ A Monsieur **Hellal Façel**, Directeur du l'Agence du Bassin Hydrographique du Sahara (ABHS) de la wilaya de Biskra.

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Pour l'esprit de mon père Immaculée*

*A ma mère*

*A mon Mari **Boulbadaoui Salim** pour tout le soutien et les encouragements qu'ils m'ont prodigué, mes frères et ma sœur et mes enfants **Mohammed El Habib** et **Naziha ala Errhmane**.*

*Aux chercheurs du Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides « CRSTRA », en particulier Madame la directrice **Lakhdari Fattoum**, la directrice adjointe Madame **Bouchahm Nora**, ainsi que les chercheurs Madame **Hecini Linda** et **Kherifi Ouahida**.*

*A mes collègues Monsieur **Ouakouak Abdelkader** et Madame **Rezeg Assia**.*

*A mes collègues au département d'Hydraulique et de Génie civil à l'Université d'El Oued, en particulier Monsieur le chef du département Monsieur **Khechana Salim** et Monsieur **Ghomri Ali**.*

*Je m'oublie pas, enfin d'exprimer ma profonde reconnaissance à :*

*A tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

## Résumé

L'objectif principal de ce travail est un diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra.

L'étude s'intéresse plus particulièrement à l'évaluation des eaux destinées à la consommation du fait de l'incidence de leur qualité sur la santé publique. La structure de la thèse est construite en partant de la description des ressources, de leur contexte géographique, climatique et hydrogéologique, des menaces de pollution qui pèsent sur elles, pour aboutir à une étude expérimentale de la qualité physico-chimique des eaux échantillonnées puis une synthèse sur les actions de préservation qu'il sera possible de mettre en œuvre pour fournir une eau potable au robinet du consommateur.

L'analyse de la qualité physico-chimique a concerné des échantillons prélevés à partir de 35 forages de différentes nappes aquifères exploitées dans la région utilisés pour l'alimentation en eau potable, et les échantillons prélevés des eaux de deux barrages (Fontaine des Gazelles et Foum El Gherza) destinées à l'irrigation des terres agricoles.

Pour les eaux souterraines, les résultats obtenus ont montré que l'eau de la nappe du Sénonien supérieur (Maestrichtien) a une meilleure qualité que celle des eaux des autres aquifères (Phréatique, Miopliocène, Eocène inférieur). Ceci concerne plus particulièrement le pH, la conductivité (minéralisation), la dureté totale ainsi que la concentration des éléments majeurs. Les eaux de barrages présentent une qualité différente de celle des eaux des nappes et sont globalement moins minéralisées. Elles sont cependant plus vulnérables à la pollution aussi bien organique que minérale. Les fortes concentrations en cadmium dans les eaux de barrages pourraient provenir d'effluents industriels.

L'étude des paramètres de pollution des eaux des nappes a mis en évidence qu'il y avait un excès dans la concentration des nitrates, du manganèse et de l'ammoniac. Cela peut probablement être dû à la proximité de terres agricoles ainsi que de zones industrielles dans le cas de quelques forages.

A cet effet, l'évaluation continue de la qualité des eaux est impérative et un traitement pour réduire la détérioration de la qualité des eaux et éliminer les problèmes de santé peut s'avérer nécessaire.

**Mots clés :** Diagnostic, ressources hydriques, eaux souterraines, eaux de barrages, minéralisation, pollution, région de Biskra.

## **Abstract**

The main objective of this work is a diagnosis of the quality of groundwater and surface water in the Biskra area.

The study focuses on the assessment of water intended for consumption because of the impact of quality on public health. The structure of the thesis is built starting from the description of resources, geographical, climatic and hydrogeological context and pollution threats to them.

It results in an experimental study of physico-chemical quality of the sampled water and then a synthesis of preservation actions it be possible to implement to provide potable water to the consumer's tap.

Analysis of the physico-chemical quality has involved samples from 35 boreholes in different aquifers exploited in the region, used for drinking water supply. Samples are also two water dams (Fontaine des Gazelles and Foug El Gherza) used for irrigation of agricultural land.

For groundwater, the results showed that the water of the ply of the upper Senonian (Maastrichtian) has a better quality than that of other water aquifers (Phreatic, Miopliocene, and Eocene). This concerns more particularly the pH, conductivity (mineralization), total hardness as well as the concentration of the major elements.

Water dams have a different quality from that of water aquifers and are overall less mineralized. However, they are more vulnerable to both organic and inorganic pollution. The high concentrations of cadmium in the dam water could come from industrial effluents.

The study of water pollution parameters of groundwater highlighted that there was an excess in the concentration of nitrate, manganese and ammonia. This can probably be due to the proximity of agricultural land as well as industrial areas in the case of some boreholes.

Therefore, continuous assessment of water quality is imperative and treatment to reduce deterioration of water quality and eliminate health problems may be necessary.

**Key words:** Diagnosis, water resources, groundwater, waters dams, mineralization, pollution, Biskra area.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تشخيص نوعية المياه الجوفية و السطحية في منطقة بسكرة.

تهتم هذه الدراسة على الخصوص بتقييم المياه الموجهة للشرب لما لها من تأثير على صحة الإنسان. تم بناء الأطروحة بالإعتماد على وصف الموارد المائية، جغرافية المنطقة، المناخ و الهيدرولوجية، و التلوث الذي يهدد هذه الموارد ، من أجل القيام بدراسة تجريبية لمعرفة النوعية الفيزيوكيميائية للعينات المأخوذة، و بعدها حوصلة للعمليات الممكنة للمحافظة على هذه الموارد من أجل توفير مياه صالحة للشرب للمستهلك.

شمل تحليل النوعية الفيزيوكيميائية للعينات المأخوذة من 35 منقب المتواجدة في طبقات مختلفة للمياه الجوفية الموجهة للشرب ، و عينات من مياه السدين ( منبع الغزلان و فم الغرزة ) المستعملة في ري الأراضي الزراعية.

بالنسبة للمياه الجوفية أظهرت النتائج أن نوعية مياه طبقة (المستريشيان) أفضل من نوعية مياه الطبقات الأخرى المدروسة ( الطبقة السطحية الميوليبوسان و اليوسان المنخفض) و هذا يتعلق على وجه الخصوص بدرجة الحموضة، الناقلية الكهربائية (التمعدن)، العسر الكلي و تركيز العناصر الرئيسية.

مياه السدين أظهرت نوعية مختلفة عن مياه الطبقات الجوفية و هي على العموم أقل تمعدن بالرغم من هذا فهذه المياه أكثر عرضة للتلوث العضوي أكثر منه للمعدني. التراكيز المرتفعة لعنصر الكادميوم في مياه السدود يمكن أن يكون مصدره هو النفايات الصناعية السائلة.

بينت دراسة عناصر التلوث لمياه الطبقات الجوفية أن هناك زيادة في تركيز النترات و المنغنيز و الامونياك و هذا راجع ربما كون هذه المياه قريبة من المناطق الزراعية و الصناعية بالنسبة لبعض الآبار.

ولهذا فإن التقييم المستمر لنوعية المياه بات أمرا حتميا ومعالجة هذه المياه للحد من تدهور نوعيتها و القضاء على المشاكل الصحية يبدو امرا ضروريا.

**الكلمات المفتاحية:** تشخيص ، الموارد المائية، المياه الجوفية ، مياه السدود، التمدن، التلوث، منطقة بسكرة.

## Sommaire

---

Introduction générale.....	01
<b>Partie Bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Données relatives à la région de Biskra</b>	
I.1. Introduction .....	04
I.2. Présentation de la wilaya de Biskra .....	04
I.2.1. Présentation administrative .....	04
I.2.2. Localisation géographique de la wilaya de Biskra .....	05
I.3. Contexte géographique .....	06
I.3.1. Le relief .....	06
I.3.2. Le réseau hydrographique .....	07
I.4. Le contexte climatologique .....	09
I.4.1. Données climatologiques pour la région de Biskra .....	10
I.4.1.1. Les vents .....	10
I.4.1.2. L'humidité relative de l'air .....	10
I.4.1.3. L'ensoleillement .....	10
I.4.1.4. Les Précipitations .....	10
I.4.1.5. Les Températures .....	11
I.4.2. Synthèse climatique .....	11
I.4.2.1. Diagramme pluviothermique .....	12
I.4.2.2. Régime Climatique (Indice de DEMARTONNE) .....	12
I.5. Le contexte géologique .....	14
I.6. Le contexte hydrogéologique .....	17
I.6.1. Le Continental Intercalaire .....	18
I.6.2. Le Complexe Terminal .....	19
I.6.2.1. Les nappes superficielles .....	22
I.6.2.2. La nappe des sables .....	22
I.6.2.3. La nappe des calcaires .....	23
I.6.2.4. La nappe du Continental Intercalaire .....	23
I.7. Contexte socio-économique.....	24
I.7.1. Population .....	24
I.7.2. Agriculture .....	24
I.7.3. Industries .....	25
I.7.4. Tourisme .....	25
I.7.5. Santé .....	26
I.7.6. Ressources en eau.....	26
I.7.7. Réseau d'alimentation en eau potable et réseau d'assainissement .....	26
I.8. Conclusion.....	27
<b>Chapitre II : Les Ressources en eau –Etat des lieux</b>	
II.1. Introduction.....	28

II.2. Contexte des ressources hydriques algériennes .....	28
II.2.1. Potentialités globales en ressources souterraines et superficielles .....	29
II.2.1.1. Les ressources superficielles .....	30
II.2.1.2. Les ressources souterraines .....	31
a. Les ressources souterraines du Nord algérien. ....	31
b. Les ressources souterraines du Sahara Septentrional.....	31
II.2.1.3. Les eaux non conventionnelles .....	33
a. Dessalement de l'eau de mer .....	33
b. Déminéralisation des eaux saumâtres .....	34
c. Réutilisation des eaux usées épurées .....	35
II.2.2. Mobilisation des eaux en Algérie .....	36
II.2.3. Gestion des ressources hydriques .....	37
II.3. Les ressources hydriques dans la région de Biskra .....	40
II.3.1. Ressources en eau souterraines .....	40
II.3.1.1. Les nappes superficielles .....	42
II.3.1.2. La nappe des sables .....	42
II.3.1.3. La nappe des calcaires .....	43
II.3.1.4. La nappe Albienne .....	45
II.3.2. Besoins théoriques en eau potable .....	45
II.3.3. Les superficies irriguées dans la wilaya de Biskra .....	45
II.3.4. Ressources en eau superficielles .....	46
II.3.4.1. Caractéristiques du bassin versant .....	47
1. Bassin versant d'Oued Djeddi. ....	48
2. Bassin versant d'Oued Biskra .....	48
3. Bassin versant d'Oued L'Abiod .....	48
II.3.4.2. Potentiel des eaux de surface .....	49
1. Barrage Foum El Gherza . ....	49
2. Barrage Fontaine des Gazzelles .....	50
II.3.5. Contraintes et enjeux .....	51
II.4. Conclusion.....	52
<b>Chapitre III: Données sur la qualité des eaux de la région de Biskra</b>	
III.1. Introduction.....	53
III.2. Rappel bibliographique sur les paramètres de qualité physico-chimiques et biologiques des eaux naturelles .....	53
III.3. Quelques données sur la qualité des eaux de la région d'étude .....	54
III.3.1. Contexte des eaux Algériennes .....	54
III.3.2. Contexte des eaux du Sahara Septentrional .....	57
III.3.3. Travaux sur la qualité des eaux de la région de Biskra.....	59
III.3.3.1. Potabilité des eaux .....	61
III.3.3.2. Les problèmes de pollution .....	61
a. Pollution chimique .....	61
b. Pollution microbiologique .....	62
III.3.3.3. Pollution des eaux en Algérie.....	62
III.3.3.4. Pollution des eaux dans la wilaya de Biskra.....	64

III.3.4. Les maladies à transmission hydrique .....	68
III.4. Conclusion.....	72
<b>Partie Expérimentale</b>	
<b>Chapitre I: Procédure expérimentale</b>	
I.1. Introduction.....	74
I.2. Choix du site de prélèvement .....	74
I.3. Echantillonnage .....	74
I.3.1. Techniques d'échantillonnage .....	74
I.3.2. Transport et conservation au laboratoire .....	75
I.4. Moyens et méthodes d'analyses .....	75
I.4.1. Mesure in situ .....	75
I.4.2. Mesure au laboratoire .....	76
I.4.2.1. Le pH .....	76
I.4.2.2. La dureté .....	76
I.4.2.3. Dosage de Calcium et Magnésium .....	76
I.4.2.4. Titre alcalimétrique .....	77
I.4.2.5. Les Chlorures .....	77
I.4.2.6. Les Sulfates .....	77
I.4.2.7. Sodium et Potassium .....	78
I.4.3. Dosage de la matière organique.....	79
I.4.3.1. Détermination des substances humiques .....	79
I.4.3.2. Oxydabilité au $\text{KMnO}_4$ .....	80
I.4.4. Dosage d'autres éléments minéraux .....	80
I.5. Logiciels .....	81
I.5.1. Diagrammes .....	81
I.5.1.1. Diagramme de Piper .....	81
I.5.1.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff .....	81
I.5.2. Logiciel Surfer 9 .....	81
I.5.3. XL STAT. ....	82
I.6. Conclusion.. .....	82
<b>Chapitre II: Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines</b>	
II.1. Introduction .....	83
II.2. Etude de la variation des paramètres physico- chimiques mesurés.....	84
a. La Température .....	84
b. Le potentiel d'Hydrogène (pH) .....	84
c. La Conductivité électrique .....	85
d. Minéralisation totale .....	87
1. Nappe Phréatique .....	88
2. Nappe du Miopliocène .....	88

3. Nappe du l'Eocène inférieur .....	89
4. Nappe du Maestrichtien .....	90
e. La dureté totale .....	91
II.2.1. Les éléments majeurs .....	92
a. Les cations .....	92
1. Nappe Phréatique .....	93
2. Nappe du Miopliocène .....	94
3. Nappe du l'Eocène inférieur .....	95
4. Nappe du Maestrichtien .....	96
b. Les anions .....	97
1. Nappe Phréatique .....	97
2. Nappe du Miopliocène .....	98
3. Nappe du l'Eocène inférieur .....	98
4. Nappe du Maestrichtien .....	99
II.2.2. Origine des différents éléments dominants dans les eaux .....	99
II.2.3. Faciès chimique .....	102
1. Nappe Phréatique .....	102
2. Nappe du Miopliocène .....	104
3. Nappe du l'Eocène inférieur .....	105
4. Nappe du Maestrichtien .....	106
II.3. Etude de paramètres de pollution .....	108
1. Nappe Phréatique .....	108
2. Nappe du Miopliocène .....	109
3. Nappe du l'Eocène inférieur .....	110
4. Nappe du Maestrichtien .....	111
II.4. Analyse en composantes principales (ACP).....	115
II.5. Présence du Fluor dans les eaux de la région .....	117
II.6. Conclusion.....	118
<b>Chapitre III: Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux superficielles</b>	
III.1. Introduction.....	120
III.2. Mode de prélèvement .....	121
III.3. Etude de la variation des paramètres physico- chimiques mesurés .....	121
III.3.1. Paramètres physiques .....	121
III.3.1.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH) .....	121
III.3.1.2. La Température .....	121
III.3.1.3. La Conductivité .....	121
III.3.1.4. La Turbidité .....	122
III.3.2. Paramètres chimiques .....	122
III.3.2.1. La dureté .....	122
III.3.2.2. Les éléments majeurs .....	122
1. Les cations .....	122

2. Les anions .....	123
III.3.3. Paramètres de pollution .....	124
a. Matière organique .....	124
b. Polluants minéraux .....	126
III.4. Faciès chimique .....	128
III.5. Conclusion .....	129
<b>Chapitre IV: Synthèses, perspectives et orientations</b>	
IV.1.Introduction .....	131
IV.2.Synthèse sur les problèmes de qualité des eaux de la région .....	131
IV.2.1. Etat des ressources en eau dans la wilaya .....	131
IV.2.2. Facteurs de dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution.....	132
IV.3. Solutions préconisées et orientations futures .....	132
IV.3.1. Solutions préventives .....	132
IV.3.2. Solutions en Aval .....	134
IV.4.Conclusion .....	136
<b>Conclusion générale</b> .....	137
<b>Références bibliographiques</b> .....	142
<b>Annexe</b>	

## Liste des figures

N°	Titre	page
01	Situation de la Wilaya de Biskra .....	05
02	Limites administratives de la Wilaya .....	06
03	Carte du milieu physique de la Wilaya de Biskra .....	07
04	Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra .....	08
05	Le diagramme Ombrothermique de la station (ONM) période (1988/2010) .....	12
06	Abaque de l'indice d'aridité de DEMARTONNE .....	13
07	Esquisse géologique de la région de Biskra .....	16
08	Log litho-stratigraphique synthétique de la région de Biskra .....	17
09	Extension des formations du système Aquifère du Sahara Septentrional .....	20
10	Carte des points d'eau du CI et CT en Algérie.....	21
11	Coupe Hydrogéologique dans la région de Biskra .....	22
12	Quelques exemples des barrages réalisés en Algérie .....	30
13	Les prélèvements dans les nappes des régions sahariennes .....	32
14	Quelques stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie .....	34
15	Etude d'actualisation du plan national de l'eau (ressources exploitables en Hm <sup>3</sup> ) dans le Bassin du Chott Melghir .....	39
16	Les codes des 17 bassins versants .....	39
17	Répartition d'eau soutirée par nappe dans le Bassin du Chott Melghir .....	40
18	Répartition des volumes souterrains par wilaya dans le Bassin du Chott Melghir .....	41
19	Volume d'eau soutiré de la wilaya de Biskra .....	41
20	Carte de différence de niveaux piézométrique dans la nappe du Miopliocène (entre 2006 et 2010) .....	43
21	Carte de différence de niveaux piézométrique dans la nappe de l'Eocène inférieur (entre 2006 et 2010) .....	44
22	Les proportions du volume mobilisé dans le Bassin .....	45
23	Superficie irriguée par type des cultures dans la wilaya de Biskra .....	46
24	Carte de la situation géographique du bassin versant de Chott Melghir .....	47
25	Barrage Foum El Gherza .....	50
26	Barrage Fontaine des Gazzelles .....	51
27	Diagramme de Piper- Nappe Phréatique-Région de Biskra .....	59
28	Diagramme de Piper- Nappe de Miopliocène -Région de Biskra .....	60
29	Diagramme de Piper Nappe Eocène inférieur-Région de Biskra .....	60
30	Diagramme de Piper Nappe de l'Albien-Région de Biskra .....	60
31	Carte de vulnérabilité d'après la méthode DRASTIC .....	65
32	Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'A.E.P de la nappe des sables .....	66
33	Carte des nitrates des eaux souterraines d'El Ghrous en 2011 .....	67
34	Evolution annuelle des maladies à transmission hydrique à Biskra (2000-2012) .....	72
35	Quelques points de prélèvements des forages testés .....	75
36	Courbe d'étalonnage du potassium .....	79
37	Courbe d'étalonnage du sodium .....	79
38	Corrélation entre teneurs en SH ajoutées et absorbance en UV 254 nm pour Les eaux de barrages de la région de Biskra .....	80
39	Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe Phréatique de Biskra .....	88
40	Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe du Miopliocène de Biskra .....	89
41	Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe de l'Eocène inférieur de Biskra..	90

<b>42</b>	Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe du Maestrichtien de Biskra .....	91
<b>43</b>	Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) en (mg/l) dans la nappe Phréatique .....	93
<b>44</b>	Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) en (mg/l) dans la nappe du Miopliocène .....	94
<b>45</b>	Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) en (mg/l) dans la nappe de l'Eocène inférieur .....	95
<b>46</b>	Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) en (mg/l) dans la nappe du Maestrichtien.....	96
<b>47</b>	Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) dans la nappe Phréatique .....	97
<b>48</b>	Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) dans la nappe du Miopliocène .....	98
<b>49</b>	Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) dans la nappe de l'Eocène inférieur .....	98
<b>50</b>	Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) dans la nappe du Maestrichtien .....	99
<b>51</b>	Diagramme de piper-Nappe Phréatique .....	103
<b>52</b>	Diagramme de Schoeller -Nappe Phréatique .....	103
<b>53</b>	Diagramme de piper-Nappe du Miopliocène .....	104
<b>54</b>	Diagramme de Schoeller- Nappe du Miopliocène .....	105
<b>55</b>	Diagramme de piper-Nappe de l'Eocène inférieur .....	105
<b>56</b>	Diagramme de Schoeller- Nappe de l'Eocène inférieur .....	106
<b>57</b>	Diagramme de piper-Nappe du Maestrichtien .....	107
<b>58</b>	Diagramme de Schoeller- Nappe du Maestrichtien .....	107
<b>59</b>	Variation des paramètres de pollution dans la nappe Phréatique .....	108
<b>60</b>	Variation des paramètres de pollution dans la nappe du Miopliocène .....	109
<b>61</b>	Variation des paramètres de pollution dans la nappe de l'Eocène inférieur .....	110
<b>62</b>	Variation des paramètres de pollution dans la nappe du Maestrichtien .....	111
<b>63</b>	ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution organique dans l'eau. Cercle de corrélation et projection des variables .....	115
<b>64</b>	Variation de la concentration en cations ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ) dans les barrages de Biskra .....	123
<b>65</b>	Variation de la concentration en anions ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) dans les barrages de Biskra .....	124
<b>66</b>	Variation des paramètres de pollution dans les deux barrages ( $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{Br}^-$ ) .....	126
<b>67</b>	Variation des paramètres de pollution dans les deux barrages ( $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{NH}_4^+$ ) .....	127
<b>68</b>	Diagramme de piper-Barrage Fontaines des gazelles et Foug El Gherza .....	128
<b>69</b>	Diagramme de Schoeller Barrage Fontaines des gazelles et Foug El Gherza .....	129

## *Liste des tableaux*

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Caractéristiques des bassins versants dans la région d'étude .....	09
<b>02</b>	Température moyennes mensuelles en °C à la station de Biskra .....	11
<b>03</b>	Les valeurs des principaux paramètres de la qualité de l'eau dans quelques barrages exploités en Algérie .....	55
<b>04</b>	Analyses physico-chimiques de quelques eaux souterraines algériennes .....	56
<b>05</b>	Analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région Orientale du Sahara Septentrional Algérien .....	58
<b>06</b>	Caractéristiques des substances humiques étudiées .....	79
<b>07</b>	Corrélation entre teneurs en SH ajoutées et absorbance en UV à 254 nm .....	80
<b>08</b>	Variation de la température (°C) selon les nappes .....	84
<b>09</b>	Variation du pH selon les nappes .....	85
<b>10</b>	Variation de la conductivité totale ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) selon les nappes .....	86
<b>11</b>	Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité mesurée à 20°C .....	87
<b>12</b>	Variation de la dureté totale (°F) selon les nappes .....	92
<b>13</b>	Variation du titre alcalimétrique complet (TAC) en (°F) selon les nappes .....	92
<b>14</b>	Matrice de corrélation entre les variables en utilisant (ACP)	116
<b>15</b>	Paramètres organiques des eaux testées .....	125

## Liste des abréviations

**ABHCSM** : Agence de **Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue**.

**ABHS** : Agence de **Bassin Hydrographique du Sahara**.

**ACP** : **Analyse en Composantes Principales**.

**ADE** : **Algérienne Des Eaux**.

**AEP** : **Alimentation en Eau Potable**.

**A.E.S** : **Agence de l'Eau Seine**.

**ANAT** : **Agence Nationale d'Aménagement du Territoire**.

**ANBT** : **Agence Nationale des Barrages et du Transfert**.

**ANDI** : **Agence Nationale de Développement de l'Investissement**.

**ANIRF** : **Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière**.

**ANRH** : **Agence Nationale des Ressources Hydriques**.

**BRL** : **Bureau de la Région du bas Rhône et du Lagu**.

**CDTN** : **Centre de Développement des Techniques Nucléaires**.

**CI** : **Continente Intercalaire**.

**CT** : **Complexe Terminal**.

**DHW** : **Direction de l'Hydraulique de Wilaya**.

**DPAT** : **Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire**.

**ERESS** : **Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional**.

**INRAA** : **Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie**.

**JORA** : **Journal Officiel de la République Algérienne**.

**MRE** : **Ministère des Ressources en Eau**.

**MSTP** : **Mission Scientifique Technique et Pédagogique**.

**MTH** : **Maladies à Transmission Hydrique**.

**OMS** : **Organisation Mondiale de la Santé**.

**ONM** : **Office National de Météorologie**.

**OSS** : Observation du Sahara et du Sahel.

**PDARE** : Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau.

**PNE** : Plan Nationale de l'Eau.

**PNUD** : Programme des Nations Unis pour le Développement.

**SASS** : Système Aquifère du Sahara Septentrional.

**STEP** : Station d'Épuration.

# Introduction générale

---

## Introduction générale

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel et doit être protégée, défendue et traitée comme tel **(DEVAUX, 1999 ; ECOSSE, 2001)**

Elle est une ressource vitale pour l'homme, sa survie, sa santé, son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Elle est très inégalement répartie sur la planète. Tous les pays auront, à court ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction **(METAHRI, 2012)**.

La problématique de l'eau est liée au développement durable où l'eau doit permettre de répondre aux besoins actuels des citoyens et aussi des besoins futurs pour les générations futures. L'accroissement des populations et le développement des agglomérations, le développement des unités industrielles et une grande activité agricole entraînant un accroissement des besoins en eau et une dégradation de la qualité des ressources **(BAALI et al ; 2007)**

Ce problème est donc l'une des questions essentielles, difficiles et urgentes, qui demandent de faire des prévisions à long terme de la demande. Par son rôle d'interface vitale entre la biosphère, l'homme et l'environnement, et de son caractère pratiquement non renouvelable à l'échelle des générations humaines, l'eau constitue un patrimoine dont la gestion durable doit s'imposer comme une préoccupation essentielle. La connaissance de ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion **(BONNARD and GARDEL, 2001)**.

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau **(AZIZ, 2014)**.

L'implantation de zones urbaines, accompagnées des zones industrielles et un développement accru de l'activité agricole, a été la cause d'une dégradation de la ressource en eau, tant sur le plan quantitatif que celui de la qualité **(LARBES, 2005)**.

En Algérie, comme partout dans le monde, les activités industrielles et métallurgiques, rejettent dans l'environnement une grande variété d'éléments traces. Tous ces facteurs anthropiques rendent les eaux souterraines très vulnérables au phénomène de la pollution. Les activités agricoles, minières et industrielles de l'homme moderne génèrent des déchets chargés en éléments polluants **(FRIOUA, 2014)**.

# Introduction générale

---

L'accumulation de ces éléments dans les formations superficielles (sols et sédiments) en teneurs élevées, entraîne automatiquement grâce aux phénomènes qui accompagnent l'infiltration des eaux de pluie et superficielles, la contamination des eaux souterraines **(BERAUD, 2001)**

Dans la wilaya de Biskra, les eaux souterraines constituent la première source pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation et ces ressources sont parfois exploitées d'une manière irrationnelle. En contrepartie, la demande en eau est sans cesse croissante. Les contraintes importantes liées à la ressource en eau proviennent surtout d'une gestion actuelle avec diverses lacunes. Il faut ainsi noter les forts rabattements des niveaux hydrostatiques et les chutes de pression observés sur les nappes autour de certains grands centres urbains et aires d'irrigation **(ANAT, 2003)**.

Dans le cadre de cette étude, l'objectif est de réaliser une mise au point sur la qualité des eaux dans la région de Biskra et en donner une image plus précise.

La structure de la thèse sera construite en partant de différentes données collectées auprès des services concernés mais qui ont fait néanmoins l'objet d'une synthèse. Bien que ponctuelles ou souvent non exhaustives, les études antérieures sur le même thème peuvent également servir de base à la compréhension de l'état des lieux de cette région.

Cependant, le travail présenté au cours de cette thèse s'appuie dans sa grande majorité sur les résultats de nos campagnes d'échantillonnage et d'analyses des eaux de la région de Biskra.

Les eaux prélevées concernent différents niveaux aquifères des nappes ainsi que les eaux de barrages de la région. La qualité physico-chimique des eaux est évaluée par la détermination de paramètres analytiques globaux et de paramètres indicateurs de pollution. Les résultats obtenus sont ensuite exploités et interprétés.

Le plan de la thèse est alors organisé en plusieurs étapes. Après une introduction générale qui présente essentiellement la problématique de l'étude et les étapes de travail, sept chapitres composent la thèse.

La partie bibliographique a été développée à travers trois chapitres, et la partie expérimentale sur quatre chapitres.

# Introduction générale

---

Le premier chapitre de la première partie a pour but de faire une synthèse sur les données relatives à la région d'étude, une description du contexte géographique et du contexte géologique, l'hydrogéologie qui doit être bien déterminée pour mieux définir les ressources en eau. Nous nous intéresserons enfin brièvement à l'étude du contexte socio-économique de la wilaya de Biskra.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des ressources hydriques en Algérie puis dans la région d'étude. Notre intérêt s'est porté sur les potentialités en eaux de surface (les deux barrages exploités dans la wilaya), ainsi que les ressources souterraines et notamment les différents aquifères existants.

Le troisième chapitre a pour objectif une synthèse des données collectées sur des études antérieures sur la qualité des eaux de la région de Biskra, en insistant sur la qualité globale des eaux dans la région soit d'ordre chimique ou bien du point de vue microbiologique.

La partie expérimentale est développée en étudiant la qualité physico-chimique globale dans un temps et les paramètres de pollution dans un autre temps.

Le premier chapitre de cette partie est une description du protocole expérimental, les différentes méthodes analytiques utilisées ainsi que les logiciels utilisés pour l'exploitation des résultats.

Le deuxième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats relatifs aux eaux souterraines (Nappe Phréatique ; Nappe des sables ; la Nappe du l'Eocène Inférieur et celle du Maestrichtien). Nous étudions d'abord les paramètres physiques et les paramètres chimiques. Nous avons tracé les graphiques pour la classification des eaux et la détermination des faciès chimiques. L'étude des paramètres de pollution est abordée car très importante pour la détermination de la qualité voire l'aptitude de ces eaux à l'alimentation en eau potable.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la qualité des eaux superficielles des deux barrages de la région de Biskra (Foum El Gherza et Fontaine des Gazelles).

Le quatrième chapitre est une synthèse sur les problèmes de la qualité des eaux dans la wilaya et leur situation à travers les projets réalisés surtout en ce qui concerne la dégradation de la qualité des eaux dans le réseau de distribution et enfin les solutions préconisées et les orientations futures.

Le présent travail se termine par une conclusion générale où sont récapitulés les principaux résultats obtenus puis la liste des références bibliographiques utilisées.

## I.1. Introduction

La région de Biskra constitue une des zones les plus franches de transition entre les domaines atlasiques montagneux et plissés du Nord (Algérie méditerranéenne) et les étendues plates et désertiques du Sahara septentrional au Sud (Algérie Saharienne).

Deux domaines très contrastés, tant du point de vue géomorphologique que géologique, sont séparés par l'accident Sud atlasique ou flexure Saharienne des anciens auteurs.

Elle est formée d'un ensemble de bassin et (ou) sous bassin aligné presque parallèlement Nord-Sud.

La partie Nord de la région se présente sous la forme d'une chaîne, grossièrement, orientée Nord-Est-Sud-Ouest : l'atlas Saharien qui inscrit dans son prolongement oriental le massif de l'Aurès culminant à 2328 m; le relief est de type jurassien et se présente sous la forme de plis courts et espacés, tantôt creusés par de profondes combes de flanc, tantôt festonnés de chevrons sous l'effet de l'attaque du ruissellement (**CHEBBAH, 2007**).

## I.2. Présentation de la Wilaya de Biskra

### I.2.1. Présentation administrative

La wilaya de Biskra est issue du découpage administratif de 1974 et comprend actuellement douze daïras et trente trois communes. Les douze daïras sont : Biskra, Sidi Okba, Tolga, Foughala, Ourlel, Sidi Khaled, Ouled Djellal, M'chounech, El Kantara, El Outaya, Zeribet El-Oued et Djemorah (**ANAT, 2003**).Elles sont divisées comme suit :

- ✓ Biskra : Biskra – El Hadjeb ;
- ✓ Djamourah : Djamourah- Branisse ;
- ✓ El-Kantara : El-Kantara- Aïn Zaatout ;
- ✓ M'Chounech : M'Chounech ;
- ✓ Sidi-Okba : Sidi-Okba- Chetma- El Haouch- Aïn Naga ;
- ✓ Zeribet El-Oued : Zeribet El-Oued- El Mizaraa- El Feidh- Khenguët Sidi Nadji ;
- ✓ Ourlel : Ourlel- Lioua- Oumache- Mekhadma- M'Lili ;
- ✓ Tolga : Tolga- Bouchagroune- Bordj Ben Azzouz- Lichana- Doucen ;
- ✓ Ouled-Djellal : Ouled-Djellal- Ech Chaïba- El Daoussen ;
- ✓ Sidi-Khaled : Sidi-Khaled- Besbes- Ras El Miaad ;
- ✓ Foughala : Foughala- El Ghrous ;
- ✓ El Outaya : El Outaya (voir figure 01). (**ANDI, 2013 ; A.N.I.R.F**)

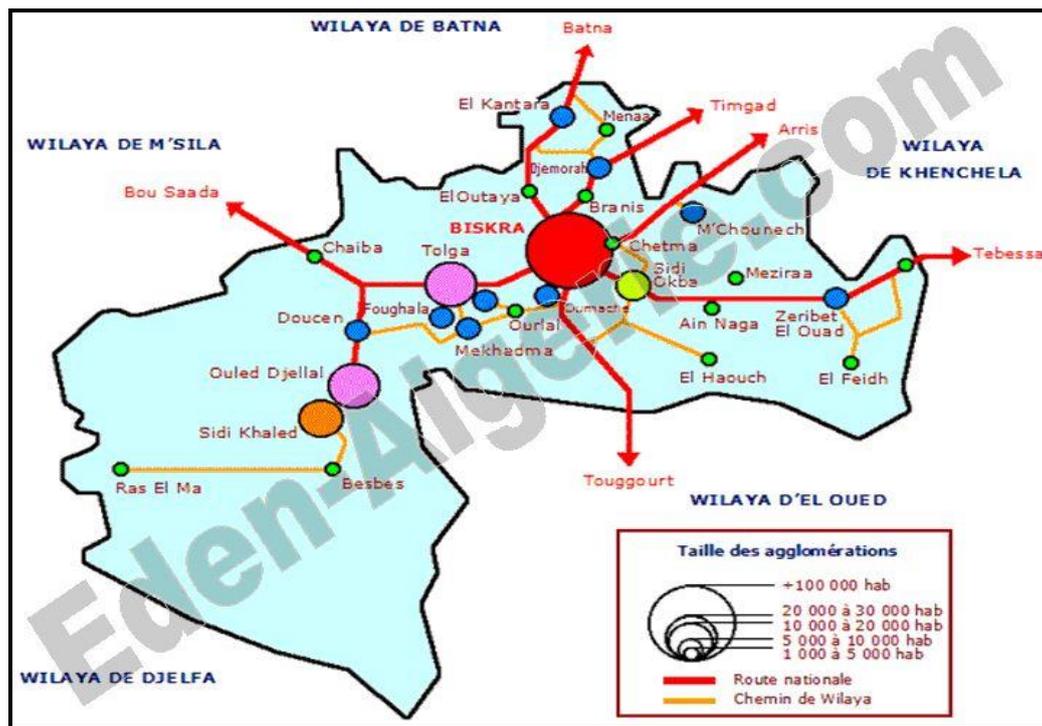


Figure 01 : Situation de la Wilaya de Biskra (eden-Algérie.com)

### I.2.2. Localisation géographique de la wilaya de Biskra

La wilaya de Biskra se situe au Nord-Est du Sahara Septentrional, elle est située au Sud –Est de l'Algérie aux portes du Sahara. Avec une altitude de 112 m au niveau de la mer. Ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie (ANDI, 2013). Le Chef lieu de la wilaya est situé à 400 km au Sud-est de la capitale, Alger (ANDI, 2013 ; A.N.I.R.F).

Elle s'étend au Sud – Est jusqu'à la zone de Chott Melghir et au Sud-Ouest jusqu'au le commencement du grand Erg oriental (A.N.A.T, 2003). Elle s'étend sur une superficie de 21 671,24 km<sup>2</sup> (ANDI, 2013).

La wilaya de Biskra est limitée par celle (Figure 02):

- De Batna au Nord;
- De M'sila au Nord-Ouest;
- Et celle de Khanchela au Nord et à l'Est;
- De Djelfa au Sud-Ouest;
- D'El Oued au Sud.



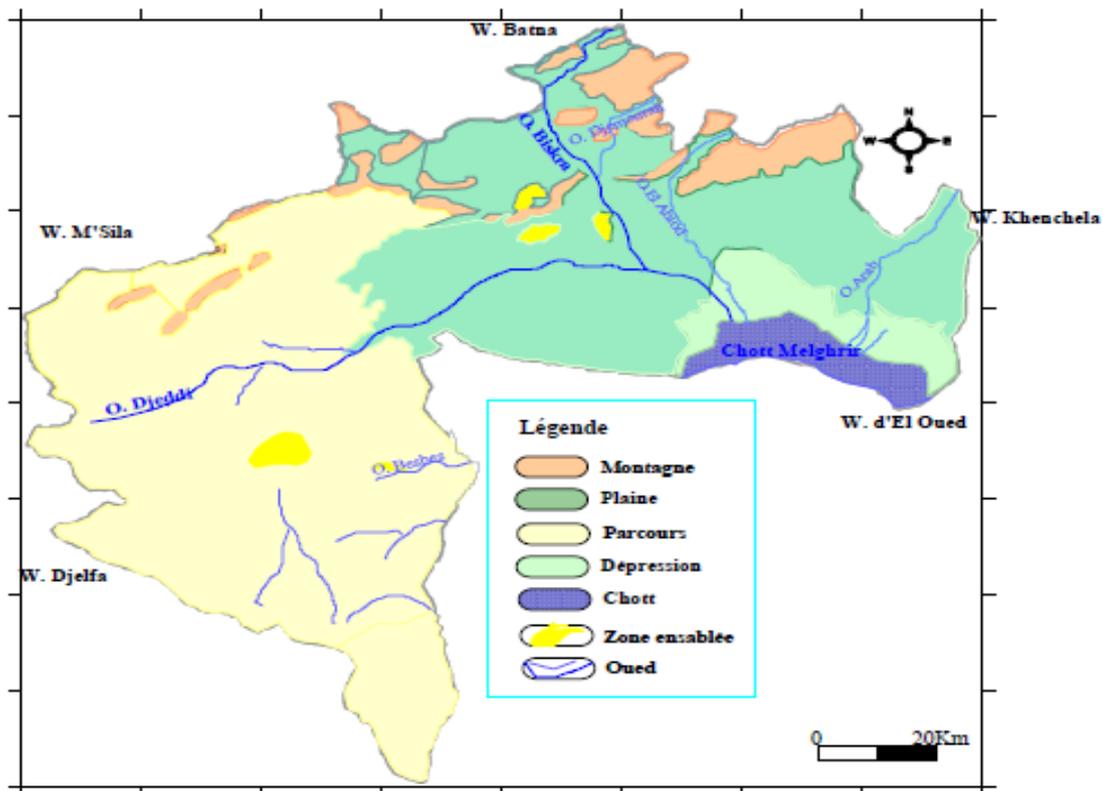
Figure 02 : Limites administratives de la Wilaya (ANDI, 2013)

### I.3. Contexte géographique

#### I.3.1. Le relief

La wilaya de Biskra constitue une zone charnière entre le Sud et le Nord algérien. Elle forme une région de transition du point de vue morphologique et bioclimatique. Ce passage se fait subitement au pied de l'Atlas Saharien. On passe d'un relief assez élevé et accidenté au nord à une topographie de plateau légèrement inclinée vers le Sud. D'une manière générale la région de Biskra est composée de quatre éléments géomorphologiques divers : les montagnes, les plaines, les plateaux et les dépressions (GOUSKOV, 1964, DUBOST et LARBI, 1998; I.N.R.A.A, 2006; BOUGHERARA et LACAZE, 2009) :

- ☛ **Les montagnes** : situées au nord de la région presque découvertes de toutes végétations naturelles (El-Kantra, Djemoura et M'Chounech).
- ☛ **Les plateaux** : à l'ouest, ils s'étendent du nord au sud englobant presque les daïrates d'Ouled Djellal, Sidi Khaled et une partie de Tolga.
- ☛ **Les plaines** : sur l'axe El-Outaya-Daoucen, se développent vers l'est et couvrent la quasi totalité des daïrates d'El-Outaya, Sidi Okba, Zeribet El-Oued et la commune de Daoucen.
- ☛ **Les dépressions** : dans la partie sud-est de la wilaya de Biskra, (Chott Melghigh) (A.N.A.T, 2006, BOUAMMAR, 2010).



**Figure 03 : Carte du milieu physique de la Wilaya de Biskra (ANRH, 2008)**

### I.3.2. Le réseau hydrographique

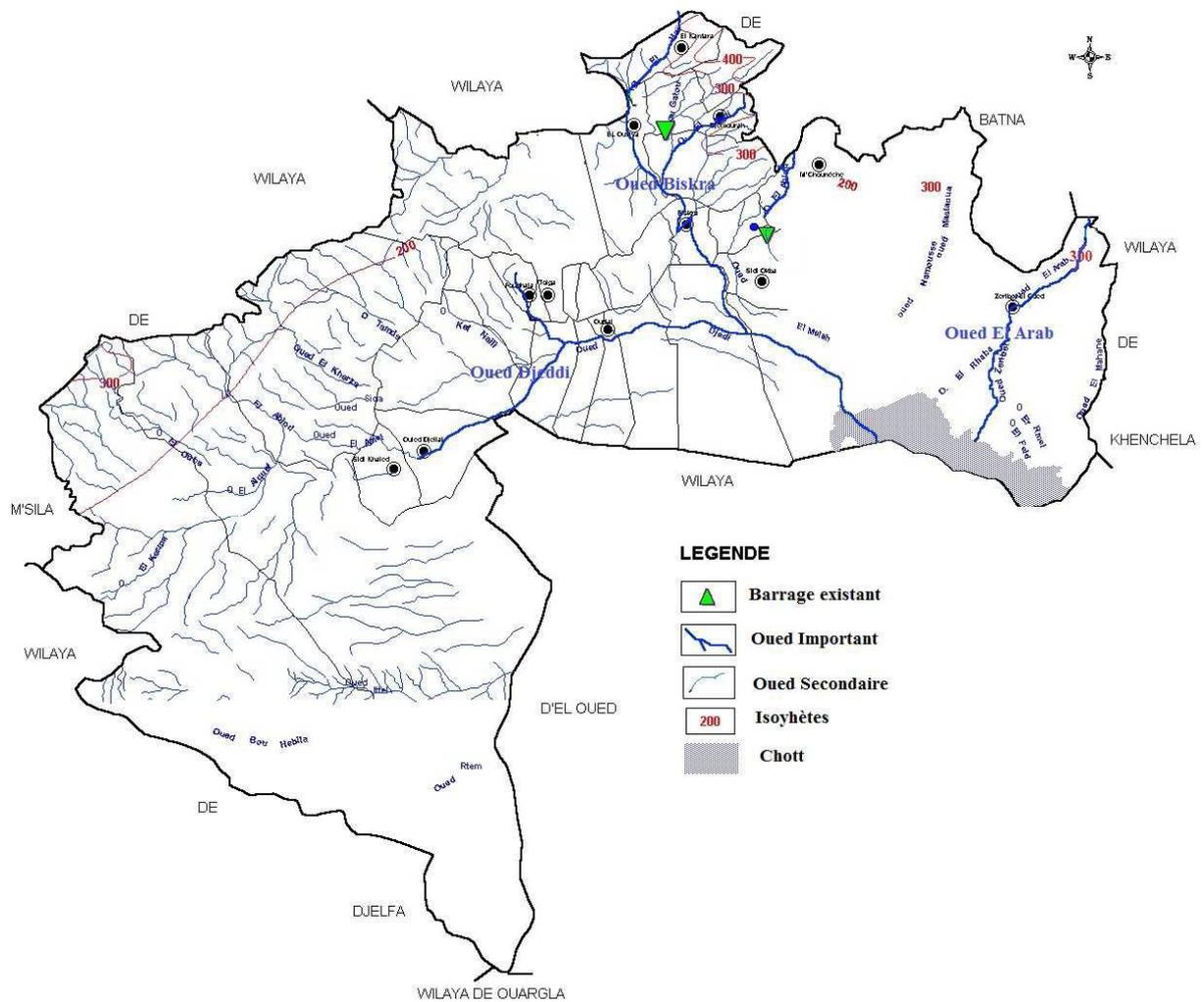
Le bassin hydrographique, ou bassin versant est l'unité ou le cadre de toute étude hydrologique. Les limites d'un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux ; qui le séparent des bassins adjacents. Elles sont facilement réparables dans les régions où le relief est bien marqué, il n'en est pas de même dans les régions très plates, où les eaux divaguent dans celles où les écoulements temporaires se perdent dans les sables ou dans les cuvettes désertiques (MEGUENNI-TANI, 2013).

La wilaya de Biskra est traversée par plusieurs oueds qui constituent un réseau hydrographique simple qui ne fonctionne qu'en hivers ou pendant les pluies exceptionnelles. Ces Oueds prennent naissance dans le massif des Aurès. Leur importance dépend des bassins versants qu'ils drainent.

Divers oueds et cours d'eau temporaires à écoulement principal sillonnent la région et se déversent dans la dépression du Chott Melrhir. Les plus importants sont Oued Djedi, Oued Biskra, Oued El-Arab et Oued El-Abiod (BOUAMMAR, 2010).

L'ensemble des Oueds (figure 04) parcourant 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 Km<sup>2</sup> ; 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 (ANRH, 2008)



**Figure 04: Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra**

Les caractéristiques de ces Oueds sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 01 : Caractéristiques des bassins versants dans la région d'étude**

Désignation du bassin	Superficie (Ha)	Nom de l'oued principal	Principaux affluents
Bassin versant de l'Oued El Arab	208500	Oued El Arab	Oued Mestaoua
Bassin versant de l'Oued Labiod	24500	Oued Labiod	Oueds (Latrous et Elkatar)
Bassin versant de l'Oued Djeddi	216000	Oued Djeddi	Oueds (Trifia, Boumlili, Tamda, Ouzen, Elhai, Branis)

**Source : ANRH, 2000**

Les ressources en eau superficielles sont relativement peu importantes et peu exploitées. Elles sont irrégulières et par conséquent, leur utilisation se limite à la pratique de l'agriculture de crue qui reste marginale.

#### **I.4. Le contexte climatologique**

Plus que d'autres facteurs, le climat est le facteur le plus déterminant des ressources en eau. L'étude des caractéristiques climatologiques joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, l'étude climatologique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydrologique de surface d'une région donnée. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évapotranspiration et l'ensoleillement et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat de la région. Ainsi, l'étude des possibilités de la maîtrise des ressources en eau dans les bassins est extrêmement liée à ces phénomènes qui régissent les écoulements. Pour cela, il est très utile de faire l'approche hydro climatiques (BOUTOUGA, 2012).

### **I.4.1. Données climatologiques pour la région de Biskra**

#### **I.4.1.1. Les vents**

Les vents ont une conséquence importante sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et a un degré moindre sur les températures. Les vents sont relativement fréquents au printemps et en été, et durant la période des températures maximales arrivent des Siroccos Sud-est.

Dans la région de Biskra la seule station qui mentionne la vitesse du vent c'est la station de Biskra (ONM), d'après les données des moyennes des vents de cette station sur la période (1988/89-2009/10), on remarque que la fréquence de vitesse des vents atteint son maximum en hiver (Avril) avec 5.9 m/s, par contre le minimum des vents est enregistré en mois d'Octobre avec 4 m/s. on constate aussi que les vitesses du vent sont presque homogènes pendant plusieurs mois de l'année, la vitesse moyenne annuelle est de l'ordre de 4.5 m/s.

#### **I.4.1.2. L'humidité relative de l'air**

Se situant aux ports du Sahara, la région de Biskra est considérée comme une zone aride, qui caractérisé par un climat sec et chaud, il est cependant tout à fait normal de constater des pourcentages d'humidités moins importants.

D'après les données de la station de Biskra (ONM) on observe que le taux d'humidité moyenne mensuelle est élevé pendant les mois de Mars, Avril et Mai, respectivement de l'ordre de 54 %, 59 %, 57%, tandis que le plus faible est remarqué au mois de Novembre (26%).

#### **I.4.1.3. L'ensoleillement**

D'après les données climatiques actuelles de l'ONM période 1988/2010. Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement varie de 214 h/mois en Décembre à 356 au mois de Juillet pendant la période estivale (Juin-Août), la région de Biskra reçoit plus de 100 heures par mois.

#### **I.4.1.4. Les Précipitations**

Les précipitations sont l'élément le plus important parce qu'elles reflètent la circulation des eaux superficielles et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes.

Elles sont variables et irrégulières d'une année à une autre et d'une saison à une autre. Les mesures de celles-ci permettent d'évaluer la quantité d'eau tombée et surtout d'estimer la quantité destinée aux écoulements.

A la station de Biskra (ONM), l'élévation annuelle des précipitations pour la période considérée varie de 279.7 mm en (2003/2004) à 35.2 mm en (1988/1989). Tandis que le module pluviométrique interannuel est égal à 132.7 mm.

Pour évaluer la variation des précipitations moyennes mensuelles, nous avons établi l'histogramme suivant.

Les précipitations atteignent le maximum au mois de janvier avec une hauteur de 21.8 mm et le minimum au mois de Juillet avec 0.8 mm.

#### **I.4.1.5. Les Températures**

La variation de la température agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. On dispose des données de températures moyennes mensuelles de la station de Biskra (ONM) période de (1988-89/2009-2010). Pour évaluer la variation des températures moyennes mensuelles, nous avons établi le tableau et l'histogramme relatif à cette station.

**Tableau 02 : Température moyennes mensuelles en °C à la station de Biskra (ONM, 2011)**

mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aou	moy
<b>moy</b>	28,8	23,5	16,5	17,7	<b>11,6</b>	13,6	17,3	20,6	26,1	31,3	<b>34,4</b>	34	<b>23</b>

D'après les données climatiques de la station de Biskra (ONM), la région est caractérisé par un climat chaud et sec, on constate deux périodes, la température décroît du mois de Juillet (maximum : 34 ,4°C) jusqu'au mois de Janvier (minimum : 11.6 °C). La deuxième période se démarque par une augmentation de la température de 13.6 °C en Février à 34.4 °C en Juillet. La température moyenne mensuelle est de l'ordre de 23 °C.

#### **I.4.2. Synthèse climatique**

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

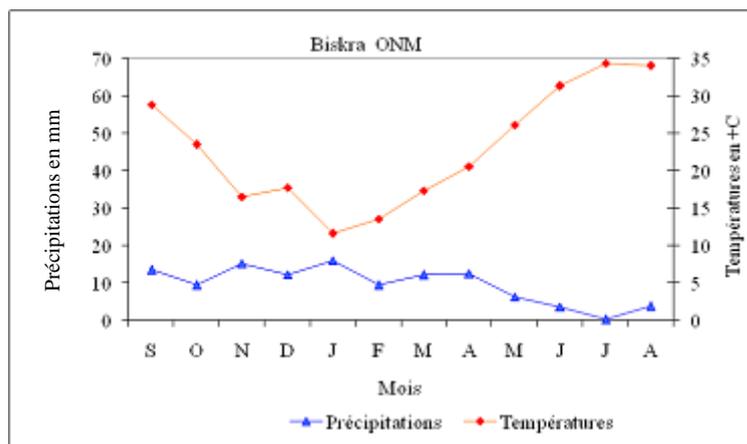
- Les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviothermique.

- Le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode de calcul de l'indice d'aridité.

#### I.4.2.1. Diagramme pluviothermique

La courbe pluviothermique est établie sur la base des données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, dont le but est de déterminer la période sèche et celle humide.

Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique où les précipitations sont portées à une échelle double des températures. La période correspondante est dite déficitaire en eau, lorsque les températures passent au dessus de la courbe des précipitations, et elle est dite période humide, lorsque la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures. La figure ci –dessous représente le diagramme Ombrothermique pour la station ONM de Biskra.



**Figure 05 : Le diagramme Ombrothermique de la station (ONM) période (1988/2010).**

L'allure de la courbe montre qu'il y a un déficit climatique, puisque la courbe des températures passe au dessus de la courbe des précipitations, la période est dite déficitaire. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse au mois d'Avril à Novembre.

#### I.4.2.2. Régime Climatique (Indice de DEMARTONNE)

C'est un indice d'aridité « A » défini en 1923 par E.DEMARTONNE, qui tient compte des précipitations et des températures, il est donné par la formule suivante :

$$A = P / (T + 10)$$

P : précipitation moyenne mensuelle en (mm),

T : température moyenne en °C.

Dans notre cas, et après le calcul, nous avons trouvé que pour la région d'étude l'indice d'aridité A représenté sur l'abaque de DE MARTONNE est compris entre 0 et 5 caractérisant un milieu désertique (figure 06).

$$P = 132,7 \text{ mm}$$

$$T = 23$$

$$A = 4,02$$

L'indice d'aridité est inférieur à 5, se qui caractérise un climat hyper-aride.

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

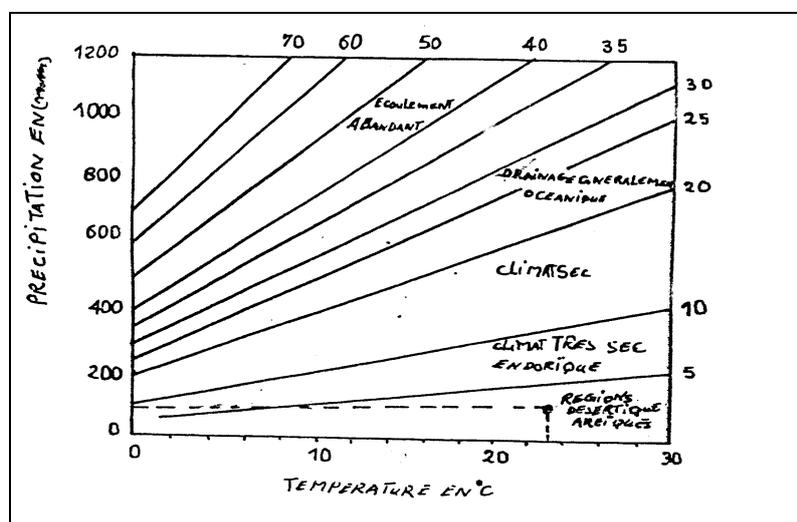


Figure 06 : Abaque de l'indice d'aridité de DE MARTONNE.

## I.5. Le contexte géologique

La région de Biskra est prise au sens large du terme, et ses limites sont approximatives. Elle forme une zone de transition progressive entre le domaine atlasique et le domaine saharien septentrional car la continuité géologique de part et d'autre de l'accident sud atlasique est vérifiée entre Branis et Chetma (CHEBBAH, 2007).

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

Du point de vue importance géologique la stratigraphie se présente comme suit (figure 07).

La région de Biskra se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Barrémien à la base jusqu'au Quaternaire (figure 08) (A.N.A.T, 2003).

**Le Quaternaire :** s'étend largement dans la région couvrant les dépressions et les vallées présentant les formations suivantes :

- **Récant :** cailloutés et éboulés au pied des montagnes, dunes de sables, alluvions sableuses et caillouteuses des lits actuels des Oueds ;
- **Moyen :** 'Deb-deb', calcaro-gypseux ; alluvions sableuses et argileuses ;
- **Ancien :** poudingues près des montagnes, dépôts sableux et argileux.

**Le Tertiaire :** dans lequel on distingue de haut en bas :

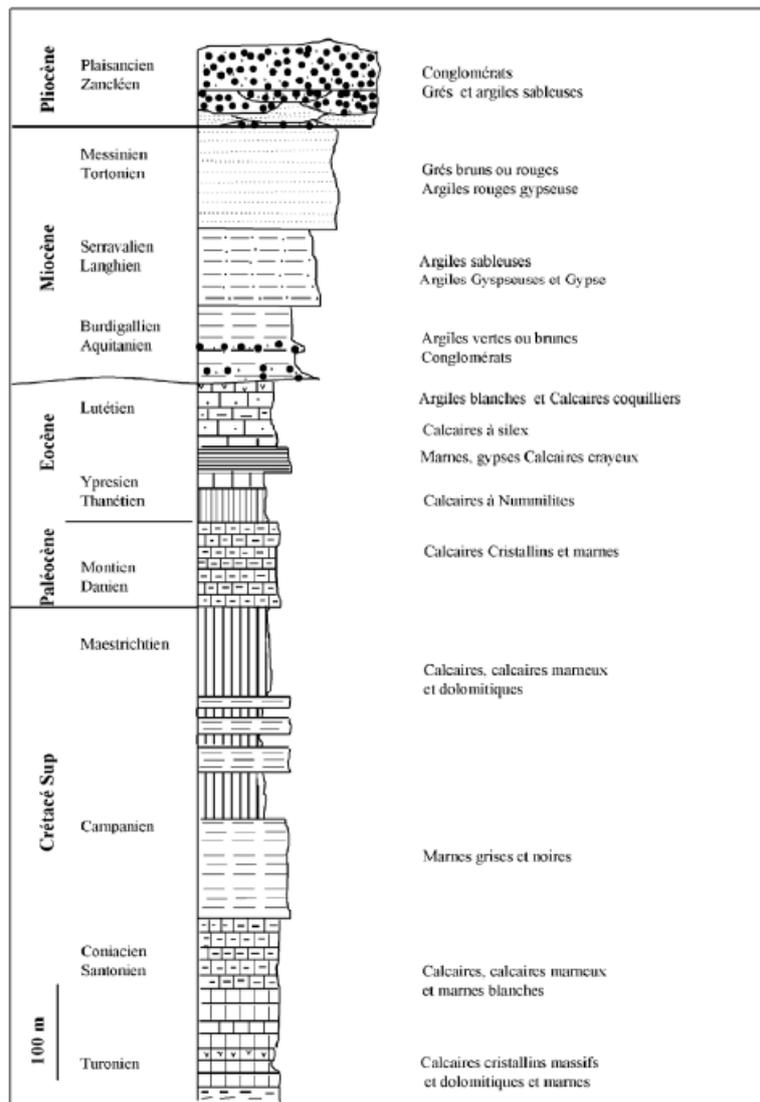
- **Le Pliocène :** affleurant au Sud Ouest de la région, entre Doucen, Ouled Djellal et Rass Zebidja, ainsi qu'au Nord de Lioua, formé de poudingues, bancs de grés et d'argiles sableuses à proximité des massifs passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine.
- **Miocène (Pontien) :** Affleure à proximité de la ville de Biskra et au Djebel Bourhezel comportant des argiles, marnes multicolores, sables, graviers et avec la présence des gypses à tous les niveaux.
- **Eocène :** il affleure de l'Est vers l'Ouest entre le Sud de Bordj Chaïba et le Nord de Lichana. On y distingue plusieurs stratigraphies :
  - **Eocène moyen (Lutéien) :** il apparaît largement au sud Ouest de la région de Biskra. Dans certains points son épaisseur est de 200 à 250 m. il formé d'une alternance d'argiles grises, gypses anhydrites et de calcaires dolomitiques.

- **Eocène inférieur (Carbonaté):** sous forme d'une succession de bancs de calcaires cristallin dur, gris ou blanc, de calcaire crayeuse, de dolomie argileuse et de marnes blanches, avec quelques niveaux à silex noirs à la base et des niveaux à nummulites (yprésien). Son épaisseur varie entre 200 à 300 m (ANAT, 2003).

#### Le Secondaire (Crétacé) :

- **Sénonien :** il de haut en bas
  - **Maestrichtien :** affleure au nord de la région (340 m d'épaisseur) formé d'une alternance de calcaire dolomitique gris, marnes, argiles gypseuses et quelques passées d'anhydrite.
  - **Campanien :** affleurant au nord de la région d'une puissance de 200 m, comportant des marnes, marno- calcaire, calcaire gris, calcaire colitique et glauconieux bicalastique.
  - **Santonien – Coniacien :** affleurant sur les monts des Zibans formés de calcaire, calcaire marneux et marnes blanchâtres, l'épaisseur est estimée de 200 à 400 m.
- **Turonien :** il apparaît à Djebel Bourhezel et Djebel Om Djenib, d'une puissance variant entre 200 et 400 m, comportant des calcaires dolomitiques et une alternance de calcaires gris et d'argiles grises ou vert foncé ; calcaire marneux gris clair ; quelques passées d'anhydrite massive.
- **Le Cénomaniens :** affleurant à Dj. Bourhezel et au nord de Bordj Chaïba l'épaisseur varie entre 200 et 500 m et présentant des évaporites ; Argiles gypseuses avec de rares passées de calcaire dans d'autre endroit il présente des argiles dolomitiques grises à vert foncé avec des passées d'anhydrite massive.
- **Albien :** se présente dans de rares affleurements à Dj. Bourhezel et au nord de Bordj Chaïba. Sur une puissance estimée de 250m, il comporte des grès rouges ou gris avec des intercalations d'argiles rouges. Au sommet il est carbonaté.
- **Aptien :** un seul affleurement réduit au Nord de Dj. Bordj Chaïba, son épaisseur va de 50 à 60 m comportant des argiles, marnes multicolores, anhydrite, calcaire dolomitique et dolomies.





**Figure 08: Log litho-stratigraphique synthétique de la région de Biskra  
(CHEBBAH, 2007)**

## I.6. Le contexte hydrogéologique

La wilaya de Biskra fait partie du grand bassin hydrogéologique du Sahara septentrional, présente plusieurs réservoirs aquifères d'importance bien distincte de part leur constitution lithologique, leur structure géologique et leur facilités d'exploitation.

Les travaux géophysiques, la réalisation de forages ainsi que la disposition des colonnes stratigraphiques, permettent d'identifier les différentes nappes aquifères exploitées dans la région de Biskra.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye.

Ce bassin englobe une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (SASS, 2003).

### I.6.1. Le Continental Intercalaire

Des études géologiques (CORNET, 1964 ; BUSSON, 1972 ; ERESS, 1972 ; FABRE, 1974), ont permis de préciser l'âge, les limites stratigraphiques de la formation aquifère, son extension géographique et ses zones d'affleurements.

La nappe du Continental Intercalaire couvre la majeure partie du territoire saharien septentrional. Le bassin ayant approximativement une superficie de 600.000 km<sup>2</sup>, la capacité en eau est de l'ordre de 50.000 Milliards de mètres cube (ANRH, 1996), d'une épaisseur moyenne de 600 m, dont la moitié environ est constituée par des grès de porosité 26%.

C'est le résultat d'une longue histoire stratigraphique reflétant, un épisode continentale intercalé entre deux cycles sédimentaires (ERESS, 1972) :

- ✓ A la base, le cycle essentiellement marin du paléozoïque que clôt l'orogénèse Hercynienne.
- ✓ Au sommet, le cycle marin que déclenche la transgression du crétacé supérieur.

Le continental intercalaire ainsi défini, occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias (localement Permo-Trias) et le sommet de l'Albien. Si on se limite à définir les caractéristiques du réservoir profond à eau douce, seules les formations clastiques (argilo-gréseuses) sont véritablement continentales : crétacé inférieur ; Barrémien et l'Albien, et constituent un ensemble aquifère homogène dans sa lithologie.

Ce bassin s'étend :

- ❖ Du Nord au Sud depuis l'Atlas saharien jusqu'au Tassais du Hoggar ;
- ❖ D'Ouest en Est depuis la vallée de la Soura jusqu'au désert Lybique et en Tunisie (CDTN, 1991).

La plus grosse part des ressources en eau du continental intercalaire est due à la fonction de stockage importante de ce réservoir rempli pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire.

Un fonctionnement hydraulique actuel se manifeste, caractérisé par une alimentation, un écoulement et des exutoires de cette nappe.

Un schéma hydrogéologique correspondant, est reporté sur la figure 10. La recharge actuelle de la nappe du continental intercalaire s'effectue par infiltration, des ruissellements à la périphérie du domaine, notamment de l'Atlas saharien dans le Nord Ouest et du Dahar à l'Est (en Tunisie), des ruissellements en bordure de plateaux, sur le bord occidental et méridional du Tademaït et sur le bord méridional du Tinhert.

### **I.6.2. Le Complexe Terminal**

D'après plusieurs études (**CORNET, 1964 ; BEL et CUCHE, 1970 ; ERESS, 1972 ; ARMINES, 1975**), la nappe du complexe terminal couvre la majeure partie du territoire saharien septentrional.

Dans le bassin occidental. Cependant, cette nappe est en liaison étroite avec la nappe sous-jacente du continental intercalaire. Dans le Sud-Ouest, sous le plateau du Tademaït, cette nappe est peu importante et même parfois absente (**ERESS, 1972**) ; au niveau du bassin oriental, le continental intercalaire et le complexe terminal sont séparés par la transgression cénomaniennne (figure 09).

Les formations perméables du Sénonien, Eocène, Miopliocène et Quaternaire sont les dernières formations déposées au bas Sahara. Cette particularité, ajoutée à leur hétérogénéité lithologique (**CORNET, 1964 ; ERESS, 1972**), leur a valu d'être groupées sous le terme « complexe terminal ».

Cette nappe est limitée à l'Ouest par la dorsale du M'Zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par une ligne passant au Nord de l'axe In Salah – Zarzatine sous l'erg oriental.

Sa superficie est de 350,000 km<sup>2</sup> pour la seule région orientale (**CDTN, 1991**).

La nappe circule dans l'une ou les deux formations litho-stratigraphiques suivantes :

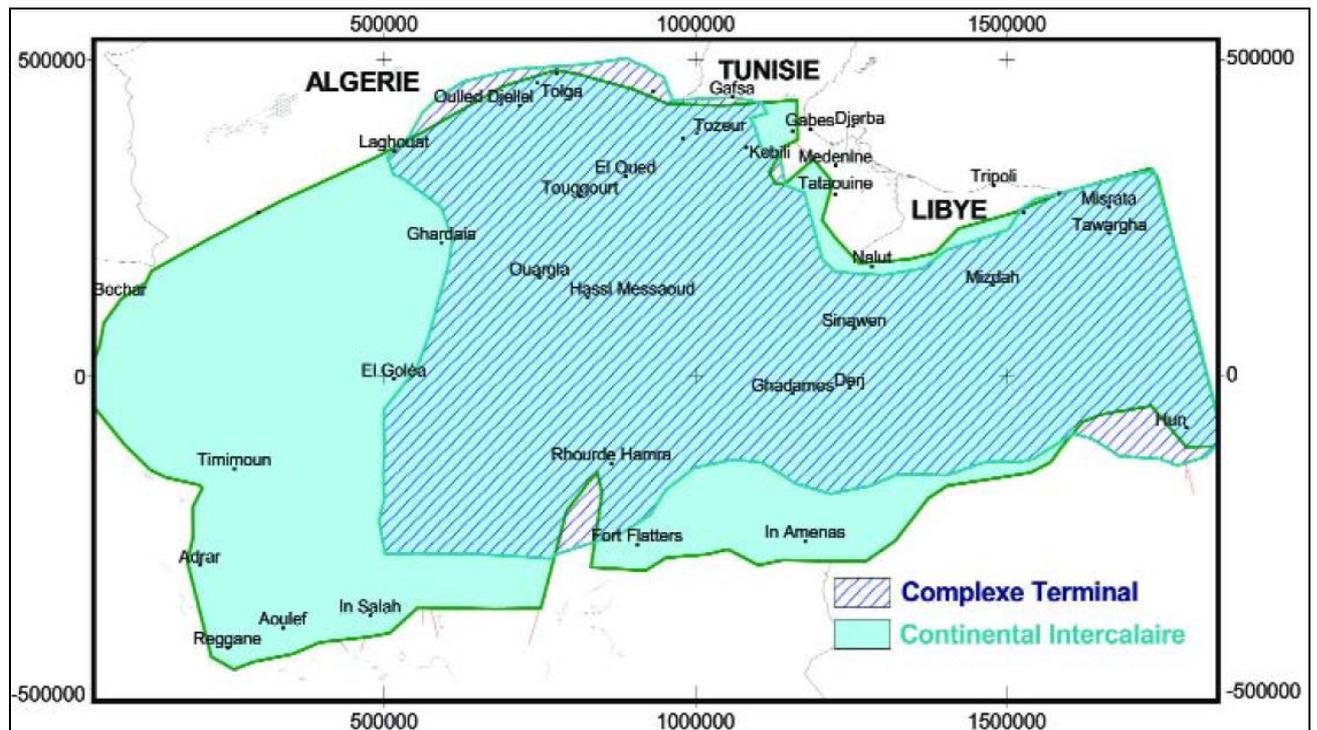
- ❖ Sénonien et Eocène carbonaté ;
- ❖ Miopliocène sableux (continental terminal).

Le Sénonien carbonaté (appelé improprement Sénonien supérieur) s'étend sur l'ensemble du bassin. Tandis que, l'Eocène carbonaté ou Eocène inférieur ne se rencontre qu'au Nord d'une ligne Djamaa-Tozeur.

Les sables du Miopliocène couvrent en discordance presque tout le domaine mais s'interrompent à l'Ouest, au contact du M'Zab et à l'Est, sur le Dahar.

Sur ces bordures Est et Ouest, la nappe peut circuler dans le Turonien dolomitique qui y affleure largement.

Le relais avec les autres aquifères calcaires est assuré par des sables qui les couvrent en partie.

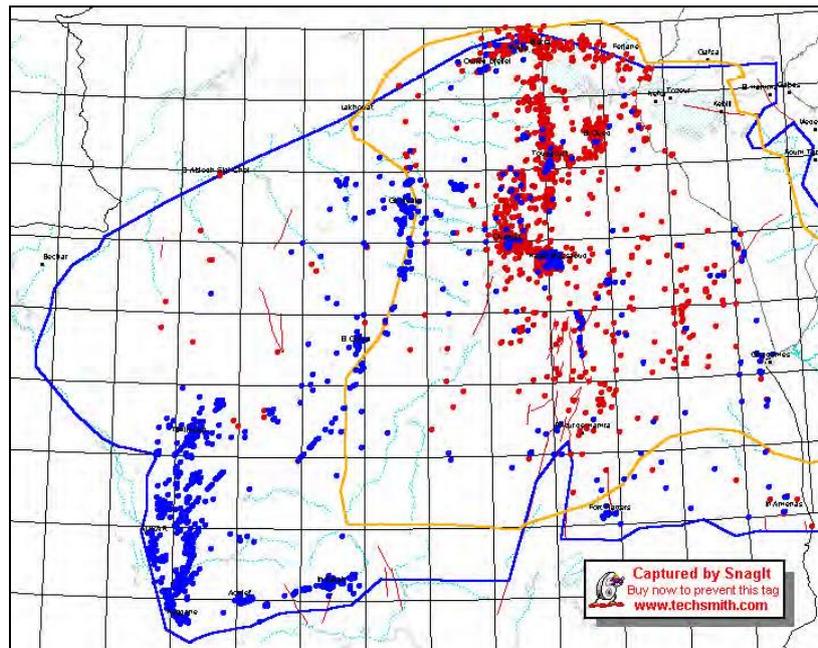


**Figure 09 : Extension des formations du système Aquifère du Sahara Septentrional (OSS, 2002)**

A l'Ouest de Biskra, de larges affleurements Eocènes se trouvent au contact de la flexure saharienne et indiquent que son rejet n'est pas très important. En s'approchant de Biskra, la flexure sud-atlasique redevient importante et elle provoque, au niveau de Bou Rhézal, le renversement du flanc sud de cet anticlinal. A ce niveau, les calcaires turoniens oscillent de part et d'autre de la verticale et disparaissent au Sud sous le remplissage. Un phénomène similaire s'observe au niveau de Gafsa, en Tunisie, où l'accident sud-atlasique est matérialisé par la faille de Gafsa. Les forages de la zone de Tolga, à l'ouest de Biskra, exploitent les calcaires sénoniens et éocènes à des profondeurs variables qui augmentent rapidement vers le sud et dépassent 500m.

A l'Est de Biskra, le rejet de la flexure sud-atlasique augmente rapidement et l'ensemble des couches crétacées et tertiaires sont redressées à la verticale. On se trouve ainsi en bordure de la fosse sud-aurasienne qui constitue la partie la plus profonde de la dépression du bas-Sahara (SASS, 2003).

La figure 10 montre les points d'eau dans les deux niveaux aquifères en Algérie.



**Légende :**

- : Limite du Continental intercalaire
- : Limite du Complexe Terminal

**Figure 10: Carte des points d'eau du CI et du CT en Algérie (SASS, 2003).**

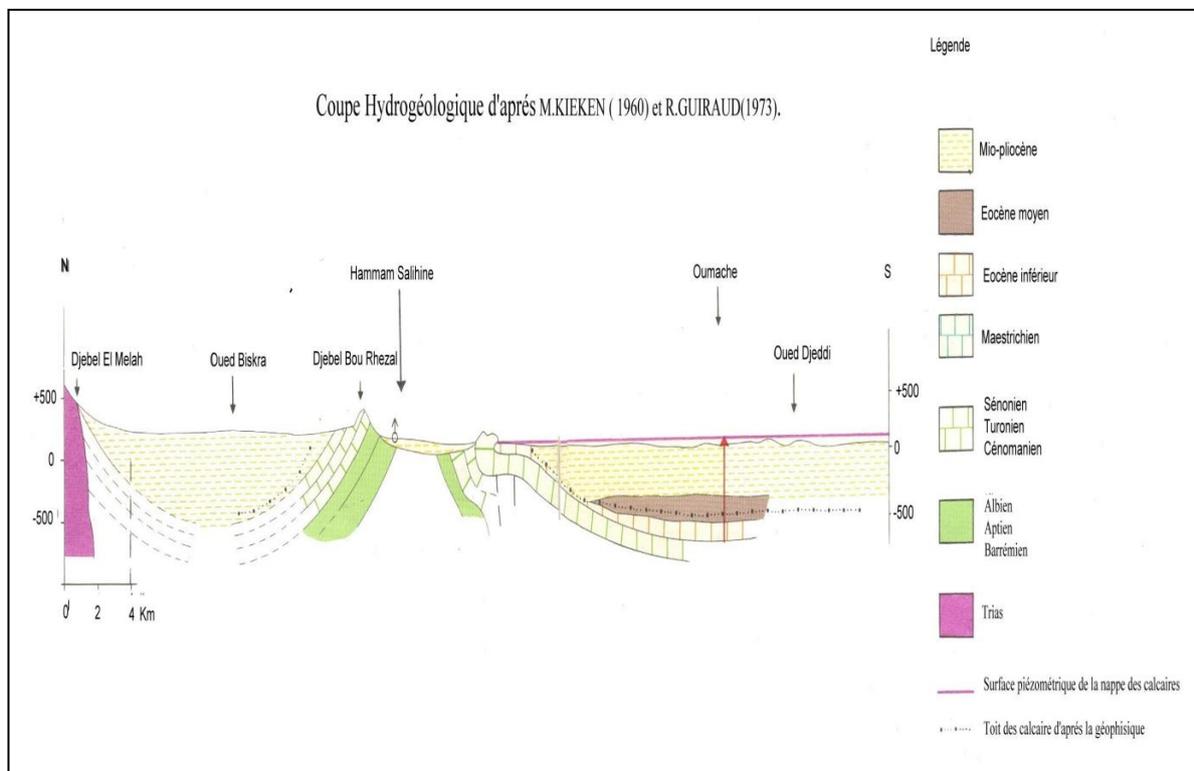
La nappe est captive sur une grande partie du bassin. La mise en charge est faite soit au niveau des sables du Miopliocène par les argiles plus ou moins sableuses de même âge et reposant sur des sables, soit au niveau du sénonien carbonaté par les marnes et évaporites de l'éocène moyen reposant sur des calcaires. Ces deux imperméables peuvent être superposés ou distincts suivant les secteurs.

La coupe (figure 11) montre la différence de puissance entre les deux aquifères du Continentale intercalaire et du complexe terminal ainsi que l'importance de l'artésianisme des eaux dites communément albiennes. L'accident majeur est celui de la dorsale d'Amguid-El Abiod. Il est à l'origine de fuites importantes du C.I vers le C.T (d'après PNUD-UNESCO. Projet Reg 100 cité dans DUBOSOT, 1991).

Les principaux aquifères exploités dans la région de Biskra appartiennent aux étages suivants (figure 11):

- + Le Mio-Plio-Quaternaire (représenté par la nappe des sables et la nappe superficielle).

- ✚ l'Eocène inférieur (nappe des calcaires).
- ✚ Le Sénonien supérieur (Maestrichtien).
- ✚ L'Albien et le Barrémien (nappe du continental intercalaire) (ANAT, 2003).



**Figure 11 : Coupe Hydrogéologique dans la région de Biskra (KIEKEN, 1960 et GUIRAUD, 1973)**

### I.6.2.1. Les nappes superficielles

Cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, et c'est au niveau des palmeraies qu'elles sont le mieux connues avec une profondeur comprise entre 20 et 150 m et un débit de 5 à 10 l/s. Les nappes les plus importantes dans la wilaya, sont celles de l'Oued Biskra et de l'Oued Djeddi. Leur alimentation est assurée par les précipitations atmosphériques, l'infiltration des eaux des oueds en période de crue et par les eaux d'irrigation.

### I.6.2.2. La nappe des sables

Constituée par une alternance de niveaux d'argile, de sable et de cailloutis d'âge Mio-pliocène, elle couvre une grande superficie de la wilaya.

Cette nappe est fortement exploitée dans la partie Est de la Wilaya et notamment dans la zone de M'Zirâa.

Du point de vue hydrodynamique, cette nappe présente un système très hétérogène représenté par des couches de diverses perméabilités. La profondeur de cette nappe est de 100 à 300 m, avec un débit moyen de 15 l/s.

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

Le sens d'écoulement principal de la nappe des sables est vers la zone du chott Melghir.

### **I.6.2.3. La nappe des calcaires**

Cette nappe est constituée essentiellement de calcaires fissurés d'âge Eocène inférieur. Elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Ziban, où elle est appelée « Nappe de Tolga ». La profondeur de cette nappe varie de 100 m dans la zone de Tolga à 500 m dans la zone de Lioua. Le débit varie de 10 l/s par pompage jusqu'à 30 l/s jaillissant (cas d'Ourlal et Lioua).

Les différents sondages réalisés dans cette région montrent qu'il existe une continuité hydraulique entre la nappe de l'éocène inférieur et celle du sénonien supérieur sous-jacente. Par contre, dans la zone d'Oumache et M'lili, ces deux nappes sont séparées par une épaisse couche de marne et de marno-calcaire et où la profondeur est d'environ 900 m.

Au Nord et au Nord Est de la wilaya, la nappe des calcaires 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. On note par ailleurs l'existence de la nappe du Turonien qui n'est pas très exploitée dans la région (ANAT, 2003).

### **I.6.2.4. La nappe du Continental Intercalaire**

C'est un réservoir très important constitué essentiellement de grès et de marne d'âge Albien et Barrémien, d'une profondeur comprise entre 1600 et 2500 m, et un débit moyen de 80 l/s jaillissant. Son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur. En outre sa température excessive la rend difficilement utilisable aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour l'irrigation.

Cette nappe est exploitée dans 19 forages dans la wilaya.

## I.7. Contexte socio-économique

### I.7.1. Population

D'après la monographie de la wilaya de Biskra en 2014.

L'estimation de la population jusqu'à 31/12/2014 donne les résultats suivants:

- Le taux d'accroissement annuel est de 2,30%.
- La densité de population est de 40 habitants/Km<sup>2</sup>.

Le nombre total de la population dans la wilaya de Biskra atteint 849672 personne, dont:

- 433333 hommes présentent 51% de la population.
- 416339 femmes présentent 49% de la population.

La répartition des populations dans la wilaya sont comme suit:

- Rassemblements de sièges municipaux est estimé à 655009 personnes, soit 77,09% ;
- Rassemblements secondaires de l'ordre de 69950 personnes, soit 8,23% ;
- Zones dispersées avec 114467 personnes, soit 13,47% ;

Et finalement, population nomade par 10246 personnes, soit un pourcentage de 1,21%.

La répartition de la population selon les zones est:

- Dans les zones urbaines, la population est de 519574 habitants, soit 61,15%.
- Dans les zones rurales, il y'a 330098 habitants, soit 38,85%.

(**D.P.A.T, 2014**).

### I.7.2. Agriculture

La wilaya de Biskra est l'une des wilayas pionnier dans le domaine agricole, leur climat et sa richesse en ressources en eaux souterraines et son sol propice à l'agriculture, la rende en tête des wilayas dans la poulie et la diversité du produit agricole.

La superficie agricole totale est estimé à 1 652 751 hectares de terres classées zones agricoles, soit environ 77% de la superficie totale de la wilaya, dont 185 473 ha de surface agricole utile (SAU), soit 8,66% (**ANDI, 2013; D.P.A.T, 2014**). Dont, 105 920,85 hectares des terres irriguées représentent 57,11% de la superficie arable agricole.

Notez que le processus d'arrosage dépend principalement des eaux souterraines, ce processus nécessite des couts onéreux. Les palmiers dattiers sont le premier produit en agriculture, environ 4 286 345 palmiers dont 3 894 898 productives, la plupart sont situé dans la région du Zeb Occidentale (Daïras de Tolga, Foughala et Ourlal). La partie Orientale de la wilaya (Daïras de Sidi Okba, Zeribet El-Oued) est spécialisée en champ culturel ( haricot, pastèque ou melon). Tandis que, le côté Nord est connu des produits trimestriels ainsi que certaines produits d'arbres fruitiers (abricot, pomme, olive, ...)( **D.P.A.T, 2014**).

### I.7.3. Industries

La wilaya connaît un tissu industriel varié, il se compose de sept (7) établissements dans le secteur public et soixante (60) établissements dans le secteur privé.

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 (ANDI, 2013).

Le réseau routier dans la wilaya a une spécifié du point de vue qualité, ils sont en rapport avec le caractère géographique distinctif de la wilaya. Elle est plate dans la partie sud où elle est sujette aux inondations et à l'érosion par les vents. Tandis que, le côté nord à un terrain un peu difficile. Le réseau routier se prolonge sur une longueur de 3045,24 Km, actuellement répondre d'une manière satisfaisante aux exigences de la circulation à l'exception de certains routes nationales et municipales, elles sont répartis comme suit:

- ✚ Les routes nationales : 550,10 Km ;
- ✚ Routes nationale : 735, 70 Km ;
- ✚ Routes municipales : 1759,44 Km, dont 1067,2 Km non pavé (D.P.A.T, 2014).

Le chemin de fer s'étale du Nord vers le Sud à une longueur de 129,13 Km. Ponctuée par trois stations, dont la principale à Biskra, une à El Outaya et l'autre à El-Kantara. Elle contribue à activé le mouvement économique entre les wilayas du Nord et Sud-est. Le tonnage transporté en 2014 est de 1766 tonnes aller et 227002 tonnes retour.

### I.7.4. Tourisme

La wilaya est un espace touristique et culturel depuis longtemps. Puisque elle contient tous les éléments des attractions touristiques d'une part, ainsi que d'être une zone de transition du Nord vers le Sud à travers sa belle porte de "Glen Quantara" d'autre part (D.P.A.T, 2014).

Elle regorge de ressources naturelles brutes et de nombreuses potentialités tant matérielles qu'humaines qui transparissent 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 de 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, une priorité qui répond à la stratégie planifiée qui vise à promouvoir l'investissement et a lui accorder une dimension universelle tout en préservant l'héritage naturel et civilisationnel (ANDI, 2013).

### I.7.5. Santé

Dans la wilaya de Biskra, le secteur de la santé se compose de 4 institutions publiques hôpitaux, dont deux institutions spécialisées (Ophtalmologie, et Obstétrique) et 9 institutions publiques de santé de proximité. Il y a 1163 lits répartis comme suit:

- ✓ 800 lits dans 4 hôpitaux;
- ✓ 195 lits dans 5 cliniques;
- ✓ 168 lits dans les groupes sanitaires.

Il y a aussi:

- ✓ 124 salles de traitement;
- ✓ 181 pharmacies dont 10 pharmacies publiques (**D.P.A.T, 2014**).

### I.7.6. Ressources en eau

Le secteur d'Hydraulique a connu une grande importance dans le domaine du développement afin que reprenne un rôle stratégique dans la politique de l'Etat en terme de fournir les besoins fondamentaux des citoyens. La quantité d'eau consacrée à la wilaya de Biskra est de 1017 millions de m<sup>3</sup>, dont 22 millions de m<sup>3</sup> eau de surface, soit 2,16 % et 995 millions de m<sup>3</sup> d'eau souterraine ce qui représente 97,84 %.

La distribution des eaux souterraines exploitées dans la région comme suit:

- 771 millions de m<sup>3</sup> destinées à l'agriculture, soit 85 % ;
- 126 millions de m<sup>3</sup> destinées à l'alimentation en eau potable, présente 14 % ;
- 10 millions de m<sup>3</sup> destiné à l'industrie, soit 1%.

Il y a deux barrages dans la wilaya dirigés spécifiquement pour l'irrigation des terres agricoles.

- Barrage Foum El Gherza qui a une capacité de stockage initiale de 47 millions de m<sup>3</sup>, couvre les besoins de 130 000 palmiers d'une capacité annuelle régulière de 8 millions de m<sup>3</sup>.
- Barrage Fontaines des Gazelles d'une capacité de stockage initiale de 55,5 millions de m<sup>3</sup>, destiné à l'irrigation d'un périmètre de la commune d'El Outaya (la superficie de périmètre est de 90 hectares) d'une capacité annuelle régulière de 14 millions de m<sup>3</sup> (**D.P.A.T, 2014**).

### I.7.7. Réseau d'alimentation en eau potable et réseau d'assainissement

La plupart des parties de la wilaya ont été liés au réseau d'alimentation en eau potable, au cours de l'année 2014, la longueur du réseau est atteint 1912 Km avec un taux de raccordement de 93 %, la dotation été 260 litres/jour.

En ce qui concerne le réseau d'assainissement le taux de raccordement est de 1447 Km de longueur, soit 93% (D.P.A.T, 2014).

## **I.8. Conclusion**

La Wilaya de Biskra est située au Sud –Est de l'Algérie aux portes du Sahara. Elle s'étend au Sud – Est jusqu'à la zone de Chott Melghir et au Sud-Ouest jusqu'au commencement du grand Erg oriental.

D'après les températures annuelles enregistrées dans la période (1988-2010), le mois le plus froid est Janvier et le mois le plus chaud est Juillet. La température moyenne annuelle de la période (1988-2010) est de (23°C). Les températures dépassent la moyenne mensuelle à partir du mois de Mai jusqu'au le mois d'Octobre. A la station ONM de Biskra ; la moyenne annuelle des précipitations est de 132,7 mm. Le minimum est de 35,2 mm enregistré en 1988/1989, le maximum de la pluviosité a été observé en (2003/2004) avec 279.7 mm. La fréquence de vitesse des vents atteint son maximum en hiver (Avril) avec 5.9 m/s, par contre le minimum des vents est enregistré en Octobre avec 4 m/s. La vitesse moyenne annuelle est de l'ordre de 4.5 m/s. la courbe des températures passe au dessus de la courbe des précipitations, donc la période est dite déficitaire. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse au mois d'Avril à Novembre. En conclusion, le climat de la région est hyperaride puisque l'indice d'aridité est inférieur à 5.

Sur le plan hydrogéologique, le grand bassin du Sahara Septentrional englobe une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

La région de Biskra est caractérisée par la présence de trois niveaux aquifères du complexe terminal. La nappe des sables du Miopliocène est constituée essentiellement par une alternance de sables, de graviers et des argiles. Elle est fortement exploitée, surtout dans la zone de Biskra, par un nombre très important de forages destinés essentiellement à l'irrigation des terres agricoles. La nappe du Miopliocène admet une épaisseur de 300 m environ. La nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et Sénonien est constituée essentiellement de calcaire de l'Eocène inférieur du Sénonien Supérieur et du Turonien. La nappe du Continentale Intercalaire présente un réservoir très important constitué essentiellement de grès et de marne d'âge Albien et Barrémien.

## II.1. Introduction

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de Km<sup>2</sup>. Du Nord au Sud, on trouve trois ensembles très contrastés, différents par leur relief et leur morphologie. Tout d'abord, la chaîne du tell et le littoral, puis la chaîne de l'Atlas qui longe les Hautes Plaines plus au Sud, enfin le désert saharien qui s'étend au-delà du massif de l'Atlas. C'est cette disposition du relief qui, avec les conditions climatiques, détermine le potentiel agricole et les ressources en eau du pays (PNUD, 2009).

L'Algérie dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. Les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays, à l'exception des eaux fossiles du Sahara.

Les ressources en eaux souterraines du Sahara septentrional sont contenues dans deux immenses aquifères qui sont le continental intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT).

La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté. Multipliée par 4 au cours des quarante dernières années, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables. A ce rythme, la limite maximum du potentiel hydraulique sera atteinte avant 2050. Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation, se surajoutant aux déséquilibres de disponibilités de ressources entre les régions, et rendant de plus en plus difficiles les arbitrages de répartition (BENBLIDIA, 2011).

Au cours de ce chapitre, nous tenterons de décrire ces différents aspects tout en situant l'évaluation des ressources hydriques dans la région de Biskra dans le contexte global algérien ainsi que celles du Sahara septentrional.

## II.2. Contexte des ressources hydriques Algériennes

En Algérie, la majeure partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surface que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surface sont situées dans la région du tell qui couvre environ 7% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves (PNUD, 2009).

### II.2.1. Potentialités globales en ressources souterraines et superficielles

- Les ressources en eau disponibles et mobilisables en Algérie sont estimées à 19,4 milliards de m<sup>3</sup>/an, dont 12 milliards de ressources superficielles et 2 milliards de ressources souterraines dans le Nord (ressources renouvelables) et 5,2 milliards de m<sup>3</sup> dans le Sud (superficielles et souterraines) (**MOZAS et GHOSN, 2013**)
- Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves d'eau y sont très importantes mais la particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable (**PNUD, 2009**).
- Le territoire algérien a été subdivisé en 5 grands bassins versants créant dans chacun d'entre eux des organismes de bassin : Agences de Bassin hydrographique et Comités de bassin hydrographique (**BOUCHEDJA, 2012**). Ces bassins regroupant les 17 bassins versants. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines) (**PNUD, 2009**).
- En Algérie plusieurs facteurs sont à l'origine du régime irrégulier des eaux, un climat peu favorable, un climat de type méditerranéen au Nord à semi aride, de type désertique au Sahara.

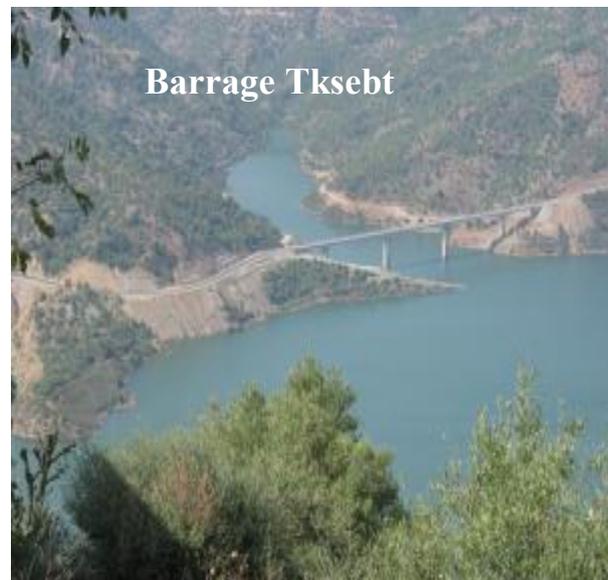
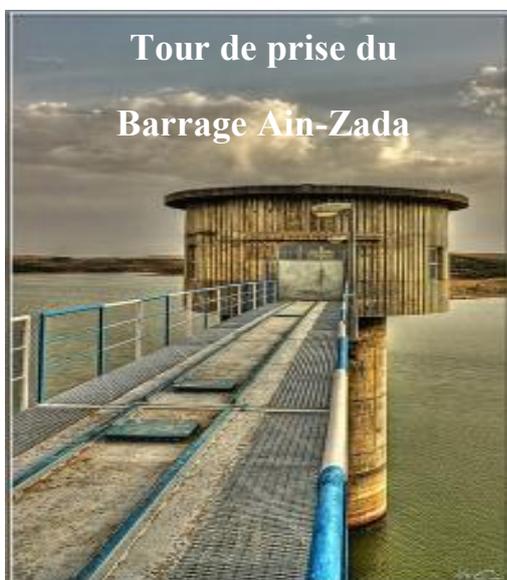
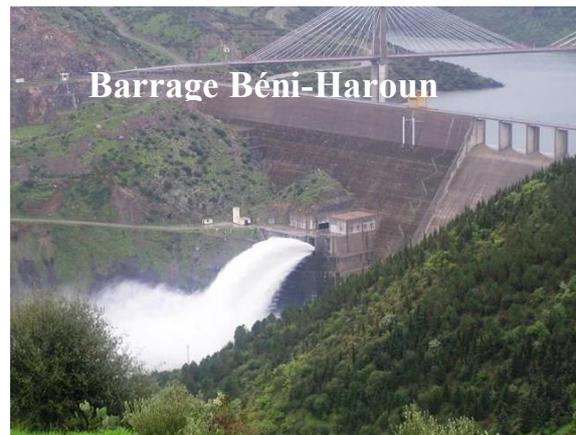
Le climat intervient par sa composante (pluviométrie) qui régit fortement le régime des eaux souterraines et superficielles. Les eaux de surface sont assez variables du fait des périodes de sécheresse tant chroniques qu'occasionnelles et ont des incidences différentielles sur les différents bassins d'eau (**BOUDOUKHANA, 2008**).

- La répartition équitable des ressources en eau entre les différentes régions du territoire algérien constitue un autre axe de la politique mise en place par le gouvernement. Afin de pallier aux disparités géographiques, un programme de transferts régionaux qui vise à assurer une meilleure équité entre les territoires pour l'accès à l'eau a été progressivement mis en œuvre (**MOZAS et GHOSN, 2013**).

C'est principalement au cours de la dernière décennie que des opérations importantes ont été entreprises, certaines étant en cours de réalisation actuellement par l'ANBT (l'Agence Nationale des Barrages et Transferts) (**MRE, 2014**).

### II.2.1.1. Les ressources superficielles

Afin de développer la capacité de retenue des eaux de surface, de nombreux ouvrages ont été construits. Alors qu'en 1962, il n'existait que treize barrages permettant de stocker 450 millions de m<sup>3</sup> d'eau destinée essentiellement à l'irrigation des plaines agricoles de l'Ouest du pays, on en dénombre actuellement 70 pour une capacité globale de 7,4 milliards de m<sup>3</sup> d'eau. A la fin des réalisations du programme en cours, ils devaient être 84 en 2016, pour une capacité de stockage évaluée à 8,4 milliards de m<sup>3</sup> (MRE, 2014).



**Figure 12 : Quelques exemples des barrages réalisés**

Le système MAO est aussi un aménagement du système de production d'eau Cheliff-Kerrada assurera l'AEP du couloir « Mostaganem-Arzew-Oran » pour un volume de 155 Hm<sup>3</sup> /an.

### II. 2.1.2. Les ressources souterraines

Les deux grands aquifères profonds du Continental Intercalaire et du Complexe terminal au Sud, constituent des réserves importantes, mais faiblement renouvelables.

Les études estiment à un potentiel exploitable de 5 milliards /an, sur un total de 40000 milliards de m<sup>3</sup> (MRE, 2014).

#### a) Les ressources souterraines du Nord algérien

Les volumes exploités avoisinent 80% des ressources potentielles renouvelables ; le reliquat concerne le potentiel des réservoirs karstiques du Constantinois, ainsi que celui du chott chergui (Hautes plaines de l'Ouest) aux ressources limitées mais sûres (MRE, 2014).

#### b) Les ressources souterraines du Sahara Septentrional

Le domaine Aquifère du Sahara Septentrional occupant une superficie de plus d'un million de km<sup>2</sup> dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie, sa réserve est estimée à 31.000×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (OULD BABA SY, 2005). Il s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Timrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guir-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie. En Algérie, ce système aquifère couvre une surface de 700 000 Km<sup>2</sup>, et est d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (CORNET, 1964).

Le système est formé de dépôts continentaux renfermant deux grandes nappes souterraines : le Continental Intercalaire [CI] et le Complexe Terminal [CT]. La configuration structurale et le climat de la région font que les réserves de ces deux nappes se renouvellent très peu : ce sont des réserves géologiques dont les exutoires naturels (sources et foggaras) ont permis le développement d'oasis où les modes de vie séculaires sont restés longtemps en parfaite symbiose avec l'écosystème saharien (SASS, 2003).

Les réserves des nappes du Sahara sont énormes mais les apports d'eau à partir de l'Atlas saharien ne contribuent à leur renouvellement que dans une faible proportion. Le caractère « non renouvelable » de cette ressource et les contraintes physiques et géologiques qui caractérisent ces systèmes, en font un patrimoine fragile, nécessitant une gestion rationnelle pour sa durabilité.

Les prélèvements (1,6 hm<sup>3</sup> par forages et 85 hm<sup>3</sup> par foggaras) représentent le 1/3 des ressources renouvelables, estimées à 5 hm<sup>3</sup> (4 hm<sup>3</sup> dans le Continental Intercalaire et 1 hm<sup>3</sup> dans le Complexe Terminal). Les nouvelles simulations réalisées dans le cadre du SASS (Système Aquifère du Sahara Septentrional), ont permis de préciser les débits additionnels susceptibles d'être prélevés dans les zones actuellement en exploitation ou nouvellement identifiées (figure 13), soit au total un volume exploitable de 6,11 hm<sup>3</sup> par an (MRE, 2014).

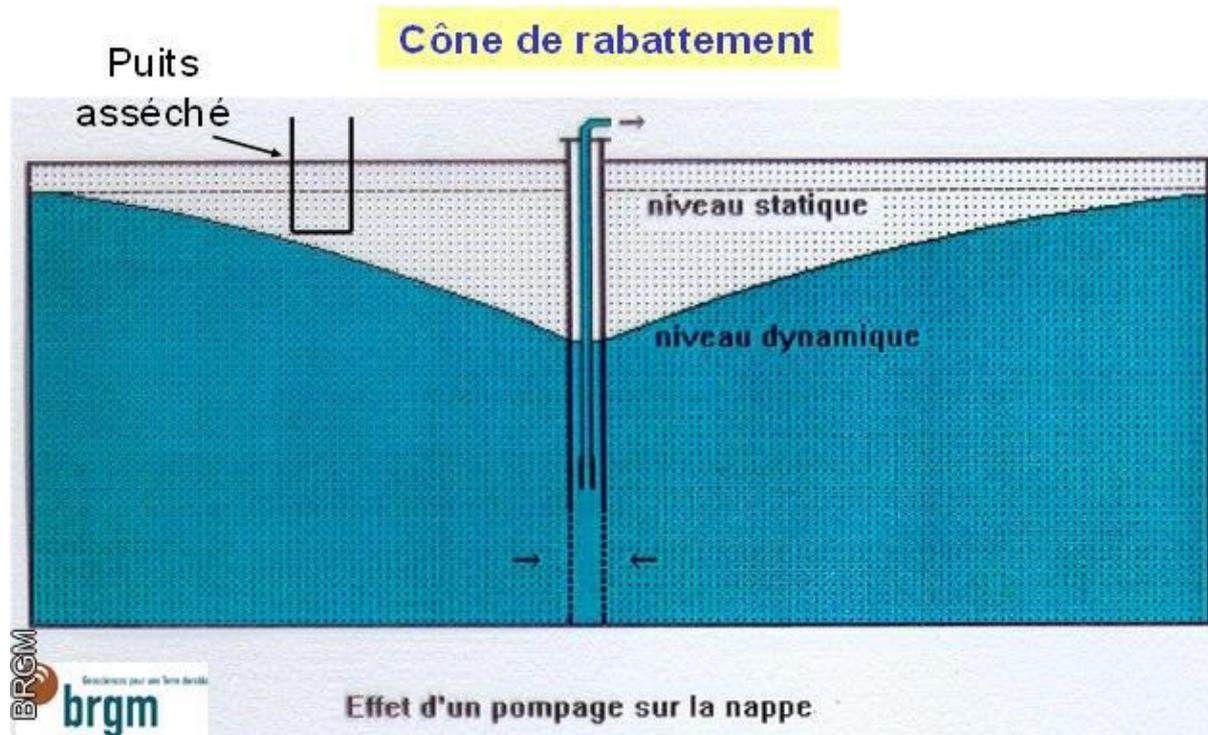
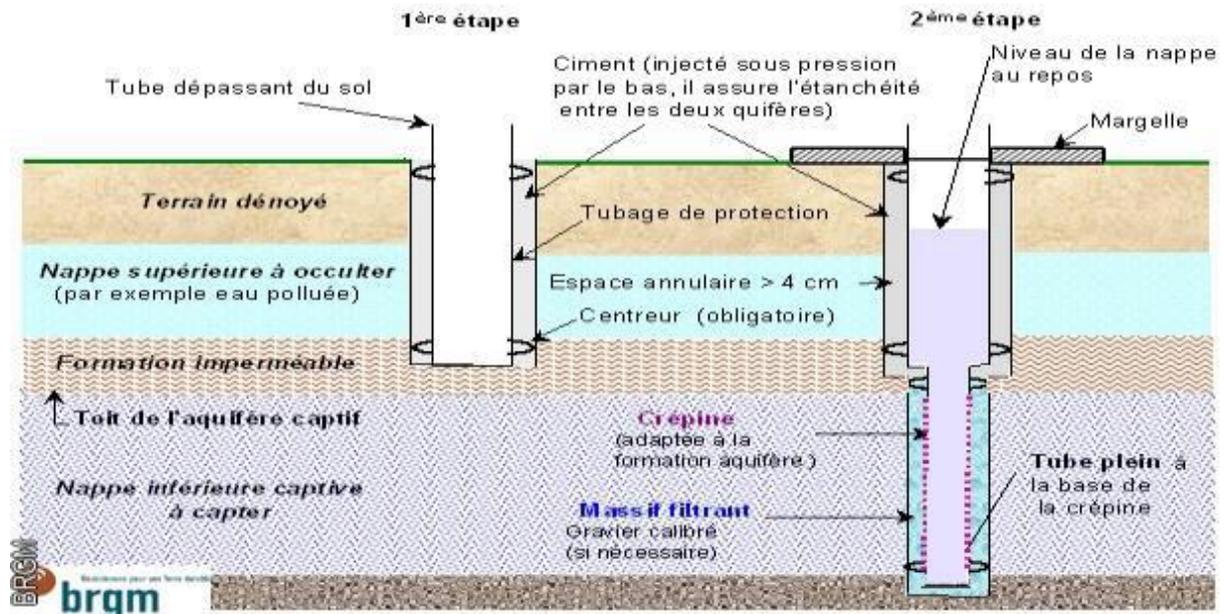


Figure 13 : Les prélèvements dans les nappes des régions sahariennes (MRE, 2014)

### II.2.1.3. Les eaux non conventionnelles

La demande en eau douce, croit chaque année de 2 à 3%, tandis que les ressources naturelles restent invariables. Pour faire face à cette pénurie d'eau surtout dans les grands centres urbains où les ressources conventionnelles ne suffisent plus, les nouvelles techniques de production d'eau potable ont été mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour l'Algérie est dessalement de l'eau de mer pour les villes situées en bordure de côtes.

La mobilisation des ressources en eau non conventionnelles est constituée du :

- ❖ Dessalement de l'eau de mer (littoral) ;
- ❖ Déminéralisation des eaux saumâtres (Sahara) ;
- ❖ Réutilisation des eaux usées épurées (**ZOUINI, 2009**).

#### a) Dessalement de l'eau de mer

Le recours au dessalement pour améliorer l'offre en eau des grandes villes côtières algériennes sans accès direct à des ressources supplémentaires en eau douce sera de plus en plus fréquent. Le recours aux unités de dessalement permet également de réserver une partie plus importante des eaux de barrages à l'agriculture. L'Algérie compte en 2013 neuf grandes stations de dessalement en exploitation à même de produire jusqu'à 1,4 millions de m<sup>3</sup> d'eau dessalée par jour. La mise en exploitation de deux autres stations portera la capacité de production totale à 2,1 millions de m<sup>3</sup>/jour. En moyenne, ces stations ont une capacité de production qui se situe entre 100 000 et 200 000 m<sup>3</sup> par jour. La station d'El-Mactaa, proche d'Oran, dont l'entrée en exploitation est prévue fin 2014 disposera d'une capacité de 500 000 m<sup>3</sup>/j, soit l'une des plus grandes unités de dessalement par osmose inverse, permettant la couverture à long terme des besoins de cinq millions de personnes en eau potable (**MRE, 2014**). Nous présenterons quelques stations de dessalement en Algérie comme le montre la figure 14.



Figure 14 : Quelques stations de dessalement de l'eau de mer (MRE, 2014)

#### b) Déminéralisation des eaux saumâtres

Dans la perspective d'améliorer et de renforcer la mobilisation des eaux destinées à la consommation humaine, il a été prévu la déminéralisation des eaux saumâtres dans les hauts plateaux et le sud par ordre prioritaire depuis 1999.

Le volume des eaux saumâtre mobilisé est estimé à 153,5 Hm<sup>3</sup>/an. Le volume global des eaux saumâtre mobilisé à partir des 15 stations de déminéralisation des eaux saumâtres en exploitation est de 71 597 m<sup>3</sup>/j soit 26,1 Hm<sup>3</sup>/an.

Un programme ambitieux de développement d'infrastructures de mobilisation et de déminéralisation des eaux saumâtres est en voie de réalisation afin d'améliorer la qualité de l'eau potable mis à la disposition des populations du sud.

Quatorze (14) stations de déminéralisation sont en cours de réalisation. A terme, un volume global journalier de l'ordre de 205 560 m<sup>3</sup>/j (75 Hm<sup>3</sup>/an) sera mis à disposition de ces populations pour subvenir à leur besoins (**MRE, 2014**).

Ce programme centralisé délégué à l'ADE est réparti comme suit :

- Ouargla : neuf (09) stations à : 70 500 m<sup>3</sup>/j, volume mobilisé : 78414 m<sup>3</sup>/j.
- Touggourt (Ouargla) : 34 560 m<sup>3</sup>/j, volume mobilisé : 29 636 m<sup>3</sup>/j.
- El Oued : 30 000 m<sup>3</sup>/j, volume mobilisé : 40 000 m<sup>3</sup>/j
- Tamanrasset (projet de transfert In Salah/Tamanrasset) : 50 000 m<sup>3</sup>/j
- Tindouf : 10 500 m<sup>3</sup>/j, volume mobilisé : 13 219 m<sup>3</sup>/j.
- Illizi : 10 000 m<sup>3</sup>/j.

### c) Réutilisation des eaux usées épurées

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou a la mer. C'est donc a l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux (**MRE, 2003**).

Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques (**VALIRON, 1983**). Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie, qui dispose d'un volume d'eau traité de 560 000 mètres cubes, consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture (**MRE, 2012**).

Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 750 millions de m<sup>3</sup> et dépassera 1,5 milliards de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020. Afin de prendre en charge l'épuration de ce potentiel d'eaux usées, le secteur des ressources en eau a engagé un programme ambitieux en matière de réalisation d'installations d'épuration.

- Situation actuelle (exploitation)

Nombre de station d'épuration : 102 (52 STEP + 50 lagunes)

Capacité installée actuelle : 570 hm<sup>3</sup> /an

(1999 : 28 STEP pour une capacité de traitement de 98 millions de m<sup>3</sup>/jour)

- Situation du programme en cours de réalisation

Nombre de stations d'épuration : 176 (87 STEP + 89 lagunes)

Capacité installée : 355 hm<sup>3</sup>/ an

La capacité totale installée après l'achèvement de ce programme est de 925 millions de m<sup>3</sup> /an, c'est -à-dire l'équivalent de 10 barrages de moyenne capacité (**KESSIRA, 2013**).

Etant donnée la situation de stress hydrique, les pouvoirs publics ont vu dans cette opportunité un moyen de réduire ou du moins de préserver les ressources en eaux traditionnelles tout en accroissant la production agricole.

L'objectif déclaré des autorités est de comptabiliser 239 stations d'épuration des eaux usées (STEP) en 2014 correspondant à une capacité de 1,2 milliards de m<sup>3</sup> par an d'eaux épurées. Le recours croissant à cette ressource d'eau non conventionnelle constitue une incitation supplémentaire pour améliorer les capacités d'épuration des eaux usées et augmenter le taux de raccordement des particuliers au réseau d'assainissement (**MRE, 2014**).

### **II.2.2. Mobilisation des eaux en Algérie**

L'Algérie n'arrive pas encore à résoudre l'équation préoccupante de l'eau et garantir sa disponibilité aux moyens de forme d'exploitation durable pour plusieurs raisons. Les données de la commission méditerranéenne du développement durable relative à l'eau dans le bassin méditerranéen montrent que seuls 5% du volume global des précipitations (estimées à 985 Km<sup>3</sup>/an) tombent dans des pays méditerranéens du sud (l'Algérie, la Libye, l'Egypte, la Tunisie et le Maroc). L'Algérie, de par sa situation et son site géographique n'est pas un territoire humide, il est à noter aussi que pour des raisons naturelles, techniques et même économiques, elle n'arrive pas à maîtriser la situation, car seuls 12,43 milliards de m<sup>3</sup> des potentialités globales de l'Algérie évaluées à 19,5 milliards/m<sup>3</sup>, sont réellement mobilisables (**AOUADJ, 2010**).

Rappelons que les potentialités en eau sont estimées à 18 milliards de m<sup>3</sup>/ an (**MOZAS et GHOSN, 2013 ; MRE, 2014**), dont 12,5 milliards de m<sup>3</sup>/an dans les régions Nord et 5,5 milliards de m<sup>3</sup> dans les régions sahariennes. Les ressources en eau superficielles renouvelables internes sont estimées à 10 milliards de m<sup>3</sup>/an pour l'ensemble du pays (**PNE, 2010 ; cadre programmation, 2012 ; MOZAS et GHOSN; 2013 ; MRE, 2014**) et 0,5 milliards de m<sup>3</sup> dans les régions Sahariennes.

Les ressources en eau souterraines renouvelable contenues dans les nappes du nord du pays sont d'environ 2,5 milliards de m<sup>3</sup>/an, alimentées irrégulièrement par les précipitations et 5 milliards de m<sup>3</sup> dans les régions sahariennes (**PNE, 2010 ; MOZAS et GHOSN; 2013 ; MRE, 2014**).

Face au défi d'assurer une couverture adéquate des besoins sans cesse croissants tant sur le plan domestique, agricole qu'industriel doublé d'une raréfaction alarmante de la ressource, une nouvelle politique nationale de l'eau est mise en œuvre dès le début des années 2000. Elle s'articule autour de trois axes principaux à savoir : l'amélioration de la mobilisation des ressources sous toutes ses formes, l'économie et la protection de l'eau et la réforme du cadre de gouvernance de l'eau.

Grâce aux différents programmes de développement menés dès le début des années 2000 une percée considérable a été obtenue en matière de réalisation d'ouvrages de mobilisation. Nous comptons aujourd'hui 70 barrages en exploitation, 14 en cours de réalisation pour une capacité globale à terme de 8,4 milliards de m<sup>3</sup>, 9 stations de dessalement d'eau de mer en service et 4 autres en cours de réalisation pour une capacité globale de 2,3 millions de m<sup>3</sup> par jour. En outre, notre parc de 140 stations d'épuration des eaux usées nous permet la récupération de quelque 800 millions de m<sup>3</sup> par jour d'eaux usées épurées. Ces infrastructures de mobilisation des eaux, qu'elles soient conventionnelles par les barrages, les grands transferts et les eaux souterraines ou non conventionnelles par le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées épurées, notre pays a apporté des réponses concrètes à la problématique de la rareté de l'eau (**MRE, 2014**).

### **II.2.3. Gestion des ressources hydriques**

La gestion de l'eau est un moyen économique de développement et de l'aménagement du territoire et par conséquent, toute forme de pollution de l'eau ne serait que dommageable à toute la collectivité (**DEZERT, 1976**).

La gestion des ressources en eau n'est plus uniquement une gestion des volumes exploitables, mais également de la qualité de l'eau qui sera prélevée et dont la détérioration pourrait compromettre gravement son utilisation dans certains secteurs comme l'alimentation en eau potable et l'industrie qui exigent une bonne qualité chimique. Ce suivi chimique devra graduellement être orienté vers la composition chimique de l'eau en plus de sa salinité globale. C'est à travers l'analyse de cette composition que seront mieux mises en évidence les origines de la contamination et les mesures à prendre pour y remédier (**SASS, 2003**).

Dès 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « Gestion intégrée des ressources en eau » pour garantir leur valorisation et durabilité (MRE). Les axes de la politique nationale dans le domaine des ressources en eau sont (**Service de l'Eau, 2011**) :

- ✓ Accroître la mobilisation de la ressource en eau sous ses formes conventionnelle et non conventionnelle et ceci, pour assurer la couverture des besoins en eau domestique, industrielle et agricole.
- ✓ Réhabiliter et développer les infrastructures d'adduction et de distribution d'eau potable pour réduire au maximum les pertes et améliorer la qualité de service.
- ✓ Réhabiliter et développer les infrastructures d'assainissement et d'épuration des eaux usées pour préserver réutiliser une ressource en eau limitée.
- ✓ Moderniser et étendre les superficies irriguées pour soutenir la stratégie de sécurité alimentaire.
- ✓ Assurer une bonne gouvernance de l'eau et une amélioration des indicateurs de gestion.

Cette nouvelle politique est fondée sur ensemble de réformes institutionnelles et de nouveaux instruments qui sont les Agences de bassin et les Comités de Bassin.

La gestion au niveau du bassin hydrographique et avec la participation des usagers est recommandée pour une meilleure prise en charge des problèmes de l'eau et notamment la lutte contre la pollution et le gaspillage (figure 15 et 16).

Elle doit développer la culture de l'eau (éducation) et améliorer l'efficacité de stratégies de lutte contre les pollutions basées sur le principe du pollueur – payeur (**TOUATI, 2010**).

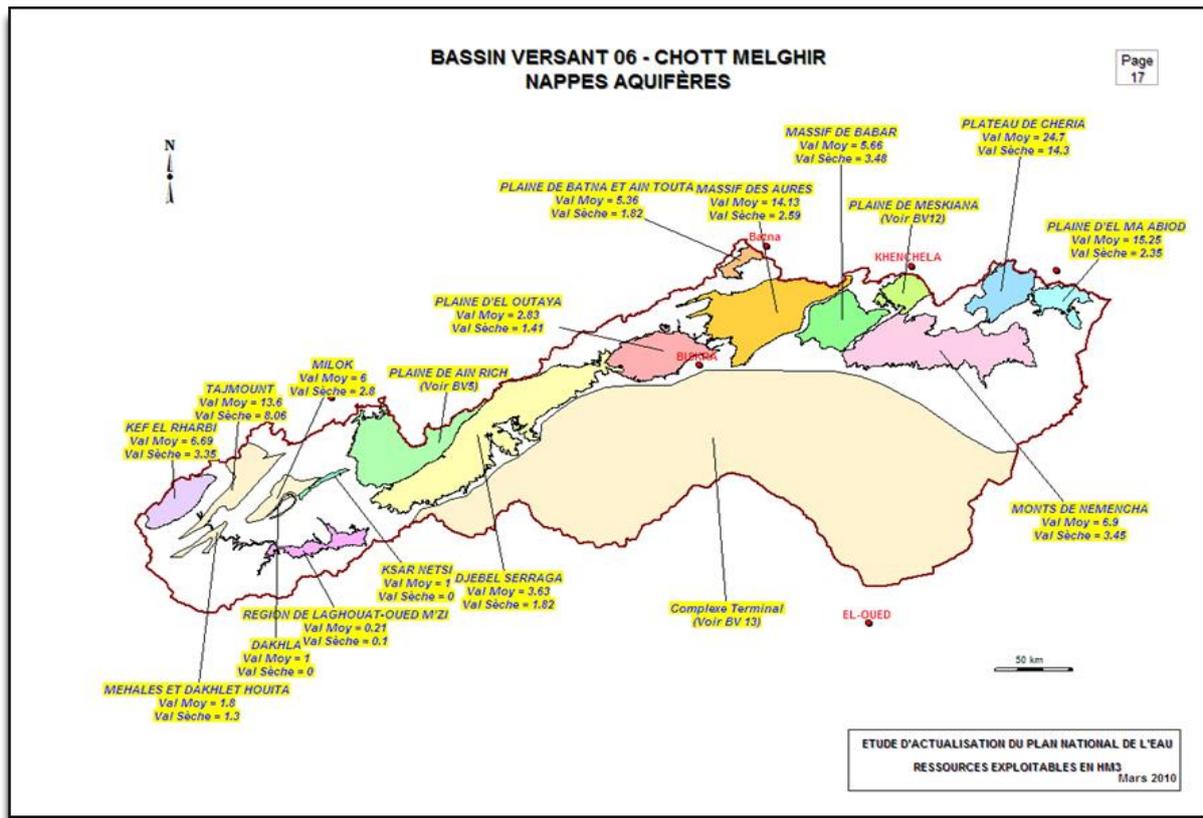


Figure 15 : Etude d'actualisation du plan national de l'eau (ressources exploitables en Hm<sup>3</sup>), A.B.H.S, (2010).

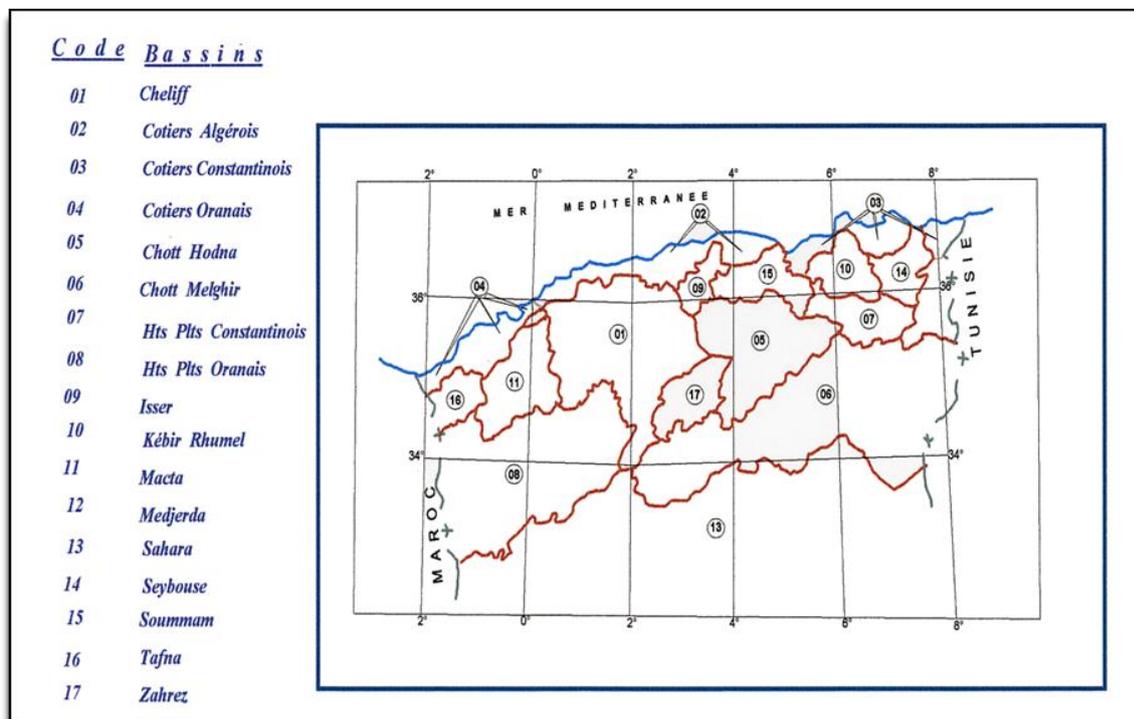


Figure 16 : Les codes des 17 bassins versants (A.N.A.T, 2003)

## II. 3. Les ressources en eau dans la région de Biskra

La wilaya de Biskra comprend trois grands sous bassins, la vallée d'Oued Djeddi, la cuvette d'El Outaya et la plaine de Biskra. Le potentiel total de la wilaya avoisine 2113.86 Hm<sup>3</sup>/an dont 2042,43 Hm<sup>3</sup>/an, soit 96,6 % des potentialités proviennent des forages et puits (ANRH, 2010).

### II.3.1. Ressources en eaux souterraines

La wilaya de Biskra présente des ressources en eau souterraines importantes, représentées par quatre unités aquifères et sont respectivement :

- Nappe phréatique du Quaternaire.
- Nappe des sables du Mio-pliocène.
- Nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et du Sénonien.
- Et nappe des grés du continental Intercalaire (HADDOUD, 2013).

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource en eau potable dans toute la région de Biskra. La mobilisation de ces eaux se fait généralement au moyen de forages peu profonds. La ville de Biskra est approvisionnée à partir de deux principaux champs captant ainsi que par un nombre important de forages à l'intérieur de la ville.

Les volumes d'eau soutirés par nappe et par an dans le bassin de Chott Melghir sont illustrés par la figure suivante :

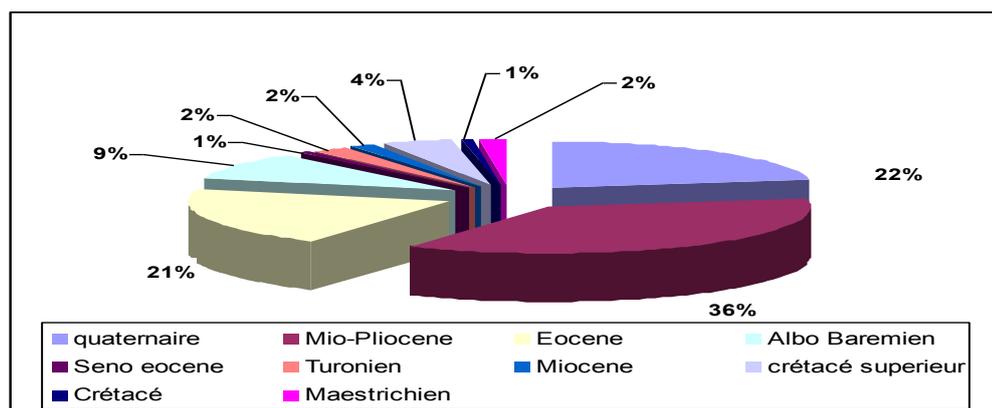


Figure 17: Répartition d'eau soutirée par nappe (en Hm<sup>3</sup>/an)

Source : ABHS, 2012.

La figure illustre les proportions des volumes d'eau soutirés par nappe pour la région du chott Melghir.

Il ressort que la nappe du Mio-pliocène est la plus exploitée avec un pourcentage de 36%, et les nappes du Séno Eocène et Crétacé sont celles les moins exploitées avec un pourcentage de 1%.

La région de Biskra se caractérise par les formations géologiques de l’Abo Barrémien. Cette formation renferme une nappe captée à plus de 2000 m avec une eau chaude de plus de 55°C avec un débit qui peut dépasser les 120 l/s (ABHS, 2012).

Dans le bassin de Chott Melghir, le volume mobilisé totale (eaux souterraines + eaux de surface) est égale 1742,51 Hm<sup>3</sup>. La figure (figure 18) montre que 50% du volume mobilisé souterraine totale dans le bassin se concentre dans la wilaya de Biskra (873,1 Hm<sup>3</sup>).

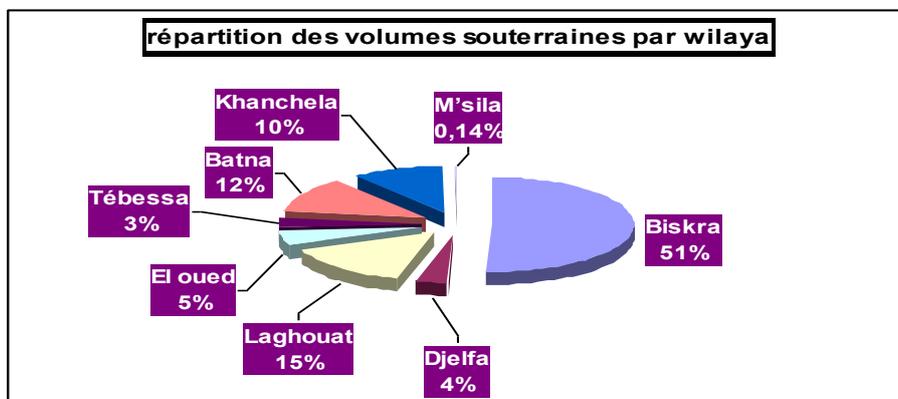


Figure 18 : Répartition des volumes souterrains par wilaya  
Source : ABHS, 2012.

La wilaya de Biskra totalise 11440 points d’eau, dont 7861 forages, 3573 puits et 6 sources. Le volume d’eau souterraine mobilisé est de 710,28 Hm<sup>3</sup>. La répartition des volumes par usages est représentée dans la figure (figure 19).

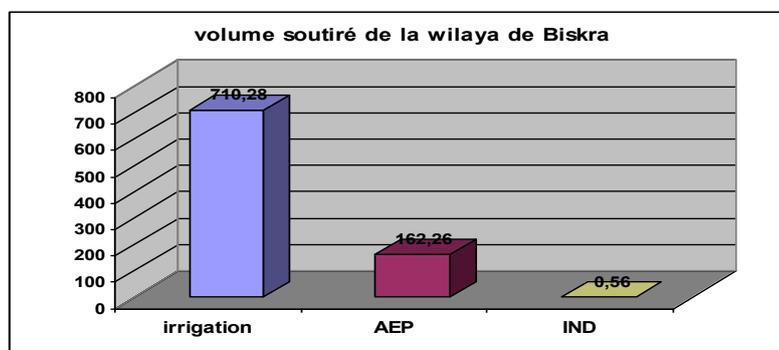


Figure 19 : Volume soutiré de la wilaya de Biskra.  
Source ABHS, 2012.

La wilaya de Biskra se caractérise par une forte exploitation avec un volume totale de 873,1 Hm<sup>3</sup> dont :

- ✚ 710,28 Hm<sup>3</sup> est pour l'irrigation.
- ✚ 162,26 Hm<sup>3</sup> est pour l'AEP.
- ✚ 0,56 Hm<sup>3</sup> est pour L'industrie (ABHS, 2012).

### II.3.1.1. Les nappes superficielles

Cette nappe se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires, et c'est au niveau des palmeraies qu'elles sont le mieux connues avec une profondeur comprise entre 20 et 150 m et un débit de 5 à 10 l/s. Les nappes les plus importantes dans la wilaya, sont celles de l'Oued Biskra et de l'Oued Djeddi. Leur alimentation est assurée par les précipitations atmosphériques, l'infiltration des eaux des oueds en période de crue et par les eaux d'irrigation (A.N.A.T, 2003).

### II.3.1.2. La nappe des sables

Constituée par une alternance de niveaux d'argile, sable et cailloutis d'âge Mio-pliocène, elle couvre une grande superficie de la wilaya. Cette nappe est fortement exploitée dans la partie Est de la Wilaya et notamment dans la zone de M'zira.

Du point de vue hydrodynamique, cette nappe présente un système très hétérogène représenté par des couches de diverses perméabilités. La profondeur de cette nappe est de 100 à 300 m, avec un débit moyen de 15 l/s.

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

Le sens d'écoulement principal de la nappe des sables est vers la zone du chott Melghir (A.N.A.T, 2003).

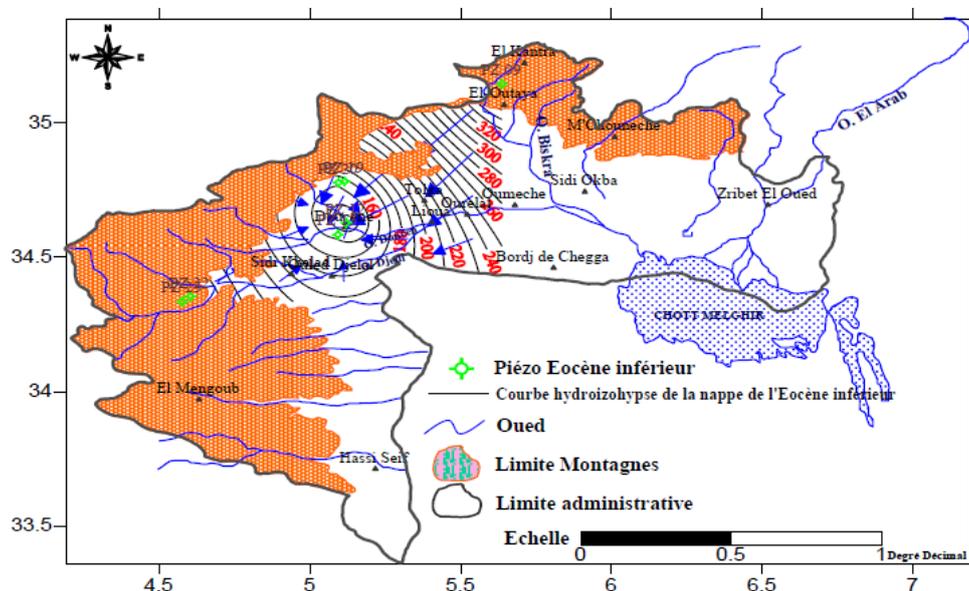
La wilaya de Biskra présente depuis longtemps, une sur-exploitation des ressources en eau souterraines est ce par la prolifération des forages. Cet accroissement, rentre dans le cadre du développement agricole de la région. L'entretien et le suivi de ces ouvrages deviennent de plus en plus difficiles.

A l'exception des ouvrages étatiques, il est remarqué qu'un nombre important de forages et de puits appartenant aux privés, présentent des équipements inadéquats. On note aussi, que ces ouvrages n'ont pas fait l'objet de suivi technique des travaux (A.N.A.T, 2003).

### II.3.1.3. La nappe des calcaires

Elle est la plus sollicitée dans les palmeraies des Zibans, où elle est appelée « Nappe de Tolga ». La profondeur de cette nappe varie de 100 m dans la zone de Tolga à 500 m dans la zone de Lioua. Le débit varie de 10 l/s par pompage jusqu'à 30 l/s jaillissant (cas d'Ourlal et Lioua). Les différents sondages réalisés dans cette région montrent qu'il existe une continuité hydraulique entre la nappe de l'Eocène inférieur et celle du Sénonien Supérieur sous-jacente. Par contre, dans la zone d'Oumache et M'lili, ces deux nappes sont séparées par une épaisse couche de marne et de marno-calcaire et où la profondeur est d'environ 900 m (ABHS, 2005; A.N.A.T, 2003).

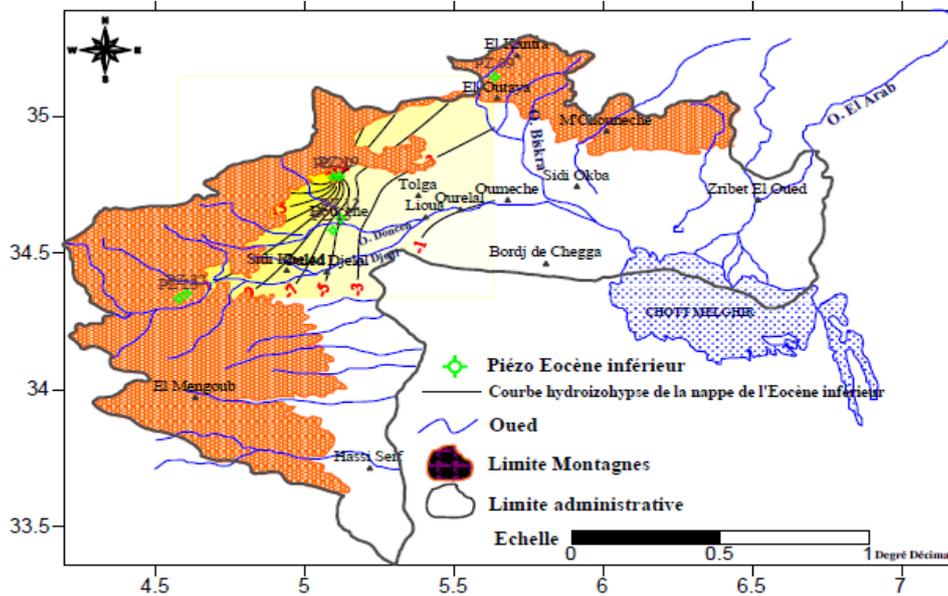
En vue de contribuer à la compréhension des fluctuations et notamment le rabattement du niveau des nappes, de même que la différence de certains débits entre deux périodes et à cet égard, il a été pris comme référence les variations des débits des forages. Il est donc clair que la diminution des réserves d'une nappe est due à l'association de deux causes : la surexploitation de cette aquifère et la prédominance des périodes sèches sur les périodes humides (A.N.A.T, 2003). Les piézomètres nous ont permis de suivre cette variation (figure 20). Drouiche et al ont fait la comparaison entre les piézomètres entre l'année 2006 et 2010.



**Figure 20 : Carte de différence de niveaux piézométrique dans la nappe du Miopliocène (entre 2006 et 2010) (DROUCHE et al; 2011).**

La carte montre deux zones de niveau piézométrique, le premier est dans la région de Zeribet El Oued, qui est apparemment en raison d'une surexploitation du système aquifère.

L'importance des puits dans cette région identifiée par l'ANRH Biskra montre cette surexploitation. Pour l'axe de Sidi Okba - Ourelal , le retrait est également important parce qu'il atteint 34 m dans la région Ourelal . Ce prélèvement peut expliquer l'importance des puits (2145 puits à Sidi Okba et 960 puits à Ourelal, (d'après l'ANRH).



**Figure 21: Carte de différence de niveaux piézométrique dans la nappe de l'Eocène inférieur (entre 2006 et 2010) (DROUCHE et al; 2011).**

L'aquifère de l'Eocène inférieur (Nappe des calcaires) est exploitée dans le Nord-Ouest et du Sud- Ouest de la région de Biskra. Le suivi du prélèvement est réalisé par six piézomètres qui restent insuffisants.

La différence entre le niveau de la carte piézométrique, (figure 21) montre un abaissement important vers les piézomètres PZ19 et PZ20 dans la zone Chaiba, cette région est caractérisée par la présence d'un grand nombre d'habitants.

Alimentant l'ensemble de l'agglomération de Biskra, les champs captant d'Oued Biskra et de Megloub constituent les ressources principales en eau potable. D'autres points d'eau se situant à l'intérieur même de l'agglomération contribuent au renforcement du débit mis en circulation.

Pour notre étude, les forages choisis sont tous destinés à l'alimentation en eau potable. Elles sont mentionnées dans le tableau 01 en annexe.

### I.3.1.4. La nappe Albienne

C'est un réservoir très important constitué essentiellement de grès et de marne d'âge Albien et Barrémien, d'une profondeur comprise entre 1600 et 2500 m, et un débit moyen de 80 l/s jaillissant. Son exploitation est très coûteuse en raison de sa profondeur. En outre sa température excessive la rend difficilement utilisable aussi bien pour l'alimentation en eau que pour l'irrigation.

Cette nappe est exploitée dans 19 forages dans la wilaya (A.N.A.T, 2003).

### II.3.2. Besoins théoriques en eau potable

Les besoins annuels de l'année 2011 en eau domestique dans la wilaya de Biskra représentent 39% des besoins en eau potable de la région du chott Melghir.

La mobilisation des ressources en eau potable à Biskra est passée de 127 millions de m<sup>3</sup> en 2002 à 162 millions de m<sup>3</sup> en 2011.

Le volume produit en eau potable dans la wilaya est estimé en 2002 à 88,34 Hm<sup>3</sup>/an, ce volume s'amoindrir d'environ 7 Hm<sup>3</sup>/an en 2011. Le volume distribué à travers la wilaya est passé de 52 millions de m<sup>3</sup> en 2002 à 63 millions de m<sup>3</sup> en 2011 (ABHS, 2012).

### II.3.3. Les superficies irriguées dans la wilaya de Biskra

Le bassin versant de chott Melghir se caractérise relativement par une faible surface irriguée, soit uniquement 30% de la surface agricole utile.

La superficie la plus importante correspond à la wilaya de Biskra, qui présente 47%, ce qui reflète la forte consommation en eau pour l'irrigation et ce, pour une superficie de 98478 ha avec un volume d'eau de 734,28 Hm<sup>3</sup>/an, dont 24 Hm<sup>3</sup> issues des barrages.

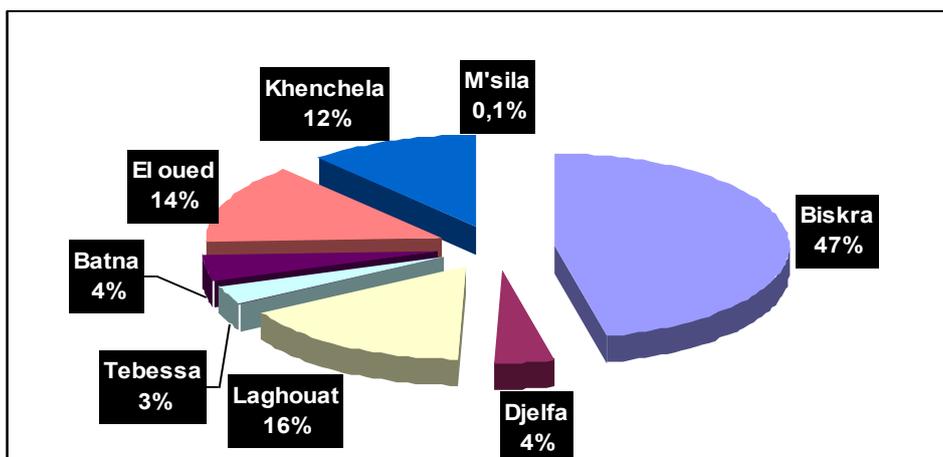


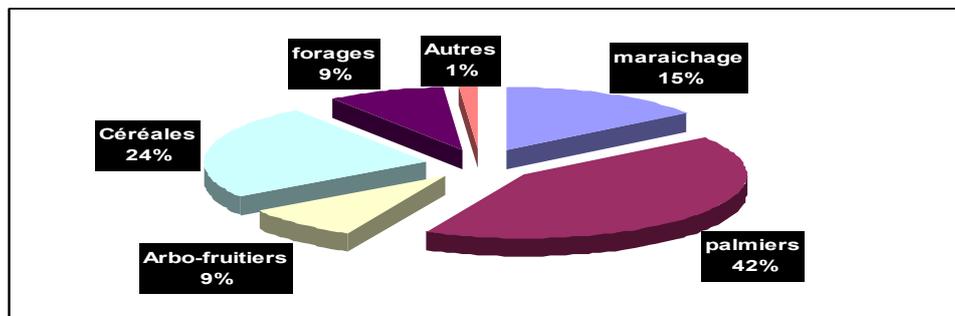
Figure 22 : Les proportions du volume mobilisé dans le Bassin

Source ABHS, 2012.

La figure (figure 22) montre les proportions des volumes mobilisés par les ressources en eau souterraines destinés à l'irrigation pour chaque wilaya du Bassin versant. L'irrigation prend la part du lion avec 88% des ressources totales mobilisés, soit 1527,25Hm<sup>3</sup>/an.

La wilaya de Biskra est caractérisée par une forte exploitation en irrigation avec un volume totale de 710,28 Hm<sup>3</sup>/an.

Les données des surfaces irriguées par type de cultures fait ressortir que, la wilaya de Biskra occupe une superficie importante en plus des superficies cultivées par la phœniculture, représentant une superficie d'environ 40 000 ha avec une pourcentage de 42% de la superficie totale, c'est au Zeb Gherbi qu'on enregistre la concentration de palmeraies entre Ouled Djellal, Tolga et Sidi Okba , tandis que la céréaliculture occupe une superficie de 23 000 ha (24% ). La figure suivante présente les surfaces irriguées selon les types des cultures.



**Figure 23 : Superficie irriguée par type des cultures dans la wilaya de Biskra.**

Sources : ABHS, 2012.

#### II.3.4. Ressources en eaux superficielles

Les ressources en eau représentent l'une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et social. Les ressources en eau de surface sont présentes dans la région d'étude et sont alimentées essentiellement par les principaux oueds, à savoir : Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued El Arab, Oued El Abiod etc..., qui se caractérisent par un écoulement intermittent. Lors des crues, ces oueds se jettent dans le Chott Melghir et ce par manque d'infrastructures destinées à la mobilisation de ces ressources (barrages, retenues collinaires, ...) entraînant une grande perte pour une meilleure utilisation de cet élément essentiel à toute activité.

Comme étant l'exutoire de l'ensemble des eaux de surfaces dans le bassin de Melghir , le chott reçoit les eaux des principaux oueds suivants : A l'Est, oued El Arab, principal oued de la zone, avec ses 5 affluents.

Et Oued El Haguef, au Nord, Oueds El Abiod et Biskra qui se jettent dans l'Oued Djeddi au lieu dit Saada, à l'Ouest, Oued Djeddi avec ses 6 affluents (**HADDOUD, 2013**).

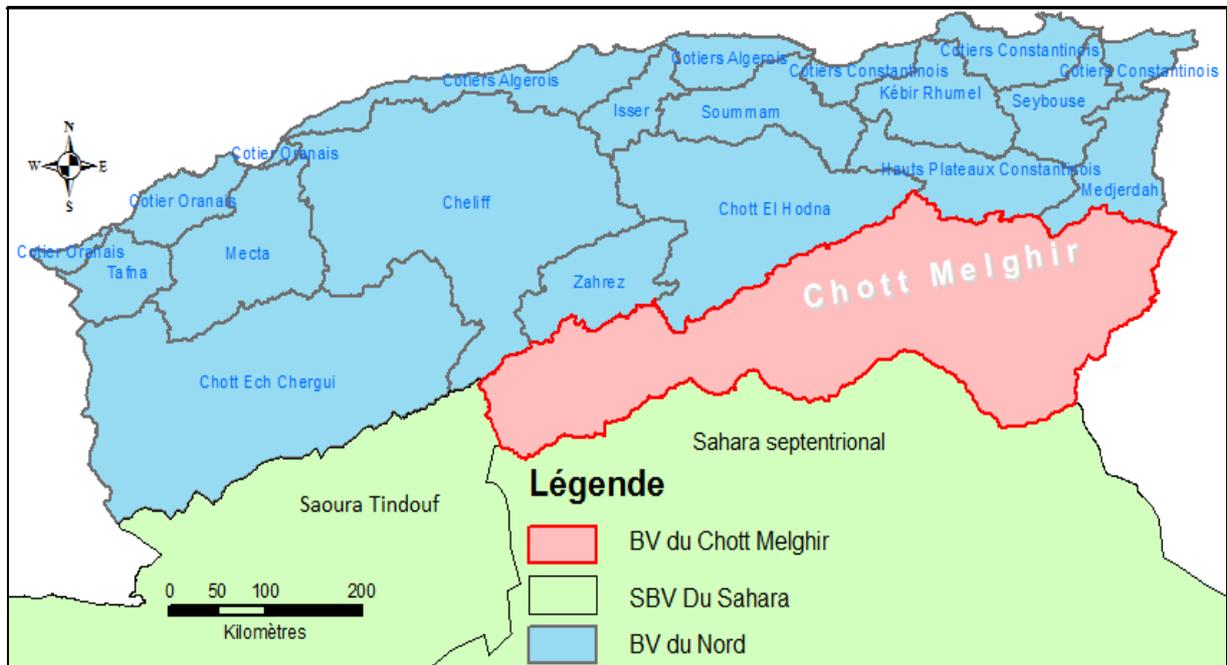
Le bassin versant de Chott Melghir est l'un des 17 bassins versants hydrologiques classés par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (A.N.R.H.).

La figure ci-contre présente les différents bassins versants.

#### II.3.4.1. Caractéristiques du bassin versant

##### Aperçu sur le bassin versant du Chott Melghir

Le Chott Melghir est un des grands bassins versants de l'Algérie. Il occupe une surface estimée à 68750 km<sup>2</sup>. La carte suivante – précise la position du Chott Melghir parmi les 17 bassins versants classés par l'A.N.R.H.



**Figure 24 : Carte de la situation géographique du bassin versant de chott Melghir (ABHS, 2012)**

Il bénéficie des apports en eau en période de crue des différents cours d'eau du versant Sud des Aurès. L'oued Djeddi, cours d'eau temporaire a de nombreux affluents qui drainent de grands espaces et les crues enregistrées au niveau de la station de contrôle, à son exutoire à M'lili, témoignent de l'ampleur des dégâts qu'il a causé à l'aval. Cet oued, est rejoint lors de son entrée à la wilaya, par de nombreux affluents et constitue une source de vie pour les nombreuses oasis fertiles.

Les pompages au fil de l'eau et les déviations sont nombreux ce qui représente un apport liquide non négligeable en matière d'irrigation des périmètres et vient en appoint au puisage dans les eaux souterraines (A.N.A.T, 2003).

### **1. Bassin versant d'Oued Djeddi**

Le bassin versant de l'oued Djedi couvre une superficie de 24200 Km<sup>2</sup>. C'est le cours d'eau le plus important du bassin versant.

Il traverse toute la région située à l'ouest du méridien de Biskra et se jette dans le Chott Melghir. Il est orienté Ouest – Est, mais au cours de son trajet, il subit des déviations locales et c'est ainsi qu'au niveau de Sidi Khaled il bifurque au Nord pour ne reprendre sa direction initiale qu'au niveau de Lioua.

L'oued Djeddi peut être considéré comme le collecteur de la vaste gouttière qui s'étend sur plus de 500 km au pied de l'Atlas saharien. Elle est assez fortement inclinée (2 pour mille) vers l'ENE. Partant de Rass Echaab, à 969 mètres d'altitude, au chott Melghir, à une vingtaine de mètres au dessus du niveau de la mer. L'origine de l'Oued Djedi se situe à la confluence des deux oueds : M'zi et Messad. Sur son passage, il reçoit plusieurs oueds provenant du flanc sud de l'Atlas saharien (ABHS, 2012).

### **2. Bassin versant d'Oued Biskra**

Plus à l'Est l'oued le plus important après l'oued Djedi est sans conteste, l'oued Biskra. Son bassin versant couvre une superficie de 2947 Km<sup>2</sup>. Il collecte des affluents issus des massifs des Aurès, notamment, oued Branis et oued El Hai. Il prend sa source dans les massifs des Aurès à une altitude qui dépasse les 2000 m. Oued Biskra possède localement un écoulement pérenne soutenu par les apports des sources qui sourdent à l'amont et les pompages. Il traverse la ville de Biskra pour se déverser dans le Chott Merghir. Il alimentait autrefois l'oasis de Biskra grâce aux crues relativement fréquentes en hiver (ABHS, 2012).

### **3. Bassin versant d'Oued L'Abiod**

Il est équipé d'un barrage au niveau de Foum El Gherza. Il prend sa source à une altitude de 1900 m et se jette dans le Chott Melghir. Il couvre une superficie de 1200 Km<sup>2</sup> (ABHS, 2012).

### II.3.4.2. Potentiel des eaux de surface

Les barrages sont d'une importance stratégique pour une région donnée, car ils constituent des réserves d'eau, dont la maîtrise de la gestion constitue un enjeu capital pour assurer une distribution régulière et planifiée de la ressource. La wilaya de Biskra possède d'appréciables potentialités en eau de surface, malgré sa position dans une zone semi-aride et à la porte du Sud. Du petit nombre de barrages existants au sud, 03 sont au niveau du bassin de Chott Melrhir, à savoir :

Le barrage de Foum El Gherza, le barrage des fontaines de gazelles et celui de Babar, implantés respectivement aux sections de oued El Abiod, oued El Hai et oued El Arab (aval) (ABHS, 2005).

Dans la région de Biskra, Deux grands barrages en exploitation, en l'occurrence celui de Foum El Gherza (Sidi Okba) et Fontaine des Gazelles (El Ouataya), dont la mise en eau a été faite en l'an 2000 (PDARE, 2011).

Le barrage de Fontaine des Gazelles devra assurer à lui seul, un volume régularisable de 14 Hm<sup>3</sup>, il sera d'un apport certain pour la mise en valeur du futur périmètre irrigable de la plaine d'El Outaya. (A.N.A.T, 2003).

#### 1. Barrage Foum El Gherza

Le barrage de Foum El Gherza se situe à 15 km Nord-Est de la ville de Biskra à une capacité de 32 Hm<sup>3</sup>. Il a été réalisé durant la période 1948-1950 à l'exutoire de l'Oued El Abiod qui draine un bassin versant d'environ 1300 Km<sup>2</sup>. Le taux d'envasement, assez fort, 450 000 m<sup>3</sup> par an, a réduit la capacité à près de 17 Mm<sup>3</sup> en 2003, tandis que l'évaporation (2 482 mm) fait perdre chaque année près de 5 Mm<sup>3</sup> par an (PDARE, 2011). Est un vieil ouvrage de plus d'un demi siècle et classé comme patrimoine national. Il a connu une opération de dévasement afin de récupérer près de 70% de sa capacité initiale de 47 Hm<sup>3</sup>.

Cet ouvrage d'art a permis à la région de Sidi Okba de garder sa vocation économique basée sur l'agriculture durant un demi-siècle, du fait qu'il a aidé à contrer la sécheresse qui sévit dans la région depuis une vingtaine d'années.

Il a un très grand intérêt économique dans la région puisqu'il permet d'irriguer plus de 300 000 palmiers dattiers des palmeraies de Sidi Okba, Garta, Seriana et Thouda (KRIMIL, 2008). La fiche suivante présente les différentes caractéristiques du barrage.

**Fiche technique (ANBT, 2015)**

Année de construction	1947
Année de Mise en eau	1950
Capacité	47 hm <sup>3</sup>
Capacité dernier levé (2004)	14,89 hm <sup>3</sup>
Apport moyen annuel	21.30 hm <sup>3</sup>
Envasement annuel	0.80hm <sup>3</sup> /an
Surface du bassin versant	1300 km <sup>2</sup>
Hauteur	73 m
Longueur	186 m
Côte retenue Normale (R.N)	195,90 m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	,00 m
Déversoir à seuil libre	730 m <sup>3</sup> /s

**Figure 25: Barrage Fom El Gherza****2. Barrage Fontaine des Gazelles**

Le barrage Fontaine de Gazelles Construit en 1986 sur Oued El Hai. Il régularise les apports d'un bassin de 1660 km<sup>2</sup> avec une capacité de 55.5 Hm<sup>3</sup>, est à 35 km nord-ouest de la ville de Biskra. Sa construction rentre dans le cadre du développement agricole de la plaine d'El Outaya. C'est un barrage a noyau central dote d'un évacuateur de crues en labyrinthe (TOUATI, 2010). Compte tenu du climat on enregistre de grandes pertes par évaporation, qui dépassent les 6 Mm<sup>3</sup> par an. Les volumes régularisés sont à peine de 14 Mm<sup>3</sup> utilisés pour les besoins d'irrigation (PDARE, 2011).

**Fiche technique (ANBT, 2015)**

Année de construction	1986
Année de Mise en eau	2000
Capacité	55,50 hm <sup>3</sup>
Capacité dernier levé (2004)	54,74 hm <sup>3</sup>
Apport moyen annuel	20,6 hm <sup>3</sup>
Envasement annuel	0,30 hm <sup>3</sup> /an
Surface du bassin versant	1660 km <sup>2</sup>
Hauteur	52 m

Longueur	370,0 m
Côte retenue Normale (R.N)	384,00 m
Côte Plus Hautes Eaux (P.H.E)	388,00 m
Déversoir à SEUIL LIBRE	3000 m <sup>3</sup> /s



**Figure 26: Barrage Fontaine des Gazelles**

### **II.3. 5. Contraintes et enjeux**

Les contraintes importantes liées à la ressource en eau proviennent surtout d'une mauvaise gestion actuelle. Les forts rabattements des niveaux hydrostatiques et les chutes de pression observés sur les nappes autour de certains grands centres urbains et aires d'irrigation notamment (Tolga, Biskra, Ouled Djellal) puisent leurs origines dans une consommation excessive en eau. (AEP et irrigation). En plus de la contrainte liée à la surexploitation, s'ajoute celle de la dégradation de la qualité des eaux par la salinité qui est due également à la mauvaise gestion de la ressource en eau (forages illicite, équipement inadéquat, interférence de nappe etc.)

Par ailleurs, la problématique liée à la remontée des eaux des nappes phréatiques nuisibles pour les cultures et l'environnement d'une manière générale doit maîtriser afin, de l'amélioration de l'assainissement urbain et agricole et ce, dans le but de limiter les impacts des contraintes actuelles de remontée de nappe phréatique et de pollution (Tolga) (ABHS, 2005).

Les eaux de surfaces, dont la disponibilité est aléatoire (conditions climatiques) ne peuvent à elles seules satisfaire la demande en eau potable et industrielle de la wilaya.

Elles peuvent compléter le captage des eaux souterraines dans les zones où il y a un déficit. Il ressort que l'alimentation en eau potable et industrielle des populations de la wilaya de Biskra, est satisfaite uniquement à partir des eaux souterraines. Les eaux de surfaces sont utilisées principalement à l'irrigation des périmètres et des grandes surfaces en épandage en période de crue. Cette constatation a permis aussi, de faire ressortir les limites des ouvrages de mobilisation des eaux de surface, l'intérêt qui sera accordé pour leur renforcement et aussi la nécessité de construire d'autres barrages de différentes catégories (ANAT, 2003).

#### II.4. Conclusion

L'Algérie dispose de ressources en eau limitées et inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources sont principalement situées dans le Nord du pays.

Les ressources en eau du Sud algérien font partie du grand système aquifère du Sahara Septentrional. Les régions sahariennes disposent d'un territoire immense qui couvre environ  $\frac{3}{4}$  du territoire national. Ces régions disposent aussi de ressources en eau importantes constituées en majorité de réservoirs d'eau souterraine non renouvelable pour différents niveaux aquifères du complexe terminal et du continental intercalaire. Mais leur mobilisation reste limitée du fait de la difficulté de leur exploitation. Les ressources de surface sont surtout présentes au Nord où elles sont mobilisées par la construction de nombreux barrages. Elles sont ainsi exploitées aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour l'industrie et l'agriculture.

La wilaya de Biskra présente des ressources en eaux souterraines importantes, dont 50% du volume mobilisé souterrain total dans le bassin du Chott Melghir se concentre dans cette wilaya. Cependant, les eaux souterraines ont connu une surexploitation, et ce par la prolifération des forages. Cet accroissement est surtout lié au développement agricole de la région ces dernières années. La superficie irriguée la plus importante dans le bassin est de 47% à Biskra, ce qui reflète la forte consommation en eau pour l'irrigation.

La wilaya de Biskra comprend trois grands sous bassins, la vallée d'Oued Djeddi, la cuvette d'El Outaya et la plaine de Biskra. Les deux barrages en exploitation Fontaine des Gazelles et Foum El Gherza sont destinées à l'agriculture, ces deux ouvrages sont exposés à l'envasement, ce qui réduit le volume mobilisable en eau. Il pourrait être nécessaire de construire d'autres barrages au lieu du dévasement qui est très coûteux.

A cet effet, la gestion intégrée des ressources en eau devient une nouvelle politique pour garantir leur valorisation et leur durabilité, notamment dans les régions arides et plus particulièrement la région de Biskra.

### **III.1. Introduction**

La pénurie d'eau est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés, et particulier, celles des pays en voie de développement. En effet, l'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont eu pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux souterraines et une baisse très significative des réserves qui représentent parfois les seules ressources d'eau pour l'alimentation des populations (**BAALI, 2001**). Les ressources superficielles ont subi durant les deux dernières décennies des effets négatifs de la sécheresse, de la pollution et de la mauvaise gestion (**ZOUINI, 2009**).

L'activité humaine, qu'elle soit industrielle, urbaine ou agricoles, produit une quantité de substance polluantes de toute nature qui sont à l'origine de différents types de pollution qui peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple), périodique ou encore accidentelles ou aiguës, à la suite du déversement intempestif des produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou de lessivage des sols urbains lors de fortes pluies (**RODIER., 2005**).

La pollution de l'eau est une altération des qualités naturelles (physiques et chimiques) d'une eau. C'est à la fois l'action et les processus de dégradation des qualités de l'eau. La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques (**BOUCENNA, 2009**).

Au cours de ce chapitre, nous nous sommes intéressé de décrire les données bibliographique sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux de la région de Biskra, ainsi que la pollution effectue ces eaux, cette pollution qui provoque des maladies à transmission hydrique dès leur consommation.

### **III.2.Rappel bibliographique sur les paramètres de qualité physico-chimiques et biologiques des eaux naturelles**

Les ressources en eau sont constituées d'eaux souterraines et superficielles. Elles sont prélevées pour être destinées à la consommation humaine, l'agriculture ou l'industrie.

Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses, de nature physico-chimique (sels minéraux, matières en suspension, micropolluants organiques et minéraux) et de nature biologique (bactéries, virus, parasites, ...).

Certains de ces éléments peuvent non seulement dégrader la qualité organoleptique de ces eaux mais aussi créer des problèmes de santé publique (**BEAUDRY, 1984**).

L'eau représente le mode de transport ainsi que le réactif chimique. Lors des nombreuses interactions ayant lieu avec les roches (par exemple dissolution et précipitation) et le milieu vivant vont naître les sols, les sédiments et les roches sédimentaires, et en retour les substances dissoutes parviennent dans l'eau. La composition des eaux naturelles est déterminée par quelques processus importants, en particulier l'altération des roches, les interactions entre organismes et eau par photosynthèse et respiration, et les échanges entre l'atmosphère et l'eau. L'oxygène (O<sub>2</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), qui jouent un rôle primordial dans la composition des eaux, sont régulés, outre les échanges avec l'atmosphère, par la photosynthèse et la respiration des organismes vivants et par l'altération des roches (**SIGG et al ; 2014**). Les caractères physico-chimiques des eaux, ayant été acquis au cours de leur transfert dans l'aquifère, seront fonction, aussi bien, de la nature lithologique des formations traversées, que du temps de transit et de la profondeur de la nappe.

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes : les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate, fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,...) (**ENCYCLOPÉDIE MÉDICALE, 1997**).

Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine (**HUBERT et MARIN., 2001**).

### **III.3. Quelques données sur la qualité des eaux de la région d'étude**

#### **III.3.1. Contexte des eaux Algériennes**

En Algérie, l'approvisionnement en eau potable se fait à la fois par les eaux superficielles mobilisées au niveau des barrages et par les eaux souterraines qui sont limitées, utilisées à leur capacité maximale avec une tendance à l'épuisement (**MAHI, 1998**).

La qualité des eaux superficielles se dégrade dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales.

Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Nombre de villes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène (REMINI, 2010).

Dans le Sud algérien, l'alimentation en eau potable est assurée exclusivement par des eaux souterraines provenant des nappes du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire (nappe albienne).

- Sur le plan de la qualité de l'eau le rapport national d'Algérie, sans faire de distinction entre les eaux de surface et l'eau souterraine, indique que « sur la globalité des eaux inventoriées, 44% seraient de bonne qualité, 44% de qualité satisfaisante et 12% de qualité médiocre (BZIOUI, 2005).
- Les analyses publiées par les bulletins mensuels de l'ANRH indiquent par ailleurs que les eaux de barrage présente une minéralisation assez conséquente à l'exception de certains, et leur pH varie de 6,9 à 8, cela suppose qu'elle peut être dispensée de correction de pH. Une pollution organique exprimée en (DBO<sub>5</sub> ou en DCO) est également présente à des teneurs élevées (le tableau 03 présente les valeurs de certains paramètres).

**Tableau 03 : Les valeurs des principaux paramètres de la qualité de l'eau de quelques Barrages exploités en Algérie (ANRH, 2016)**

Barrage	Usage	Capacité estimée (2015 Hm <sup>3</sup> )	Volume (Hm <sup>3</sup> )	pH	RS (mg/l)	O <sub>2</sub> d %	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DCO (mg/l)	MO (mg/l)
Fontaine des Gazelles	IRR	54,740	29,956	7,15	1122	91,01	1	0,019	0,190	0,010	4	44	7,4
Foum El Gherza	IRR	14,89	8,201	7,02	1044	113,89	3	0,016	0,160	0,030	3	35	6,3
Boukourdane	AEP IRR	105,000	36,331	8,8	577	110,2	1,3	0	0,05	0,031	4	40	4
Beni Bahdel	IRR AEP	54,630	30,008	7,31	500	65,9	4	0,090	0,080	0,040	2,0	9	2,8

- Les eaux sont aussi chargées en éléments azotés et phosphorés, indices d'une pollution d'origine anthropique (eaux usées urbaines, utilisation abusive d'engrais,...).

- Quant aux eaux souterraines algériennes, le tableau 04 présente les caractéristiques physico-chimiques de quelques eaux souterraines algériennes (eaux de sources et de forages) à travers le Nord et le Sud du pays.

**Tableau 04: Analyses physico-chimiques de quelques eaux souterraines algériennes (SARI, 2014 ;STUCKY-BG-IBG, 2004).**

Paramètres	Eau de Source Attar (Région de Tlemcen)	Unité	Paramètres	Eau forage (Tamanrasset)	Unité
pH	7,25	-	pH	7,24	-
Conductivité	886	μS/cm	Conductivité	3,14	mS/cm
Salinité	0,2	g/l	Résidu sec à 110°C	2100	mg/l
Turbidité	0,570	NTU	Température	23,8	°C
TA	00	mg/l	TA	-	mg/l
TAC	337	mg/l	TAC	12,75	°F
TH (dureté totale)	44,5	°F	TH	82,5	°F
Ca <sup>2+</sup>	57	mg/l	Ca <sup>2+</sup>	189,7	mg/l
Mg <sup>2+</sup>	73	mg/l	Mg <sup>2+</sup>	87,6	mg/l
Cl <sup>-</sup>	52	mg/l	Cl <sup>-</sup>	600	mg/l
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	00	mg/l	Na <sup>+</sup>	322	mg/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	411	mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	155,6	mg/l
CaCO <sub>3</sub>	445	mg/l	K <sup>+</sup>	31	mg/l
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	< 0,001	mg/l	Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	-	mg/l
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	< 0,01	mg/l	Ammonium	-	mg/l
Phosphore P	0,03	mg/l	minéralisation	1947	mg/l
Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,09	mg/l			mg/l
Fer (Fe)	0,01	mg/l	Somme des ions	1962	mg/l
Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	38	mg/l	Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	550	mg/l
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	68,2	mg/l	Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	26	mg/l

En faisant une rapide comparaison de cette qualité avec les normes de l'OMS (2004) (Tableau 02 en annexe), nous constatons globalement une minéralisation assez élevée pour toutes les eaux. Dans le cas des eaux du sud du pays, la dureté est également importante, dépassant largement 50°F. De plus, les TAC sont assez faibles. Ce qui suggère que la dureté permanente associée aux chlorures et aux sulfates est également importante.

Les eaux du sud algérien présentent donc une composante minérale variée et à des teneurs dépassant souvent les normes.

### III.3.2. Contexte des eaux du Sahara Septentrional

Les ressources en eaux souterraines dans le Sahara Septentrional sont représentées par deux grands systèmes aquifères superposés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Les données hydrochimiques relatives aux eaux souterraines de la région d'étude sont assez disparates, souvent ponctuelles et s'intéressent le plus souvent aux paramètres de la salinité exprimés en termes de conductivité ou de résidu sec.

Depuis le projet ERESS de l'UNESCO en 1972, des travaux divers ont concerné les eaux des nappes du Continental intercalaire (CI) et du Complexe terminal (CT) aussi bien par des organismes nationaux (ANRH, MRE,...) que dans le cadre de publications universitaires (**ACHOUR, 1990 ; BOUCHAHM et ACHOUR, 2008, ACHOUR et al, 2009**) ou de thèses de Doctorat soutenues (**OULD BABA SY, 2005 ; PETERSEN, 2014**)

Les eaux issues de ces nappes aquifères posent de sérieux problèmes de qualité physico-chimique, elles sont fortement minéralisées et très dures.

La qualité chimique des eaux souterraines du Sahara septentrional est du type sulfatochloruré et fortement minéralisée (**UNESCO, 1972, MEGDOUD, 2003**).

La qualité des eaux destinées pour l'Alimentation en Eau Potable et l'irrigation se pose avec acuité dans l'ensemble des régions sahariennes.

D'une manière générale les eaux destinées pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation, de même que pour les besoins industriels proviennent surtout des eaux souterraines. De point de vue quantité, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, surtout au bas Sahara (Sahara Septentrional), mais sa qualité physico-chimique (salinité) est le plus souvent médiocre. Cette salinité des eaux, dont une partie est d'origine géologique (primaire) s'accroît continuellement par une mauvaise gestion de la ressource en eau, notamment souterraine. (Salinisation secondaire) (**BOUTOUGA, 2012**).

La région Est du Sahara septentrional est particulièrement concernée par ces problèmes. Divers travaux antérieurs ont en effet mis en exergue que les eaux souterraines de cette région présentaient une salinité importante, surtout les eaux du complexe terminal.

Ces études ont porté sur la reconnaissance géologique (BEL et al, 1966 ; BUSSON, 1970 ; FABRE, 1976), et hydrogéologique (CORNET, 1964 ; BEL et al, 1969 ; CASTANY, 1982) du système aquifère du Complexe Terminal et du Continental Intercalaire du Sahara septentrional.

Alors que d'autres, ont évalué les potentialités hydriques du système, tout en proposant, divers scénarios de son exploitation à moyen et à long terme (UNESCO, 1972 ; NESSON, 1978. BRL, 1998 ; OSS, 2003b).

Les eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien, ont un pH voisin de la neutralité à caractère alcalin. NEZLI et al. (2009), TABOUCHE et ACHOUR (2004), notent que les conductivités électriques des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien ont une minéralisation élevée, variant entre 1900  $\mu\text{S/cm}$  et 3630  $\mu\text{S/cm}$  pour la nappe sénonienne et celle du Mio- pliocène de la région d'Ouargla. UNESCO (1972), OSS (2003), OULD BABA SY (2005), indiquent que les eaux du Sahara septentrional algéro-tunisiennes, sont fortement minéralisées, arrivant jusqu'à plus de 5000 mg/l dans certains cas pour la nappe du sable et celle du calcaire. Ces minéralisations relativement fortes témoignent d'un temps de contact plus élevé avec la matrice encaissante traduisant soit des circulations très lentes ou des temps de séjour prolongés, soit une contamination (DAKOURE, 2003).

Le tableau 05 illustre quelques valeurs pour des eaux du Sahara septentrional oriental dans les régions (Ouargla, Touggourt et El Oued).

**Tableau 05 : Analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région Orientale du Sahara Septentrional Algérien (Bouchahm et Achour, 2008)**

Région	Nappe	forage	C ms/cm	pH	TH°F	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	F mg/l
Ouargla	Phréatique	P121	4.46	8.20	188	363	235	591	21	198	1874	2302	1.07
		P118	6.45	8.05	194	505	164	1134	30	1032	2174	1605	1.61
	Miopliocène	D1F141	3.10	8.40	130	280	145	516	21	74	790	650	1.47
		D1F150	4.95	7.93	169	372	184	470	32	63	1000	963	1.43
Senonien	D1F128	1.90	7.58	102	245	99	233	14	124	360	620	1.68	
	D1F112	2.60	7.95	103	240	104	225	23	99	400	575	2.20	
Albien	HADEB ROMANI	2.50	8.06	103	196	131	178	22	165	400	580	0.63	
		2.79	7.84	105	229	115	372	27	98	739	1520	0.65	
Touggourt	Miopliocène	D38F36	5.09	8.24	268	796	166	455	30	146	1744	900	2.70
		D24F29	5.79	8.30	308	820	552	560	27	128	2174	1500	2.40
Albien	MEGARINE TEMACINE	2.81	8.11	158	380	152	215	34	134	924	800	0.70	
		2.16	8.31	120	320	97	145	33	159	924	699	0.70	
EL Oued	Phréatique	REGUIBA ZGOUB	3.35	7.64	450	816	590	80	11	34	700	1018	2.56
			13.46	7.48	533	1430	421	1125	59	178	4998	3170	5.21
	Pontien	CHOTT KOUINIE	52	7.32	100	128	166	600	32	122	685	860	1.72
3.70			7.51	113	190	157	540	30	113	693	870	1.65	
Albien	DW102 H-Khelifa	2.39	7.21	83	165	100	228	34	134	374	790	0.36	
		2.93	8.30	94	66	186	425	27	49	381	1820	0.80	

### III.3.3. Travaux sur la qualité des eaux de la région de Biskra

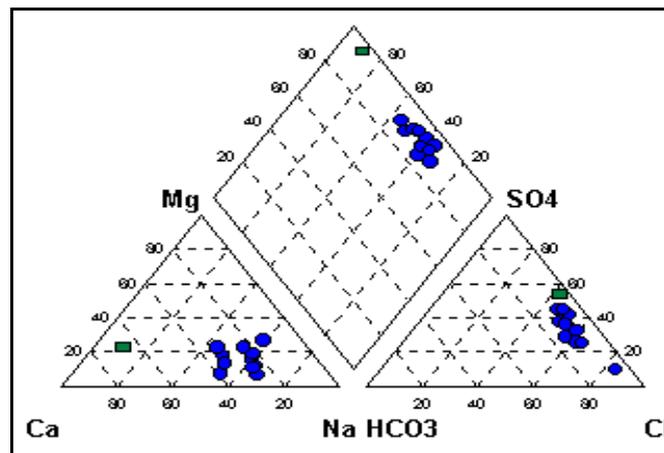
Au vu des études antérieures, les eaux des nappes (Phréatique, des sables et des calcaires) dans la région de Biskra présenteraient une qualité médiocre avec une minéralisation excessives, les eaux de la région présentent donc une composition minérale variée avec une minéralisation élevée dont l'origine est essentiellement due à la nature géologique des terrains encaissants (**BOUCHEMAL et al., 2004**).

Les eaux de la nappe des sables du Miopliocène se rapportent aux types chloruré sodique et sont caractérisées par des teneurs élevées en chlorure et en sodium, par rapport aux normes de CEE leurs teneurs en sels dissous est de 3 à 8 g/l (**ANRH, 1994**).

Les eaux de la nappe des calcaires de l'Eocène inférieur présentent un caractère sulfaté calcique et magnésienne. Les eaux des forages captant les eaux de cette nappe montrent qu'elles contiennent des fortes teneurs en sulfates en calcium et magnésium par rapport aux normes établies par la CCE.

Nous avons montré que (**BOUCHEMAL et al, 2004**), les eaux de la région de Biskra ont :

- ✓ Des pH assez voisins de la neutralité quel que soit le niveau aquifère.
- ✓ Les conductivités sont variables selon la nappe considérée, mais sont globalement élevées, souvent supérieures à 1 ms/cm (1000  $\mu$ s/cm).
- ✓ Les duretés calciques et magnésiennes dépassent dans tous les cas les normes de l'O.M.S., notamment dans les nappes les plus superficielles (phréatique et Miopliocène).



**Figure 27 : Diagramme de Piper- Nappe Phréatique (BOUCHEMAL et al ., 2004)**

Les eaux de la nappe phréatique seraient plutôt chlorurées sodiques et potassiques avec pour quelques forages un faciès sulfaté calcique et magnésien (figure 27).

La nappe du Miopliocène présente deux faciès le chloruré sodique ainsi que le chloruré et sulfaté sodique (figure 28).

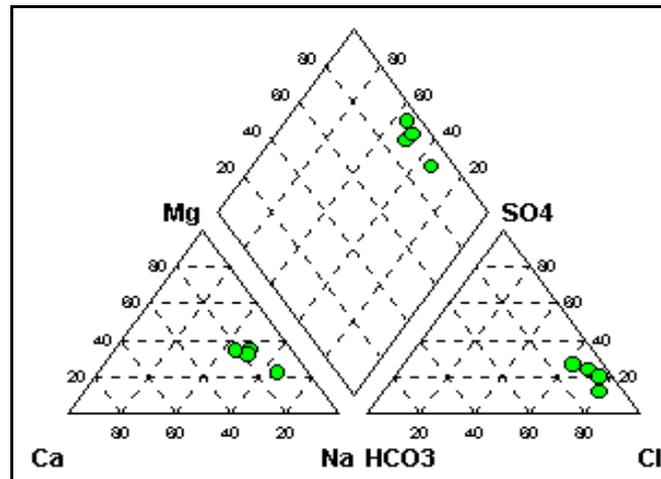


Figure 28 : Diagramme de Piper- Nappe de Miopliocène (BOUCHEMAL et al ., 2004)

Les eaux de la nappe de l'Eocène et de l'albien sont essentiellement sulfaté calcique et magnésien (figure 29 et 30).

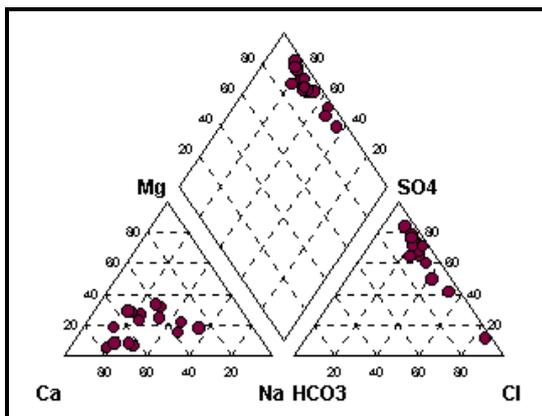


Figure 29 : Diagramme de Piper  
Nappe Eocène inférieure

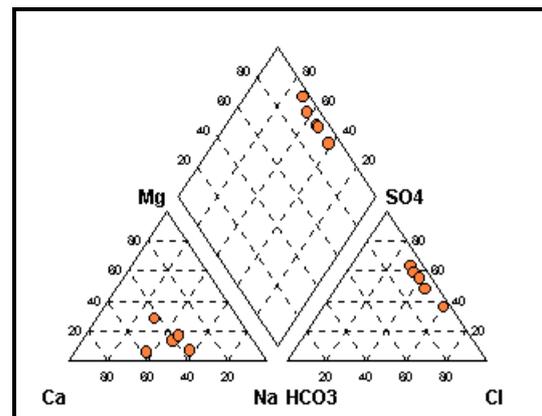


Figure 30 : Diagramme de Piper  
Nappe de l'Albien

GUERGAZI et ACHOUR (2005), signalent une forte concentration en sulfates pour des eaux souterraines traitées de réservoir et de réseau de distribution de la région de Biskra de 46 mg/l à 870 mg/l.

Comme le chlore, cet élément donne un goût désagréable aux eaux de consommation et les rendent corrosives vis-à-vis des conduites et des réservoirs. Il est aussi nocif pour les plantes.

GUERGAZI et ACHOUR (2005), ont observé une forte concentration en chlorures dans des eaux souterraines traitées de réservoir et de réseau de distribution de la région de Biskra de 128 mg/l à 1391 mg/l.

Une étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya (wilaya de Biskra) montre une salinité assez élevée. La manière selon laquelle évoluent les éléments chimiques dans l'eau lors de leurs parcours souterrains détermine deux faciès dominants (chloruré et sulfaté) (**BRINIS et BOUDOUKHA, 2013**).

### **III.3.3.1. Potabilité des eaux**

La bonne qualité de l'eau de boisson, est primordiale pour la santé humaine, surtout que les risques de pollutions existent à chaque étape du parcours de l'eau. Les maladies liées à la contamination de l'eau de boisson représentent une charge considérable pour l'humanité. Les interventions visant à améliorer la qualité de l'eau de boisson, apportent des bénéfices notables en matière de santé (**OMS, 2004**). Le coût du mètre cube d'eau est directement lié à son traitement et donc à la pollution de la ressource. A cet effet, dans toute gestion de ressource, les actions préventives doivent être privilégiées par rapport aux actions curatives (**MONTIEL, 1999**).

Dans la wilaya de Biskra la comparaison des résultats des analyses chimiques des eaux souterraines avec les normes internationales retenues par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S), montre que les teneurs en certains éléments chimiques dépassent très largement les concentrations maximales admissibles, notamment les chlorures, les sulfates et le calcium, engendrant une potabilité médiocre à mauvaise. Ces teneurs élevées sont surtout dues à la nature géologique des formations aquifères (**ANAT, 2003**).

On peut noter aussi que la qualité chimique de l'eau dans la région d'étude est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de la nappe et les facteurs anthropiques (exploitation intensive).

La comparaison des résultats des analyses avec les normes Algériennes nous a permis d'observer que les teneurs en sodium et en sulfates dans quelques forages dans la région d'étude présentent des concentrations élevées dépassent les normes mêmes ils sont des limites plus larges que les normes internationales.

### **III.3.3.2. Les problèmes de pollution**

#### **a) Pollution chimique**

La pollution de l'eau, quelque soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique,...) peut avoir des conséquences désastreuses, en se traduisant par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres aux milieux aquatiques (**RAMADE, 2002**).

Les activités de production agricole sont susceptibles d'affecter la qualité des eaux de diverses façons : par lessivage de nitrates, phosphates, pesticides, herbicides etc., contenus en quantité excessive dans les sols ou par contamination microbiologique. Or, l'enrichissement des eaux superficielles en nitrates et phosphates est à même d'entraîner une multiplication excessive de végétaux aquatiques et de déclencher un phénomène d'eutrophisation de cours d'eau, de lacs ou d'étangs (**RAINEY et al., 2003**).

Il est à souligner, que la mauvaise gestion de la ressource en eau dans certaines régions du Sahara est à l'origine de la création ou/et de l'accroissement de certains phénomènes notamment, la pollution des nappes phréatiques par des rejets liquides d'origine domestique ou industrielle. Une gestion rationnelle de la ressource en eau permet d'éviter, une forte minéralisation et évite la pollution (**BOUTOUGA, 2012**).

#### **b) Pollution microbiologique**

La pollution microbiologique est une forme de pollution organique. Les déchets organiques, en particulier les excréments, contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau.

La pollution microbiologique a pour source des eaux usées improprement traitées ou des eaux de ruissellement contaminées se déversant dans les cours d'eau, les plans d'eau et les eaux littorales. En outre, le milieu marin est le réceptacle ultime des pollutions émises en amont.

Ces germes ont des conséquences différentes sur la qualité de l'eau et les usages. Ils peuvent provoquer des maladies graves lorsqu'ils sont présents dans l'eau destinée à la consommation humaine. Ils remettent en cause les usages baignade, conchyliculture et pêche à pied (**BEAUDEAU et al ., 2001**).

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux souterraines en limitent la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles (**RODIER, 2005**).

#### **III.3.3.3. Pollution des eaux en Algérie**

La pollution de l'eau est une réalité en Algérie. Les rejets d'eau non contrôlés des industries, l'arrêt de fonctionnement de la presque totalité des stations d'épuration des eaux usées, le rejet direct des eaux usées en mer, l'état vétuste de la plupart des réseaux de distribution d'eau potable et leur juxtaposition avec les réseaux d'assainissement.

La contamination des eaux par des rejets accidentels, sont à l'origine de la pollution qui atteint par moments un stade critique avec l'occurrence de graves épidémies (**MAHI, 1998**).

En Algérie, la majorité de la population est installée sur le littoral, long d'environ 1.200Km, la quasi-totalité des activités socio-économiques est concentrée également sur la frange côtière ou se localisent les grandes agglomérations urbaines : Alger, Oran, et Annaba, ainsi que les grands pôles industriels Arzew, Bejaia et Skikda. Cette zone subit, donc, directement l'influence d'une pression démographique sans cesse croissante, une concentration industrielle importante, un trafic maritime et des activités portuaires intenses où s'ajoute l'apport des bassins versants des importants cours d'eau, drainant vers la mer les eaux usées engendrées par les activités humaines terrestres. Ici, la pollution est inquiétante puisque les usines pétrochimiques et les raffineries (Arzew, Skikda) rejettent des résidus liquides directement dans la mer via le réseau hydrographique (**TOUATI, 2010**).

Signalons que les décharges publiques constituent une vraie menace pour l'environnement et la santé publique car tous les déchets se retrouvent mêlés sur une même aire de décharge avec les risques immédiats, mais aussi futurs, sur les ressources et les riverains.

Cette eau qui est source de vie, peut, ainsi, facilement propager la mort à très grande échelle, en cas de pollution grave. La perte de victimes peut se traduire par préjudice moral, sans que l'on ait affaire à une diminution de patrimoine. Les phénomènes de pollution des eaux prennent alors une grande ampleur et réduisent considérablement les volumes d'eau disponibles pour la consommation humaine (**TOUATI, 2010**).

Le phénomène de pollution prend parfois des dimensions importantes et la palme de pollution revient, sans conteste, au barrage de Hammam Boughrara (Tlemcen) qui connaît une forte pollution. En effet, cet ouvrage est un immense réceptacle des eaux usées industrielles et ménagères de forte toxicité, via l'oued Mouilah, qui prend sa source en territoire marocain.

Il y déverse d'importantes quantités polluantes provenant de l'industrie textile qui se concentre dans la région d'Oujda, mais également de nos industries locales agro alimentaires (ERAD de Maghnia). Cette pollution est tellement importante qu'elle a nécessité une surélévation de la prise d'eau et l'extraction de la vase polluée. Ces opérations fortes coûteuses sont devenues obligatoires pour sauvegarder la retenue. Pour venir à bout de cette pollution, le ministère des ressources en eau avait décroché, en 2003, un prêt de 7 milliards de DA pour le financement du traitement des eaux du barrage (**TOUATI, 2010**).

#### III.3.3.4. Pollution des eaux dans la wilaya de Biskra

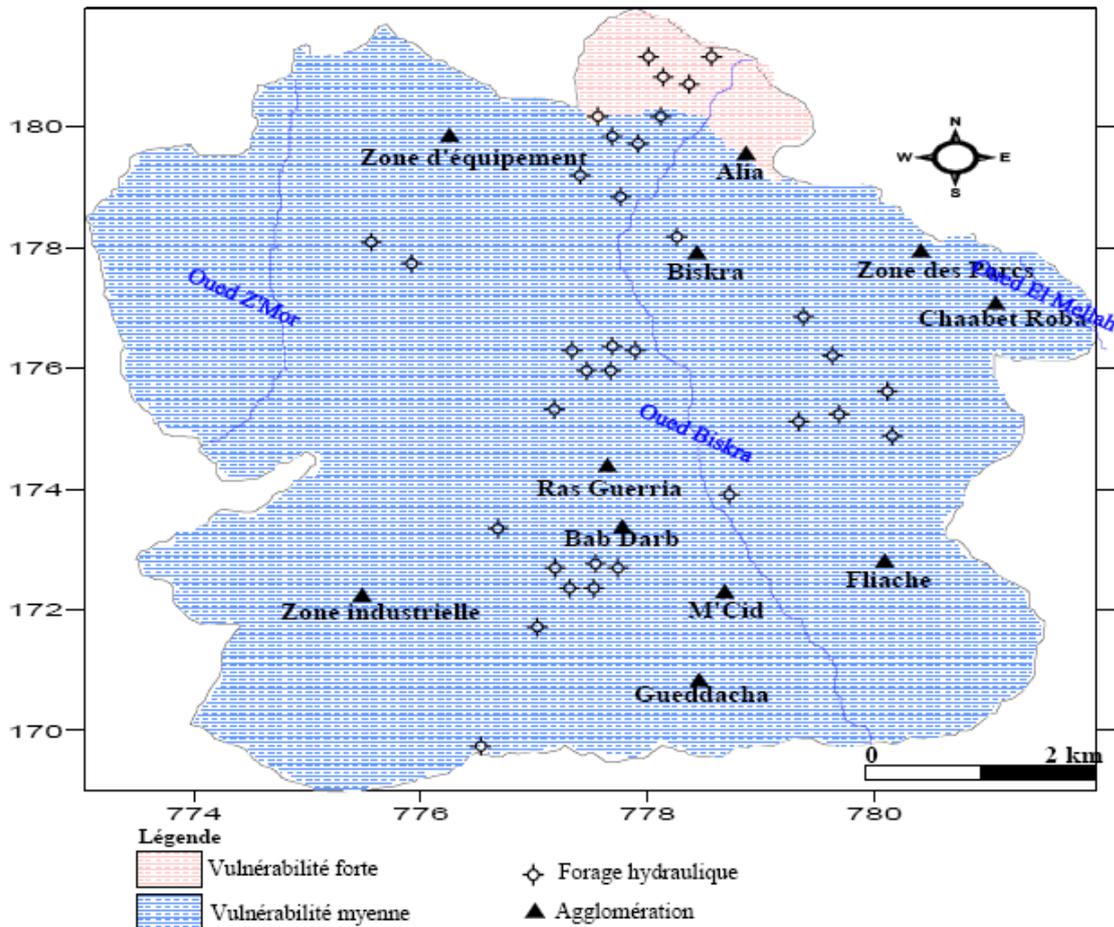
La pollution des eaux d'origine agricole est généralement liée aux nitrates et/ou aux phosphates. La mise en évidence de la pollution causée par les pesticides est relativement récente (CARLUER et *al.*, 1998). L'eau contaminée par des produits chimiques ou des microorganismes la rend impropre à la consommation et surtout nuisible pour la santé.

On ne détecte souvent la contamination de l'eau de boisson qu'après une crise sanitaire : déclaration de maladies à transmission hydrique nécessitant une urgente hospitalisation. Si la qualité de l'eau est un problème pour tous les pays, celle-ci se pose d'une manière cruciale pour l'ensemble des régions sahariennes (KHADRAOUI, 2006).

L'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines de la région de Biskra à la pollution d'après Sedrati, montre que :

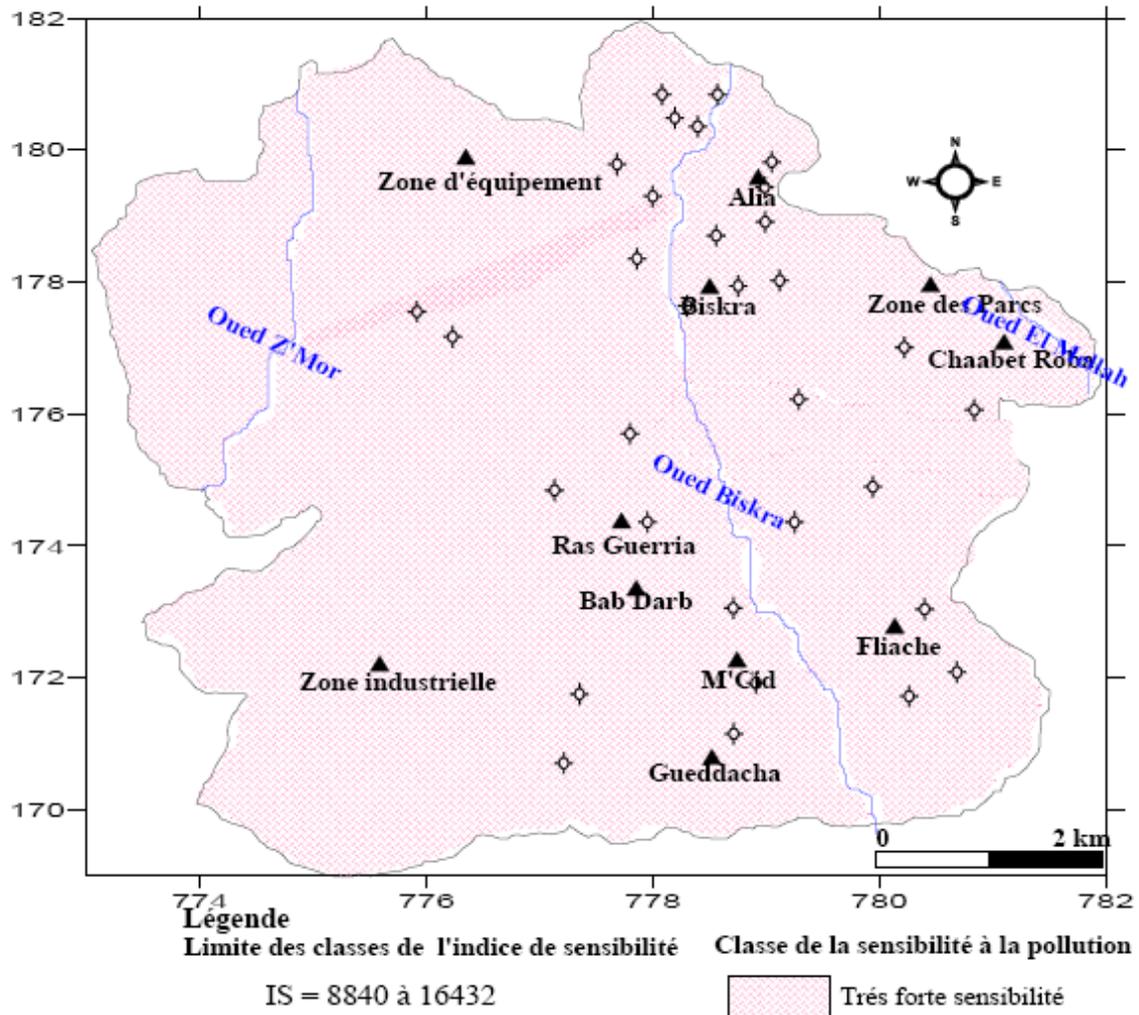
L'observation de la carte de vulnérabilité (figure 31), met en évidence deux classes :

- La première caractérisant une vulnérabilité moyenne  $100 > I < 150$ , occupant la plus grande partie de la zone d'étude,
- La seconde caractérisant la forte vulnérabilité  $I > 150$ , de faible extension, elle se localise dans une petite zone située au nord de la ville de Biskra, non loin du quartier d'El Alia.



**Figure 31 : Carte de vulnérabilité d'après la méthode DRASTIC (SEDRA TI, 2011).**

Sedrati en 2011, a montré aussi que les eaux destinées à l'alimentation en eau potable présentent une sensibilité très forte, cette famille occupe la totalité de la région de Biskra, la carte réalisé (carte de sensibilité à la pollution) montre cette sensibilité (figure 32).



**Figure 32 : Carte de l'indice de sensibilité de l'eau destinée à l'A.E.P de la nappe des sables (SEDRATI, 2011).**

La pollution nitrique des eaux souterraines dans la région d'El-Ghrous (wilaya de Biskra) peut être attribuée à (figure 33) :

- Des facteurs dynamiques comportant d'une part les systèmes de cultures et d'autre part les processus qui régissent le régime hydrique du sol et le processus biogéochimique de transformation et de transfert des nitrates dans la couche du sol non saturé (DROUCHE et al., 2013).

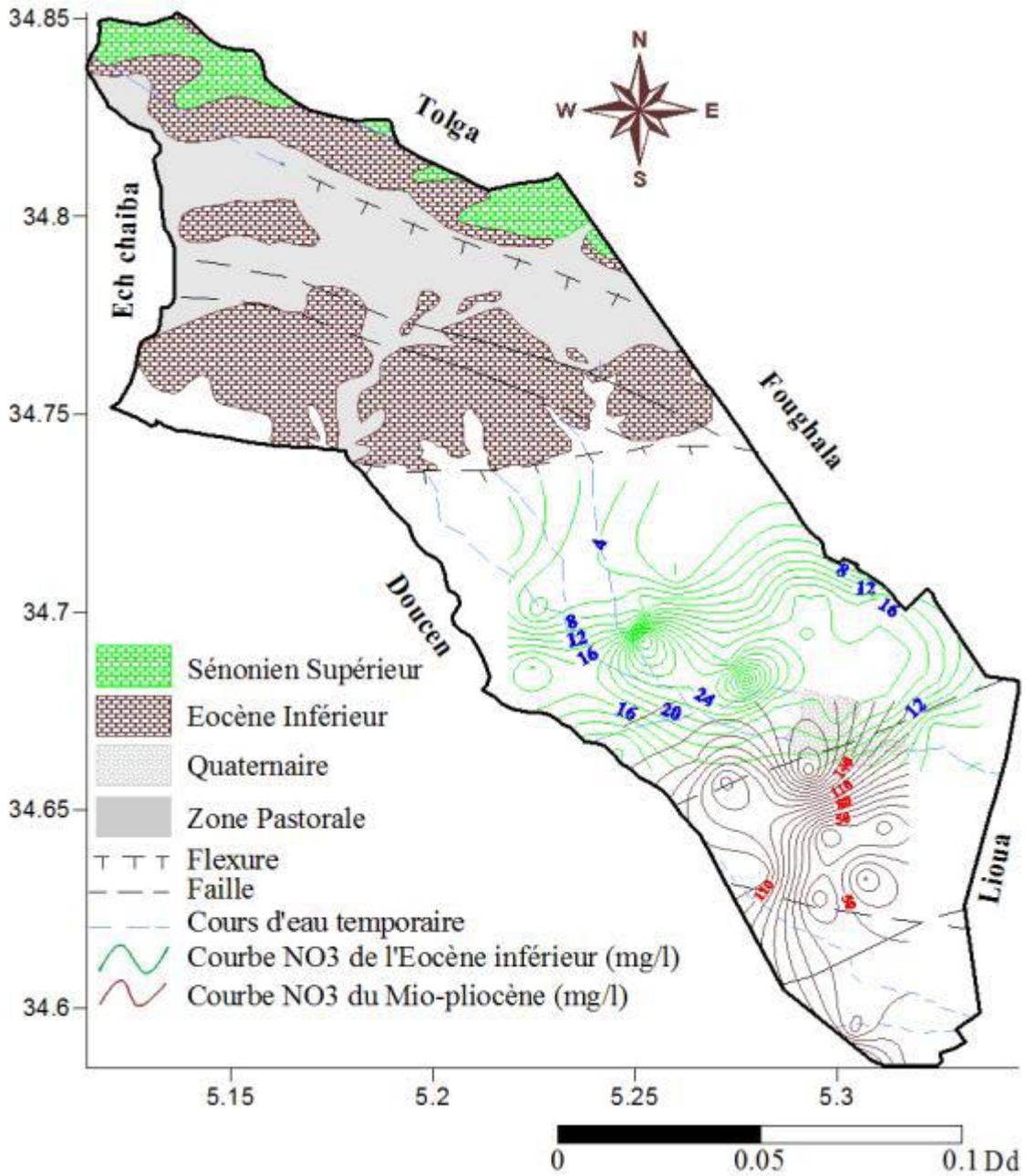


Figure 33 : Carte des nitrates des eaux souterraines d’El Ghrous en 2011 (DROUCHE et al., 2013).

### III.3.4. Les maladies à transmission hydrique

L'eau est indissociable de la vie et en particulier de celles des populations humaines dont elle a influencé l'histoire et conditionné le développement. Elle est aussi un des principaux vecteurs de la transmission de nombreuses maladies qui sont à l'origine d'importantes épidémies humaines ou animales (**HOSPITALIER-RIVILLON ; POIRIER ., 2008**). De nombreux germes infectieux sont ainsi transmis et entraînent une mortalité humaine élevée (**A.E.S, 2003**)

Il s'agit de microorganismes pouvant exister à l'état naturel ou être le résultat d'une contamination par des matières fécales d'origine humaine ou animale. Les sources d'eau de surface, comme les lacs, les rivières et les réservoirs sont plus susceptibles d'en contenir que les sources d'eaux souterraines, à moins que ces dernières ne le soient sous l'influence directe des eaux de surface (**SANTE CANADA, 2006**).

L'eau véhicule des virus, des bactéries, des parasites, des micro-organismes végétaux ou animaux, qui peuvent provoquer des maladies graves, voire mortelle pour l'être humain.

Ces maladies liées à l'eau insalubre sont appelées hydriques. Elles tuent environ 5 millions de personnes chaque année, et 2,3 milliards en souffrent (**OMS, 1989**).

La relation entre la qualité des eaux et la santé publique est si importante qu'elle justifie à elle seule la plupart des investissements accomplis et nécessaires dans le domaine des usages de l'eau ; ils portent sur la gestion des ressources superficielles ou souterraines, l'assainissement des rejets, la production de l'eau de consommation humaine, le stockage et la distribution dans les réseaux, mais aussi les loisirs aquatiques et nautiques, le thermalisme et son usage dans les secteurs agro-alimentaire, de l'énergie ou des transports.

Rappelons que, selon l'Organisation Mondiale de la Santé, la santé est « un état de bien-être complet physique, mental et social » et ne concerne pas uniquement l'absence de maladie ou d'infirmité. Ce sont donc tous les usages de l'eau qui peuvent interférer avec notre santé, que ce soit pour la boisson, la baignade, l'agriculture, l'urbanisme ou l'architecture. (**MSTP, 2007**)

La facture des épidémies de MTH (maladie à transmission hydrique) est lourde pour l'Etat algérien. Le coût de ces épidémies a été évalué à l'équivalent du budget de construction de plus d'une dizaine de stations de traitement des eaux. Le principal facteur de ces maladies réside dans l'insuffisance des ressources hydriques conjuguée à l'absence de traitement de certains points d'eau.

Les spécialistes en matière d'assainissement essaient de mieux comprendre les liens entre changement climatique et assainissement, incluant les questions de santé et d'hygiène (PNUD, 2009).

Les maladies d'origine hydrique pouvant conduire à des épidémies telles que le choléra, la fièvre typhoïde, et la dysenterie pouvant entraîner la mort. Le choléra et la dysenterie causent des formes sévères de diarrhée qui mettent parfois l'existence en danger (OMS, 2007).

Comme beaucoup de wilayas du Sud du pays, à El Oued, les maladies à transmission hydrique prennent de plus en plus une allure endémo épidémique avec des pics élevés à la fin de la saison estivale et en automne de chaque année.

L'absence de réseau d'assainissement dans les localités récemment urbanisées et la multiplication des fosses de rejet des eaux usées ont entraîné la pollution à grande échelle de la nappe phréatique de cette wilaya. Or cette nappe peu profonde joue un rôle fondamental ; elle est à usage agricole surtout, à usage domestique, mais aussi, elle est utilisée pour la boisson chez les agriculteurs, dans certaines conditions, au moment de la cueillette des dattes par exemple. Par ailleurs, cette wilaya dénombre plusieurs milliers de puits de nature et de volume différent, ils sont utilisés aussi bien par les éleveurs, les agriculteurs et les particuliers (BOUZIANI et coll., 2015).

La propagation des maladies à transmission hydrique (M.T.H) dans la ville de Biskra est liée d'une part à l'état des conduites de distribution d'eau qui sont devenues vétustes (prolifération d'algues et de bactéries) et d'autre part à l'absence de chlore résiduel. Ceci peut être confirmé par les recensements des M.T.H obtenus au niveau de la direction de la santé de la ville de Biskra (GUERGAZI et ACHOUR, 2005).

Dans la wilaya de Biskra, les enquêtes épidémiologiques sur les maladies à transmission hydrique d'après la Direction d'Hydraulique de la Wilaya (DHW) au cours de l'année 2012 a enregistré que :

- ❖ Fièvre Typhoïde : 13 cas sont enregistrés pour l'année 2012 contre 13 cas en 2011 répartie comme suit :
- Municipalité de Biskra : 10 cas ;
- Municipalité de Ras El Miaad: 1 cas ;
- Municipalité de Lichana : 1 cas ;
- Municipalité d'Ourlel : 1cas.

Le pourcentage de morbidité dans la wilaya est estimé à 2 cas pour 100.000 habitants.

❖ Hépatite C : 58 cas en 2012 contre 78 cas en 2011 répartie comme suit :

- Municipalité de Biskra : 15 cas contre 22 cas en 2011
- Municipalité de Khenguet Sidi Nadji: 22 cas per rapport à 00 cas en 2011 ;
- Municipalité de Tolga : 1 cas par rapport à 4 cas en 2011 ;
- Municipalité de Lichana : 03 cas comparé à 05 cas en 2011 ;
- Municipalité d'El-Kantara: 04 cas par rapport à 00 cas en 2011 ;
- Municipalité de M'Chounech : 02 cas par rapport à 16 cas en 2011 ;
- Municipalité de Sidi-Okba: 03 cas comparé à 03 cas en 2011 ;
- Municipalité de Chetma : 02 cas comparativement à 01 cas en 2011 ;
- Municipalité d'El Outaya: 01 cas par rapport à 13 cas en 2011 ;
- Municipalité de Branisse : 01 cas par rapport à 04 cas en 2011 ;
- Municipalité d'Oumache : 02 cas comparativement à 00 cas en 2011 ;
- Municipalité d'El Mizaraa: 01 cas par rapport à 00 cas en 2011.

Les cas enregistrés au cours du mois de Décembre dans la commune de Khenguet Sidi Nadji principalement des étudiants d'une école primaire. Tandis que, les autres cas sont individuels. Ces enquêtes ont également prouvé que l'émergence des cas est due au manque de respect des normes de santé dans le stockage de l'eau et l'utilisation de différentes sources d'approvisionnement en eau potable non contrôlé.

Le comité a également enregistré pour surveiller les maladies à transmission hydrique pendant la période de la mission du 17.09.2012 jusqu'au 11.10.2012 les observations suivantes :

- ✓ La vétusté des systèmes d'égouts et des réseaux d'approvisionnement en eau potable, ce qui entraîne le mélange de l'eau potable par les eaux usées à Biskra (quartier El dalia, Khoubzi, Kedacha, El M'cid, Beb El Feteh, Sidi Ghouzel, Alia du Nord) rénové par l'intervention de la Direction des ressources en eau de la wilaya de Biskra, avec un budget de près de 40 Milliards de centimes. Par contre, les quartiers (Sidi Berket, Route du Sahara, Marché centrale, Keblouti, Laatila) sont renouvelés par l'intervention de la municipalité et le renouvellement des réseaux d'alimentation en eau potable et le réseau d'assainissement au niveau des municipalités est achevé ou sont dans le processus de renouvellement est en cours à Tolga, El Hadjeb, Bordj Ben Azzouz, El Feidh, etc....

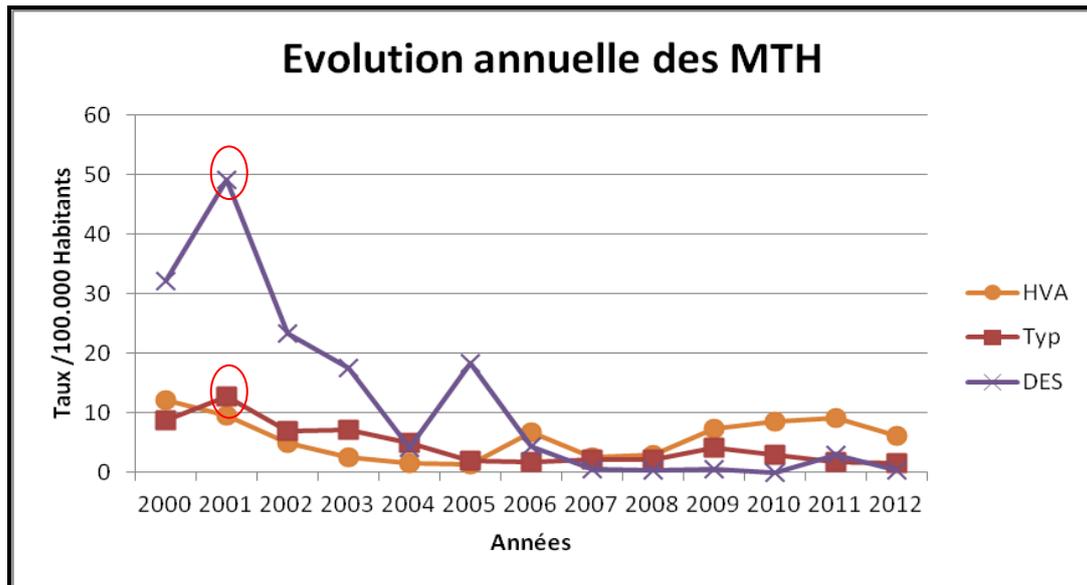
- ✓ L'état critique de quelques exutoires où il est devenu le dispositif de lixiviation (le drain) l'embouchure du réseau de drainage des municipalités (El Ghrous , Bourdj Ben Azzouz) ce qui rend le milieu un endroit de reproduction des moustiques et des insectes, qui menacent la santé publique, ce qui incite la direction des ressources en eau prévu plusieurs stations d'épurations à travers l'ensemble du territoire nationale où il programme une station d'épuration à Biskra et sept stations de type lagunage à El Kantara, M'Chounech, Zeribet El Oued, Bir Naam et à El Outaya.
- ✓ Arrosage des palmiers dattiers par les eaux usées est très répandu dans la plupart des municipalités (El Ghrous , Bordj Ban Azzouz, Foughala, Bouchagroune, Lichana, ....) qui a conduit la direction des ressources en eau, à esquisser un programme pour étendue tous les émissaires loin des zones urbaines et agricoles.
- ✓ Le manque de contrôle dans les réservoirs (citernes), la direction des ressources en eau en coordination avec le ministère de la santé ont souligné sur les camions citernes des intérêts de sécurité pour leurs utilisations, tel qu'il est utilisé pour regarder toutes les sources d'eau (qualité) de ces réservoirs.

Une étude épidémiologique de la wilaya de Biskra par l'Institut Nationale de la Santé Publique montre, la situation épidémiologique diminue à partir des années 2000 jusqu'à l'année 2012.

Nous avons tracé la courbe de l'évolution des maladies à transmission hydrique tels que : l'hépatite virale « A » , les dysenteries et la fièvre typhoïde (figure 34). L'allure de la courbe montre que :

La situation épidémiologique de la fièvre typhoïde s'est nettement améliorée au cours de ces dernières années. On constate qu'à partir de 2002, la baisse de l'incidence est conséquente et depuis 2012, on enregistre une incidence très basse, inférieure à 2 cas pour 100.000 habitants.

Le taux d'incidence de l'hépatite virale «A» est variable pendant la période (2000,2012) mais en 2004 peu important. Elle est passée de 12,14 cas pour 100.000 habitants en 2000 à 1,42 cas pour 100.000 habitants en 2005 et à 6,18 cas pour 100.000 habitants en 2012.



**Figure 34 : Evolution annuelle des maladies à transmission hydrique à Biskra (2000-2012)**

La situation épidémiologique concernant les dysenteries est vraiment très variable d'où le taux d'incidence est élevée. Ce dernier oscillait autour de 49 cas pour 100.000 habitants au début des années 2001 à 0,37 cas pour 100.000 habitants en 2012.

### III.4. Conclusion

Le problème de la qualité physico-chimique des eaux destinées à l'alimentation en eau potable et même à l'irrigation se pose au niveau de tout le territoire algérien. La pollution des eaux peut être d'origine minérale et due à des formations lithologiques, la minéralisation des eaux est alors élevée à cause de la dissolution et précipitation des sels minéraux. Des substances polluants d'origine domestique, agricole ou industrielle peuvent aussi se retrouver dans les eaux et peuvent être aussi bien d'origine chimique que microbiologique.

Le problème de la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable et l'irrigation se pose avec acuité dans l'ensemble des régions sahariennes.

D'une manière générale, les eaux destinées pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation, de même que pour les besoins industriels proviennent en grande partie des eaux souterraines. D'un point de vue quantitatif, l'eau au Sahara est généralement disponible et ce, grâce à d'importants aquifères, ceux du CI et du CT, notamment au niveau du Sahara Septentrional. Cependant, sa qualité physico-chimique est le plus souvent considérée comme médiocre.

La nappe du Continental Intercalaire est moins sensible à l'évolution de la salinité de l'eau que celle du Complexe Terminal vu qu'elle est assez souvent mieux protégée contre la drainance et la contamination à partir des eaux superficielles. Toutefois, il est recommandé d'assurer le suivi de sa salinité de son eau dans les zones où elle est exploitée.

Concernant le faciès chimique des eaux de la région orientale du Sahara septentrional, il apparaît comme variable en fonction de la nature de la nappe (phréatique, CT ou CI) et selon la zone géographique.

Les eaux du Sahara Septentrional posent donc de sérieux problèmes de qualité physico-chimique, elles sont fortement minéralisées et très dures. La région de Biskra faisant partie du grand bassin du Sahara Septentrional, la qualité des eaux des nappes dans cette région présentent une qualité médiocre avec une minéralisation excessive et la présence de polluants spécifiques tels que les nitrates ou les phosphates.

Les eaux de surface dans la région d'étude du point de vue minéralisation ne sont pas très dures par rapport aux eaux souterraines, mais du point de vue turbidité et la présence de certains éléments azotés et phosphorés sont considérées non potables. Elles nécessitent un traitement.

La consommation des eaux polluées sans traitement provoquent des maladies graves chez l'homme. Ces maladies pouvant conduire à des épidémies telles que le Choléra, la Fièvre typhoïde et les Dysenteries. Dans la wilaya de Biskra, on remarque que la situation épidémiologique s'améliore à partir des années 2000 jusqu'à l'année 2012. Cela peut être dû au taux de réhabilitation de réseau d'assainissement ces dernières années.

## **I.1. Introduction**

Le présent chapitre a eu pour but de décrire les différentes méthodes d'analyses ainsi que les logiciels utilisés pour la détermination des relations relatives aux paramètres physico-chimiques et paramètres de pollution. Ces programmes informatiques (logiciels) vont être employés pour une exploitation des résultats sous différentes formes (graphique, cartographique, statistique et géochimique) et en tirer des renseignements particuliers.

## **I.2. Choix du site de prélèvement**

Pour mettre en évidence la qualité physico-chimique ainsi que les paramètres de pollution des eaux de la région de Biskra. Le choix a été fait de telle sorte à couvrir les différentes nappes exploitées sauf la nappe Albienne, ainsi que les eaux superficielles représentées par les eaux de deux barrages. Elle est suivie des prélèvements pour analyse, afin de détecter la pollution par certains paramètres indicateurs. L'échantillonnage comprend, un prélèvement au niveau des forages exploités destinés à la consommation humaine et un prélèvement au niveau des barrages Foug el Gherza et Fontaine des gazelles. La carte (figure 35) représente quelques points de prélèvements.

## **I.3. Echantillonnage**

### **I.3.1. Techniques d'échantillonnage**

L'échantillonnage se définit comme une procédure dans laquelle une portion de substance, de matériau ou de produit est prélevée pour fournir un échantillon représentatif de l'ensemble pour les besoins de l'analyse.

Les prélèvements ont été effectués selon une fréquence saisonnière, pendant deux campagnes où des analyses complètes ont été effectuées.

Les prélèvements des eaux des forages ont été effectués entre Janvier 2011 et Mai 2014 et concernent les nappes du complexe terminal et la nappe phréatique. Ces prélèvements sont manuels et sont réalisés en tête du forage.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en plastique de 1000 cm<sup>3</sup> de capacité. Avant le prélèvement proprement dit, le flacon est rincé soigneusement par l'eau de forage.

Pour les eaux de barrages, les échantillons d'eau sont recueillis dans des jerricans neufs et bien lavés. Les prélèvements se font à une profondeur de 20 cm de la surface de l'eau. Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.



Pour la détermination de la conductivité, il est utilisé un conductivimètre (WTW LF 315) donnant directement la conductivité de l'échantillon, à la température adoptée (25°C) en ms/cm ou en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Elle est déterminée après rinçage plusieurs fois de l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de conductivité est donné directement en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### **I.4.2. Mesure au laboratoire**

Les analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux ont été effectuées au sein du laboratoire « LARHYSS », à l'université de Biskra. Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard (TARDAT-HENRY, 1984 ; REJESK, 2002 ; RODIER, 2005 et) ou les catalogues des appareillages utilisés.

##### **I.4.2.1. Le pH**

Nous avons utilisé un pH mètre de laboratoire (HANNA 210) sur lequel nous avons branché une électrode combinée. La température peut être adaptée à celle de l'échantillon grâce à une gamme de réglage de température comprise entre 10° et 60° C.

##### **I.4.2.2. La dureté**

Ce sont essentiellement les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dont les sels sont naturellement très solubles, responsables de la dureté. On dit qu'ils possèdent une grande mobilité dans l'environnement aquatique qualité qu'ils partagent avec les sels de Sodium et de Potassium. La dissolution du  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{Mg}^{2+}$  résulte principalement de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Cette dissolution est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique  $\text{CO}_2$ , provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol. (TARDAT-HENRY, 1984).

La dureté totale a été déterminée par complexométrie, en utilisant l'EDTA magnésien comme réactif et le noir Eriochrome comme indicateur coloré. Ce dosage représente la mesure de la dureté de l'eau (TH) en degré français, avec  $\text{TH} (^\circ\text{F}) = [\text{Ca}^{2+} (\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}.\text{l}^{-1}) + \text{Mg}^{2+} (\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}.\text{l}^{-1})] \times 5$ , et par conséquent :  $\text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$  (EDELIN, 1992)

##### **I.4.2.3. Dosage de Calcium et Magnésium**

Le calcium  $\text{Ca}^{2+}$ , par ajout d'un volume de solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), avec une pincée d'un indicateur coloré (Muréxide), puis titrage avec une solution d'EDTA jusqu'au virage de la coloration vers le bleu.

La dureté magnésienne est la différence entre les deux valeurs déterminées de l'échantillon, dureté totale et dureté calcique, les résultats sont convertis en mg/l.

#### I.4.2.4. Titre alcalimétrique

##### a) Définition :

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène ( $H^+$ ) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonates ( $HCO_3^-$ ), carbonate ( $CO_3^{2-}$ ) et hydroxyde ( $OH^-$ ).

Les normes ISO9963 définissent plusieurs types d'alcalinité :

- ✓ Alcalinité au virage du rouge de méthyle, elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4,5, pour déterminer les ions  $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $OH^-$  (TAC).
- ✓ Alcalinité au point de virage de la phénolphtaléine, elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions  $OH^-$  et à la moitié des ions  $CO_3^{2-}$  (TA) (**REJSEK, 2002**).

##### b) Mesure :

La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique (N/50), en présence de phénolphtaléine (0,5%) pour la détermination du TA, et du méthylorange (0,5%) pour la détermination du TAC (**RODIER, 2009**).

#### I.4.2.5. Les Chlorures

La méthode utilisée est celle de Mohr. Les ions chlorure réagissent quantitativement avec le nitrate d'argent, avec formation de chlorure d'argent, sel très peu soluble. On utilise le chromate de potassium  $K_2CrO_4$  comme indicateur.

Les chlorures  $Cl^-$ , selon la méthode de Mohr (**RODIER, 2009**), basée sur le titrage d'un volume d'eau avec une solution de nitrates d'argent  $AgNO_3$  concentrée en présence de l'indicateur Chromates de potassium ( $K_2CrO_4$ ), jusqu'au virage de la coloration du jaune au rouge brique et le début du dépôt d'un précipité rouge.

#### I.4.2.6. Les Sulfates

Les eaux naturelles contiennent toujours des sulfates, en proportions très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (comme par exemple les pyrites).

**a) Dosage des sulfates par Palintest**

Les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  sont dosés par colorimétrie en utilisant un photomètre (palintest photometer 5000) réglé à une longueur d'onde de 520 nm et en utilisant un réactif spécifique.

**b) Dosage des sulfates par turbidimétrie**

Cette méthode est basé sur la réaction entre l'ion sulfate (de l'échantillon) et le chlorure de baryum (ajouté en poudre) qui conduit à la formation de sulfate de baryum ( $\text{BaSO}_4$ ), maintenu en suspension grâce à un agent stabilisant qui est la glycérine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 520 nm.

**I.4.2.7. Sodium et Potassium****a) Origine**

Le sodium est un élément constant dans l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au delà. indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères. Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (**RODIER, 2005**).

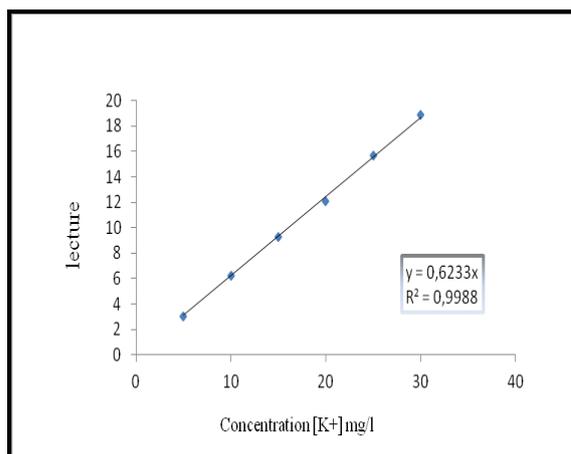
**b) Dosage du sodium et potassium**

Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie d'émission de flamme.

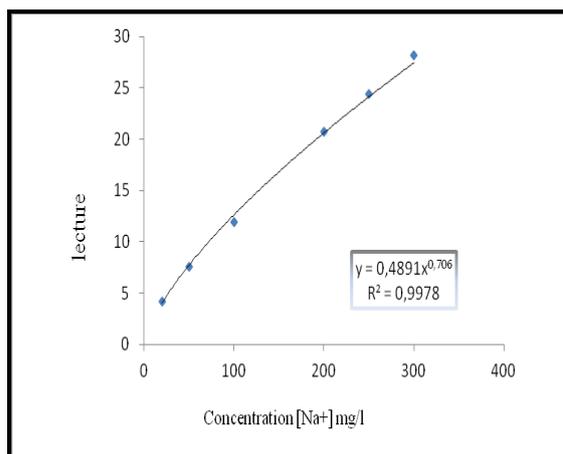
- 1) Le sodium est dosé par photométrie d'émission de flamme (PFP7 JENWAY LTD), avec filtres sélectifs Na, K....

On utilise une solution de NaCl comme solution étalon.

- 2) Le potassium est dosé par émission de flamme (PFP7 JENWAY LTD), dans ce cas la solution étalon est celle de KCl.



**Figure 36 : Courbe d'étalonnage  
du potassium**



**Figure 37 : Courbe d'étalonnage  
du sodium**

### I.4.3. Dosage de la matière organique

#### I.4.3.1. Détermination des substances humiques

Pour estimer les teneurs en SH dans les deux eaux de barrages, nous utilisons la méthode des ajouts dosés. Il faut tracer les deux courbes d'étalonnage des substances humiques ajoutées pour chaque eau, nous déterminerons les valeurs de l'absorbance correspondant aux différentes concentrations des solutions étalons (mg/l), le dosage des SH s'effectue sur un spectrophotomètre de type « Spectrophotometer Jenway 6405 UV/Vis » à la longueur d'onde  $\lambda = 254 \text{ nm}$ .

Les substances humiques utilisées sont obtenues à partir des substances commerciales Aldrich. Ces composés présentent les caractéristiques suivantes (Tableau 06).

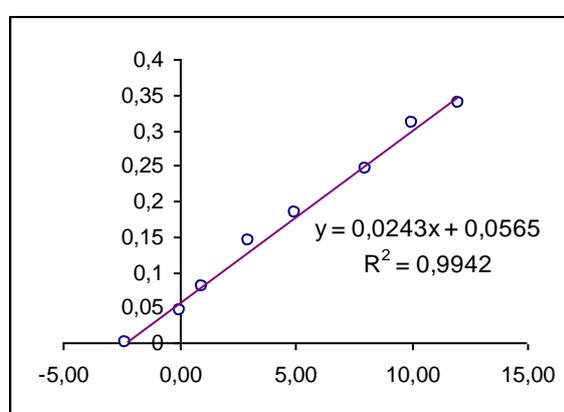
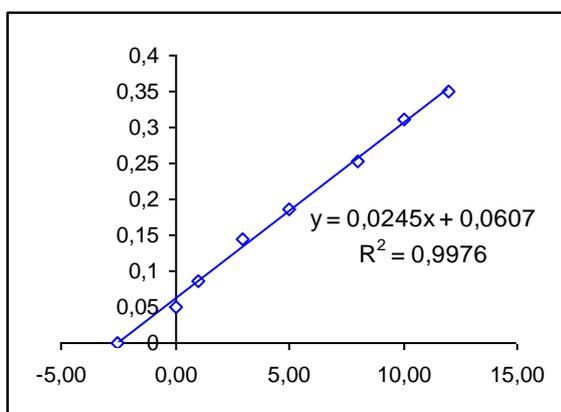
**Tableau 06: Caractéristiques des substances humiques étudiées (ACHOUR, 2001).**

Analyse élémentaire %	Fonction carboxyles (meq.g-1)	Fonction hydroxyles (meq.g-1)	Aromaticité unité DO mg-1SH
C=51,5 ; O=29,3 ; H = 4,6 ; N =0,7	3,4	0,8	0,015

Le tableau 07, et la figure 38 présentent la corrélation entre teneurs en SH ajoutées et absorbance en UV 254 nm.

**Tableau 07 : Corrélation entre teneurs en SH ajoutées et absorbance en UV à 254 nm**

SH (mg/l) ajoutées	0	1	3	5	8	10	12
<b>Absorbance (254 nm)</b> <b>Barrage F.Gazelles</b>	0.080	0.085	0.145	0.186	0.254	0.310	0.350
<b>Absorbance (254 nm)</b> <b>Barrage F.Gherza</b>	0.072	0.079	0.143	0.184	0.244	0.310	0.338



a) Barrage Fontaine des Gazelles

b) Barrage Fom El Gherza

**Figure 38 : Corrélation entre teneurs en SH ajoutées et Absorbance en UV 254 nm pour les eaux de barrages de la région de Biskra**

#### I.4.3.2. Oxydabilité au $\text{KMnO}_4$

La matière organique totale a été évaluée par la méthode de l'oxydabilité au permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) en milieu acide à chaud vue sa rapidité. L'eau est portée à ébullition en présence d'une solution de permanganate de potassium à N/80 dont l'excès est dosé après 10 minutes d'ébullition.

La différence du volume à analyser et du volume de  $\text{KMnO}_4$  utilisé pour le titrage de l'eau distillée (témoin) va donner la teneur de  $\text{KMnO}_4$  en  $\text{mg O}_2/\text{l}$ .

#### I.4.4. Dosage d'autres éléments minéraux

Le dosage de  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_2$ , a été effectué grâce à un photomètre du type « MULTIPARAMETRE HI 83200 HANA INSTRUMENT ». ».

## I.5. Logiciels

### I.5.1. Diagrammes

#### I.5.1.1. Diagramme de Piper (Dupont et Jardani ., 2012)

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

#### I.5.1.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff (Dupont et Jardani ., 2012)

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

### I.5.2. Logiciel Surfer 9

C'est avec ce logiciel qu'on a pu réaliser les cartes d'emplacements des échantillons et celles de l'évolution des paramètres étudiés. Après avoir introduit les données en un fichier Excel, on choisit la méthode d'interpolation convenable. Après la sélection de la méthode, on obtient des cartes de courbes de niveau (courbes d'isovaleurs) liant les points ayant les mêmes valeurs.

### I.5.3. XL STAT

L'analyse en composantes principales (ACP), est une méthode statistique essentiellement descriptive. Son objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum des informations contenues dans un tableau de données. Les données comportent  $n$  variables quantitatives. Les individus peuvent être représentés dans un espace à  $p$  dimensions (**PHILIPPEAU, 1986**).

C'est l'une des méthodes d'analyses multidimensionnelles qui visent à structurer, à résumer et synthétiser les données en vue de comprendre le phénomène étudié.

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) se présentent essentiellement sous la forme d'une suite de graphes. Les projections des individus et des variables figurent simultanément sur les mêmes graphiques. Deux individus proches sur la représentation sont semblables vis-à-vis de toutes les variables. Plus les variables se situent près du centre du graphique, moins elles sont discriminantes et inversement (**VILAIN, 1999**). La forme graphique de l'analyse en composantes principales (ACP) réunit à la fois les points caractéristiques des variables observées et les points représentatifs des individus observés (**DAGNELIE, 1975**).

Elle permet de décrire les relations existant entre les différents types d'échantillons d'eau et les points de prélèvement d'une part, et entre les différents types d'échantillons d'eau entre elles-mêmes, d'autre part.

L'analyse en composantes principales (ACP) appliquée à l'étude des échantillons d'eau, sera réalisée en tenant compte de leur point de prélèvement, pour établir la relation entre les variables quantitatives, c'est-à-dire la relation entre les différents types de contamination.

### I.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous nous sommes intéressés à définir le site de prélèvement, les méthodes d'échantillonnage, et les différents méthodes analytiques utilisées le long de notre étude, ainsi que les outils informatiques représentés par les logiciels d'hydrochimie et les logiciels de statistiques où nous pouvons décrire les relations entre les paramètres de qualité et les paramètres de pollution des eaux.

### II.1. Introduction

Les eaux souterraines sont les eaux de sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité.

La composition et la qualité des eaux souterraines sont à l'origine liées à la nature géologique du terrain. Elles ont un impact direct sur celle des eaux de surface, ainsi que sur les écosystèmes aquatiques et terrestres associés.

Les eaux souterraines sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, mais la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture ainsi que le développement industriel entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée (**DEGREMONT, 1978**).

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur. La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

Du fait de la spécificité des caractéristiques physico-chimiques des eaux, leur analyse s'avère un outil nécessaire à l'hydrogéologie. En effet, ce sont la température, le pH, la conductivité et les teneurs en éléments chimiques dissous qui vont donner aux eaux leurs caractères spécifiques.

Dans le présent chapitre notre intérêt se focalise sur l'interprétation des résultats des analyses que nous avons réalisées au niveau du laboratoire « LARHYSS » à l'Université de Biskra. L'analyse des paramètres physico-chimiques ainsi que les paramètres de pollution des eaux souterraines de la région d'étude et plus particulièrement les eaux de la ville de Biskra et la commune de Chetma, et les eaux exploitées dans les communes de Tolga et de Bordj Ben Azzouz pour les différents niveaux aquifères, la Nappe superficielle (Phréatique), la Nappe des sables (Miopliocène), la nappe des calcaires (Eocène inférieur) et la Nappe du Sénonien supérieur (Maestrichtien). Nous avons effectué notre campagne d'échantillonnage entre Janvier 2011 et Mai 2014. Nous avons réalisé l'échantillonnage avec des prélèvements au niveau de chaque forage et en s'intéressant à la mesure des paramètres physiques in situ tels que la température, la conductivité et le pH. Les résultats obtenus sont traités en utilisant des méthodes diverses : modélisation statistique, diagrammes et cartographie afin de mettre en évidence la corrélation entre la composition chimique des eaux des différents nappes étudiées et leurs exposition à la pollution.

## II.2. Etude de la variation des paramètres physico- chimiques mesurés

### a) La Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau (**Rodier et al. 1996**).

La température dans la nappe du Miopliocène (tableau 08) est moyennement élevée vu la période de prélèvement (mois de Mai) dépasse 25°C. Par contre, la nappe de l'Eocène inférieur présente des valeurs plus faibles.

**Tableau 08: Variation de la température (°C) selon les nappes**

Nappe	Moi-Pliocène	Eocène inférieur
Moyenne	26,67	22
Max	32	25
Min	20	16,5
Ecart-type	3,94	3,04

Ce qui est logique, car la température des nappes superficielles est plus élevée que celle des nappes sous-jacentes. Cela confirme l'absence de couches complètement imperméables entre ces deux niveaux aquifères (**BOUCHAHM et ACHOUR, 2005**).

Pour le Sahara Septentrional, la température des eaux de la nappe du Miopliocène varie entre 25,50°C et 28,60°C et entre 25°C et 27°C pour la nappe du Sénonien, ce qui montre que les deux niveaux aquifères sont thermiquement homogènes avec une légère augmentation de la température pour la nappe du Miopliocène (**BOUCHAHM et ACHOUR, 2008**)

### b) Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau en mesurant la concentration des ions H<sup>+</sup>, il varie selon une échelle de 0 à 14, alors que 7 est le pH de neutralité. Les valeurs de pH mesurées (tableau 09) paraissent proches dans chaque nappe avec un écart-type faible se qui signifie que les valeurs du pH dans chaque nappe n'ont pas très différents.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Le pH des eaux de différentes nappes étudiées varie entre 6,50 et 8,30. Il apparaît que le pH de toutes ces eaux est voisin de la neutralité avec un caractère alcalin pour les eaux les plus superficielles de la nappe phréatique et les eaux de la nappe du Maestrichtien et avec un caractère acide ou alcalin variable pour les autres nappes. Pour les eaux à caractère légèrement acide, ceci pourrait impliquer que les eaux pouvaient encore contenir du CO<sub>2</sub> libre au moment de la mesure In Situ. Toutefois, les valeurs mesurées restent conformes aux normes de potabilité, que ce soit celles algériennes (**JORA, 2011**, tableau 03 en Annexe) ou de (l'OMS 2006, tableau 0 4 en Annexe) puisqu'elles sont comprises dans un intervalle de potabilité de 6,5 à 9.

**Tableau 09: Variation du pH selon les nappes**

Nappe	Phréatique	Mio-Pliocène	Maestrichtien	Eocène inférieur
Moyenne	7,38	6,93	8,11	6,72
Max	7,47	7,66	8,30	7,08
Min	7,32	6,65	7,99	6,50
Ecart-type	0,05	0,30	0,12	0,17

Des études antérieures d'après (**BOUCHAHM et ACHOUR, 2008**), ont montré que le pH des eaux du Sahara Septentrional dans toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. La plupart des eaux présentent aussi un caractère alcalin bicarbonaté du fait que le pH est souvent inférieur à 8,3.

### c) La Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (**RODIER J., 2005**).

Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (**MENS et DEROUANE, 2000**).

La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre (µS/cm) (**GAUJOUS, 1995**).

Les valeurs de la conductivité observées, pour tous les échantillons des nappes de la région d'étude, sont classées en valeurs minimales, maximales et moyennes dans le tableau 10.

**Tableau 10: Variation de la conductivité totale ( $\mu\text{s/cm}$ ) selon les nappes**

Nappe	Phréatique	Mio-Pliocène	Maestrichtien	Eocène inférieur
Moyenne	3118,75	3536,67	1384,8	2305,38
Max	3940	4400	1456	4630
Min	2450	2640	1312	1380
Ecart-type	470,45	763,31	54,2	773,02

Les valeurs de la conductivité sont élevées, dépasse les normes de (l'OMS, 2006) à 20 °C qui sont limitées à 1000  $\mu\text{s/cm}$ , dans la nappe de l'Eocène Inférieur, ainsi que les normes algériennes (JORA, 2011) soit 2800  $\mu\text{s/cm}$  dans la nappe Phréatique et celle du Miopliocène, la nappe de l'Eocène inférieur présente une conductivité très élevée 4630  $\mu\text{s/cm}$ .

Donc les eaux dans ces nappes sont très minéralisées. Par contre, les eaux de la nappe du Maestrichtien présente des faibles valeurs de la conductivité en comparaison avec les autres nappes.

La valeur de l'écart type est faible dans la nappe du Maestrichtien car les valeurs de la conductivité sont dispersées autour de la moyenne.

En Algérie, la majorité des points d'eau (79.7 %) ont des salinités qui sont inférieures à 2 g/l et 92% des points d'eau ont une salinité inférieure à 3 g/l. Les valeurs de salinités dépassant 5 g/l ne constituent que 2.8% des analyses disponibles.

Les eaux du bassin du Grand Erg Occidental présentent des salinités qui sont pour la plupart inférieures à 1 g/l. Ceci n'est pas le cas dans le bassin du Grand Erg Oriental où la nappe est confinée à plusieurs centaines de mètres et les valeurs des salinités oscillent entre 1 et 3 g/l. Les plus fortes valeurs sont observées dans la région d'Oued Rhir-nord où la nappe du Continentale intercalaire est la plus confinée (OSS, 2003).

La minéralisation des eaux souterraines augmente le long des lignes d'écoulement et est comprise entre 1,5 et 8 g/l, avec un accroissement correspondant des concentrations en  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ . Des traces de minéraux vaporitiques présents dans la matrice de l'aquifère (halite, gypse, sylvite) sont les principaux contrôles minéralogiques.

Par ailleurs, les concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont relativement constantes du fait de la saturation des eaux en minéraux carbonatés (GUENDOUZ et al, 2003).

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

Il a été établi par (ERESS, 1972) que les chotts de la région du sud de la Tunisie forment la zone de décharge des aquifères du CI et CT avec une décharge par évaporation globale de 0,3 m<sup>3</sup>/s. Il a été montré que la nappe est constituée de CI plusieurs horizons avec une forte pression artésienne (5-25 bar) et avec des températures de 65 à 75° C. La chimie de l'eau est de la composition Na-SO<sub>4</sub>-Cl et il a été montré que la minéralisation augmente le long des lignes d'écoulement 1,5 à 3 g/l (ERESS, 1972; GUENDOOUZ, 1985).

### d) Minéralisation totale

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. Toutefois, la minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité, car lors de l'évaporation, il y a transformation de la structure de certains sels, : hydrogénocarbonates dissociés donnant des carbonates, cristallisation des sulfates avec un certain nombre de molécules d'eau .D'autre part, la mesure de la conductivité est influencée par le pH de la solution , en particulier pour des pH inférieur à 6 ou supérieur à 9 (REJSEK , 2002).

**Tableau 11: Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité mesurée à 20°C (REJSEK, 2002).**

Conductivité en $\mu\text{s/cm}$ .	Minéralisation en mg/l
<50	Conductivité $\times$ 1, 365079
Entre 50 et 166	Conductivité $\times$ 0, 947658
Entre 166 et 333	Conductivité $\times$ 0, 769574
Entre 333 et 833	Conductivité $\times$ 0, 715920
Entre 833 et 10 000	Conductivité $\times$ 0, 758544
>10 000	Conductivité $\times$ 0, 850432

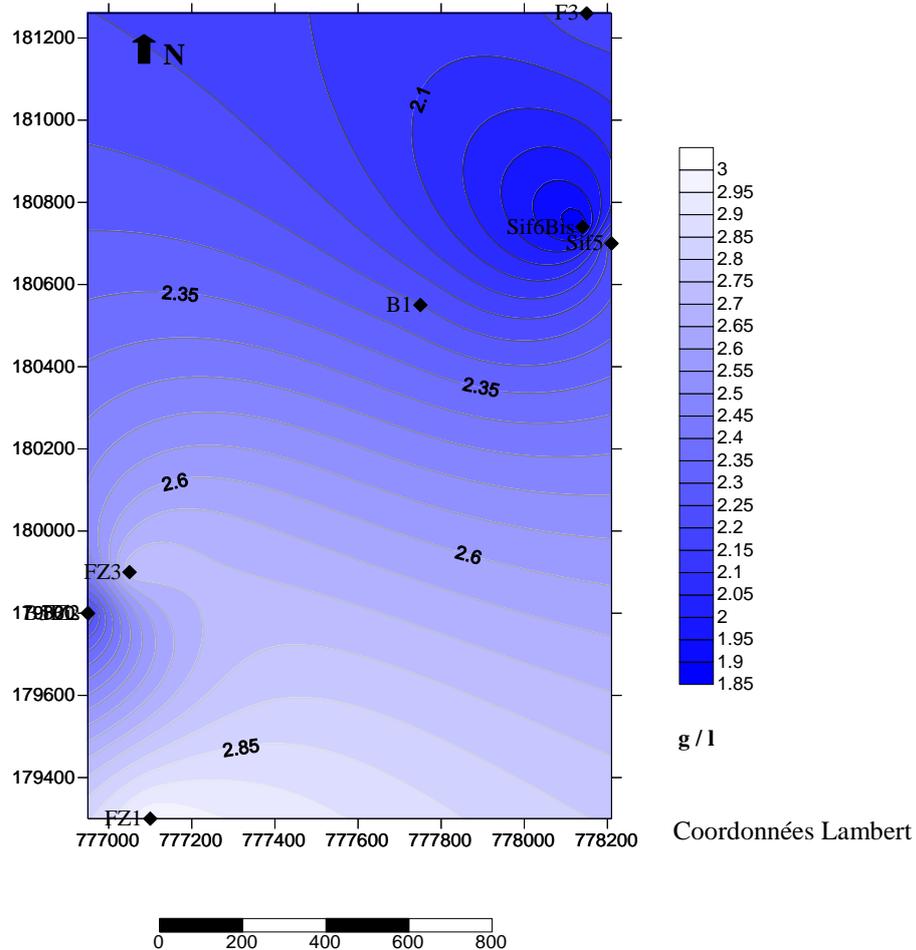
Pour les eaux de la région de Biskra nous avons calculé la minéralisation d'après la relation suivante : **Minéralisation= conductivité  $\times$  0, 758544.**

Pour mieux suivre l'évolution de ces concentrations dans les différentes nappes, nous avons dressé les cartes de minéralisation des nappes de la région d'étude en utilisant un logiciel informatique de cartographie « Surfer ».

Ce dernier permet de tracer tout type de cartes, de localisation, de relief, aussi il permet de tracer les courbes ou contours d'égales teneurs de n'importe quel élément physico-chimique.

### 1) Nappe Phréatique

Pour cette nappe Phréatique, la minéralisation varie entre une valeur minimale de 1,85 g/l dans le forage Sif<sub>6</sub> Bis et une valeur maximale de 2,98 g/l dans le forage FZ<sub>1</sub>. Donc la minéralisation augmente du Nord Est vers le Sud Ouest.



**Figure 39 : Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe Phréatique de Biskra**

D'après la carte (figure 39), on remarque que la minéralisation est élevée dépasse les normes de l'OMS 2006 (1000 mg/l) exprimé en taux des sels dissous (TDS).

### 2) Nappe du Miopliocène

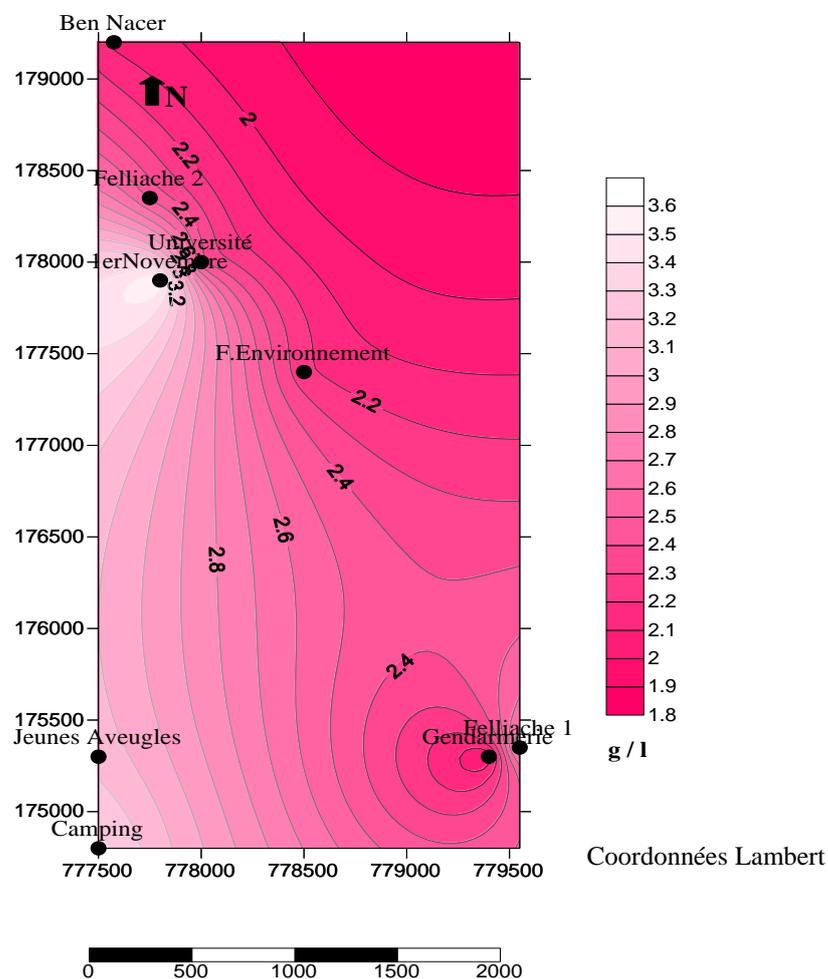
La carte de la minéralisation (Figure 40) montre que la minéralisation de la nappe du Miopliocène varie entre un minimum de 2 g/l dans le forage Gendarmerie et un maximum de 3,59 g/l dans le forage 1<sup>er</sup> Novembre. La carte est subdivisée en deux parties.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Le sens d'accroissement de la minéralisation se fait du Nord Est au Nord Ouest dans la partie haut, et du Sud Est vers le Sud Ouest dans la partie bas.

Les sables argileux du Miopliocène contiennent des intercalations gypseuses et anhydrites qui par dissolution ou lessivage libèrent des ions sulfates, calcium, chlorures, qui participent à l'augmentation de la salinité des eaux.

Dans le Sahara Septentrional, pour la nappe du Miopliocène de la région d'Ouargla, les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19 g/l (BOUCHAHM et ACHOUR, 2005).



**Figure 40 : Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe du Miopliocène de Biskra**

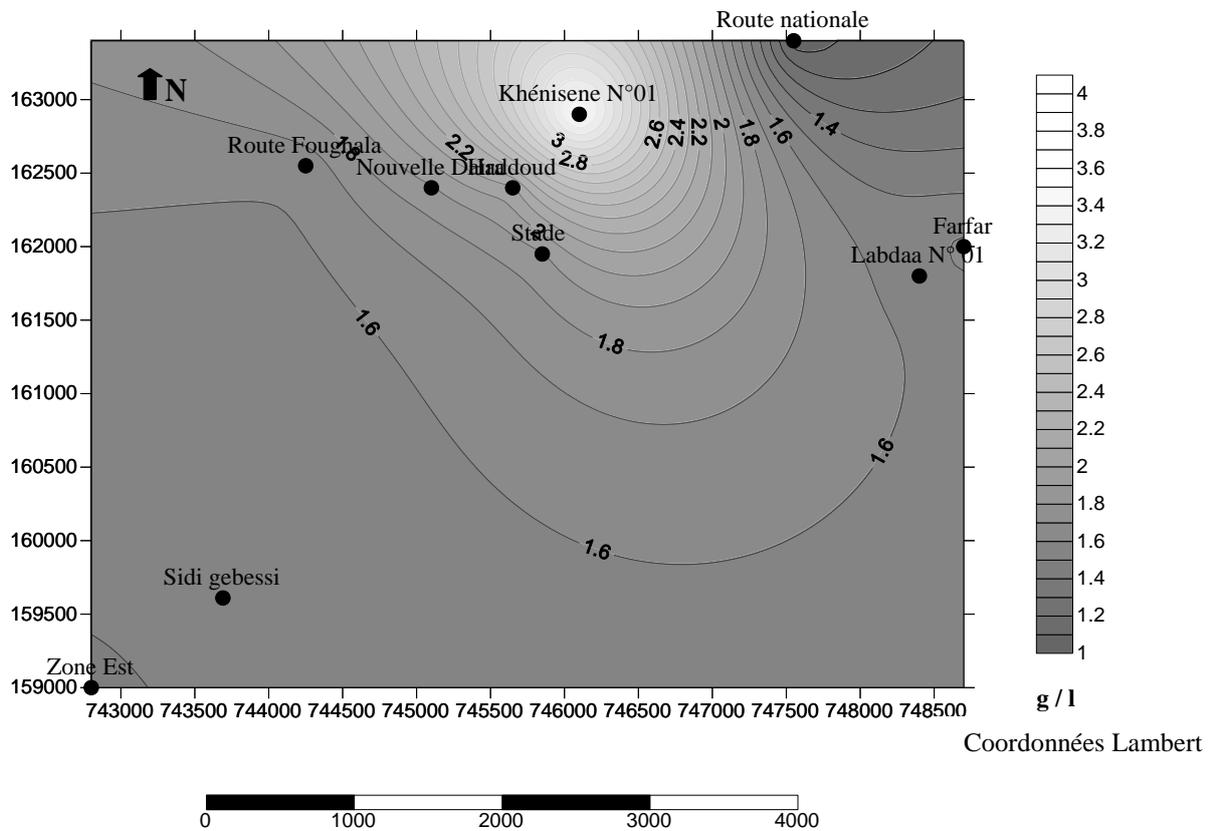
### 3) Nappe du l'Eocène inférieur

La minéralisation pour cette nappe (figure 41) varie entre un minimum de 1,04 g/l dans le forage Route nationale et un maximum de 2,07 g/l dans le forage Haddoud.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

On peut dire que pour cette nappe des calcaires, les eaux sont moins minéralisées que celles de la nappe du Miopliocène et cela est probablement dû aux gypses qui sont abondants dans les sables argileux de cette dernière.

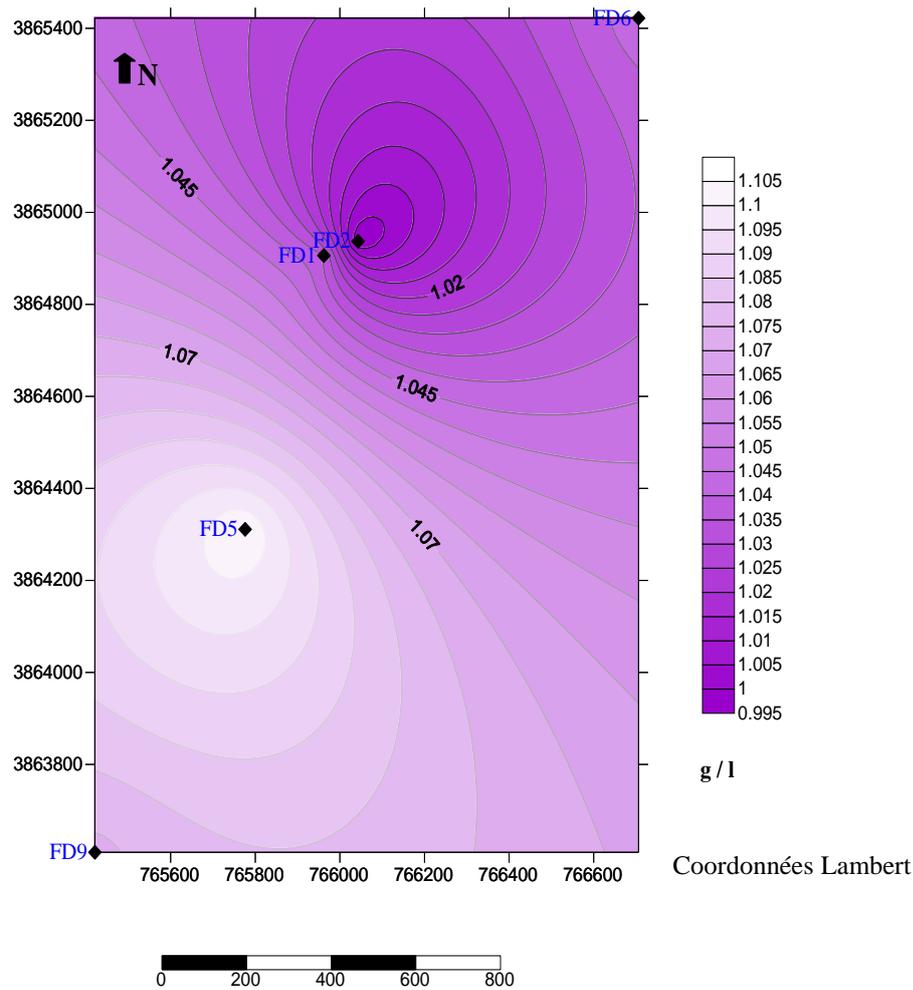
Bouchemal et al, 2004 ont montré que pour cette nappe des calcaires, les eaux sont moins minéralisées que celles de la nappe du Miopliocène et cela est probablement dû aux gypses qui sont abondants dans les sables argileux de cette dernière. Cela est bien illustré dans cette étude. Un cas exceptionnel où la minéralisation atteint 3,51 g/l dans le forage Khénisene N°1.



**Figure 41 : Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe de l'Eocène inférieur de Biskra**

### 4) Nappe du Maestrichtien

La minéralisation dans cette nappe du Maestrichtien est faible par rapport aux autres nappes (figure 42). Elle varie entre un minimum de 0,99 g/l dans le forage FD<sub>2</sub> et un maximum de 1,10 g/l dans le forage FD<sub>5</sub>. La minéralisation est faible ne dépasse pas (1500 mg/l).



**Figure 42: Carte de la minéralisation en (g/l) de la nappe du Maestrichtien de Biskra**

### e) La dureté totale

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium et permet une évaluation de la qualité des eaux exprimée en degré français (°F).

Les valeurs de la dureté observées, pour tous les échantillons des nappes de la région d'étude, sont classées en valeurs minimales, maximales et moyennes dans le tableau 12.

D'après les normes de potabilité des eaux établies par (JORA, 2011) l'ensemble des valeurs de la dureté totale sont élevées et dépassent 50°F. Ce qui montre que les eaux de cette région sont très dures. On compare entre les différentes nappes, celle du Maestrichtien présente la plus faible dureté en moyenne.

**Tableau 12 : Variation de la dureté totale (°F) selon les nappes**

Nappe	Phréatique	Mio-Pliocène	Maestrichtien	Eocène inférieur
Moyenne	88,3	93,75	59,04	182,28
Max	134,4	168	62,4	268
Min	52,8	72,8	56	76,2
Ecart-type	31,13	32,49	2,90	58,10

En comparant les valeurs de la dureté totale avec le TAC (tableau 13) dans l'ensemble des forages testés pour les quatre nappes étudiées, le TAC est inférieur aux valeurs de la dureté totale, donc la dureté permanente associée aux chlorures et aux sulfates, est également importante.

**Tableau 13 : Variation du titre alcalimétrique complet (TAC) en (°F) selon les nappes**

Nappe	Phréatique	Mio-Pliocène	Maestrichtien	Eocène inférieur
Moyenne	15,22	23,48	21,38	20,04
Max	17,1	30,7	24,9	32
Min	13,7	20,5	18,5	16,9
Ecart-type	1,02	3,16	2,32	4,15

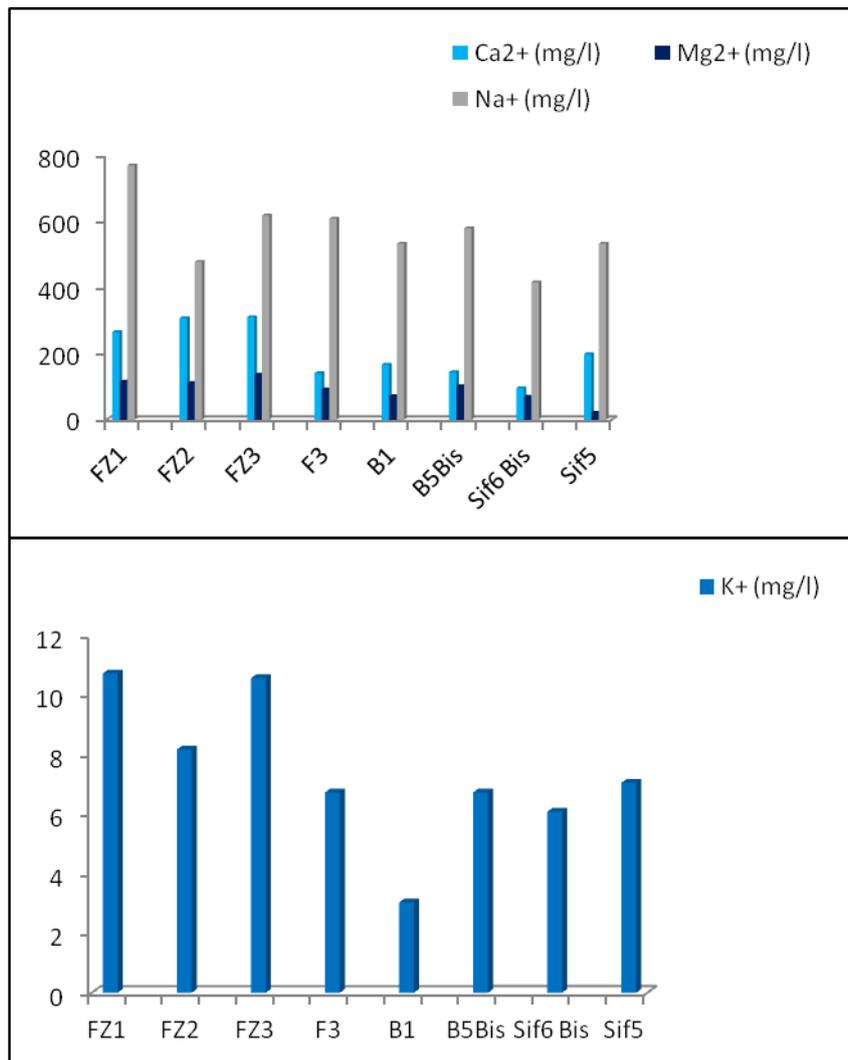
### II.2.1. Les éléments majeurs

#### a. Les cations

Le sodium, le potassium, le magnésium, et le calcium, sont des paramètres utiles, en combinaison avec les anions pour la détermination de la minéralisation dans l'eau.

Nous avons tracé les histogrammes de la variation des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) pour toutes les nappes étudiées.

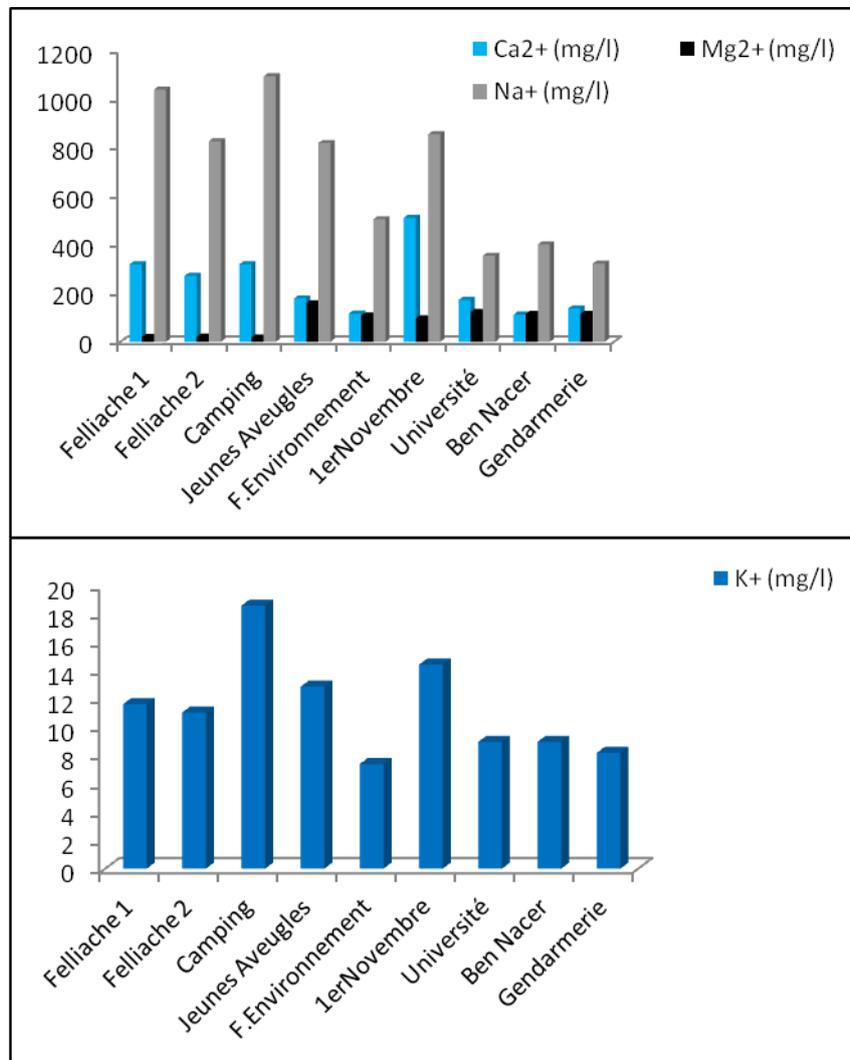
### 1) Nappe Phréatique



**Figure 43 : Variations des cations (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) en (mg/l) dans la nappe Phréatique**

Pour cette nappe (figure 43), les teneurs en calcium varient entre 96 mg/l et 310,4 mg/l. Elles sont globalement élevées dont les trois premiers forages (FZ<sub>1</sub>, FZ<sub>2</sub>, FZ<sub>3</sub>) dépassent les normes. Elles sont faibles dans les autres forages, les valeurs sont conformes aux normes algériennes (JORA, 2011) inférieures à (200 mg/l). Les valeurs de magnésium obtenues varient entre 21,12 mg/l et 136,32 mg/l. Le sodium est trop élevé et dépasse 400 mg/l. Les valeurs de potassium sont faibles dans l'ensemble des forages, conformes aux normes algériennes ainsi que les normes de l'OMS 2006.

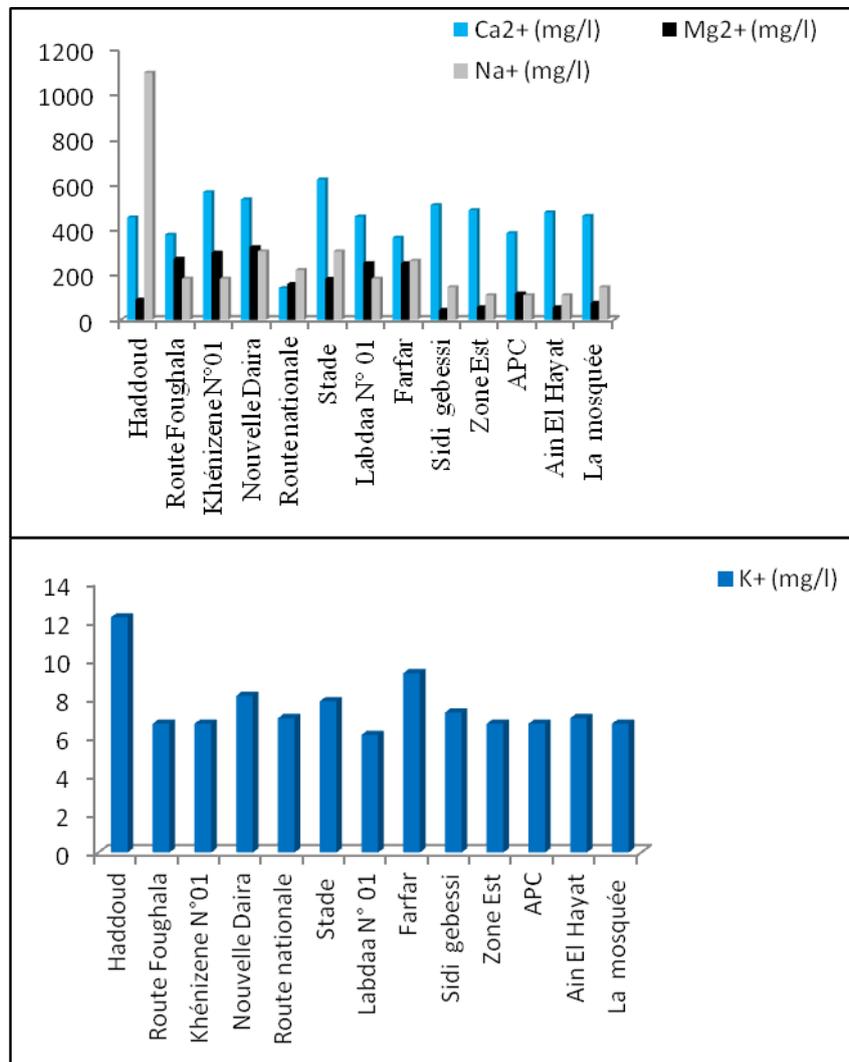
## 2) Nappe du Miopliocène



**Figure 44 : Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) en (mg/l) dans la nappe du Miopliocène**

Cette nappe du Miopliocène (figure 44) est différente par rapport aux autres deux nappes. Le calcium est faible dans quelques forages et élevé dans les autres, le magnésium est faible. Tandis que le sodium est trop élevé et dépasse 1000 mg/l. Le potassium aussi dépasse les normes, supérieures à 18 mg/l.

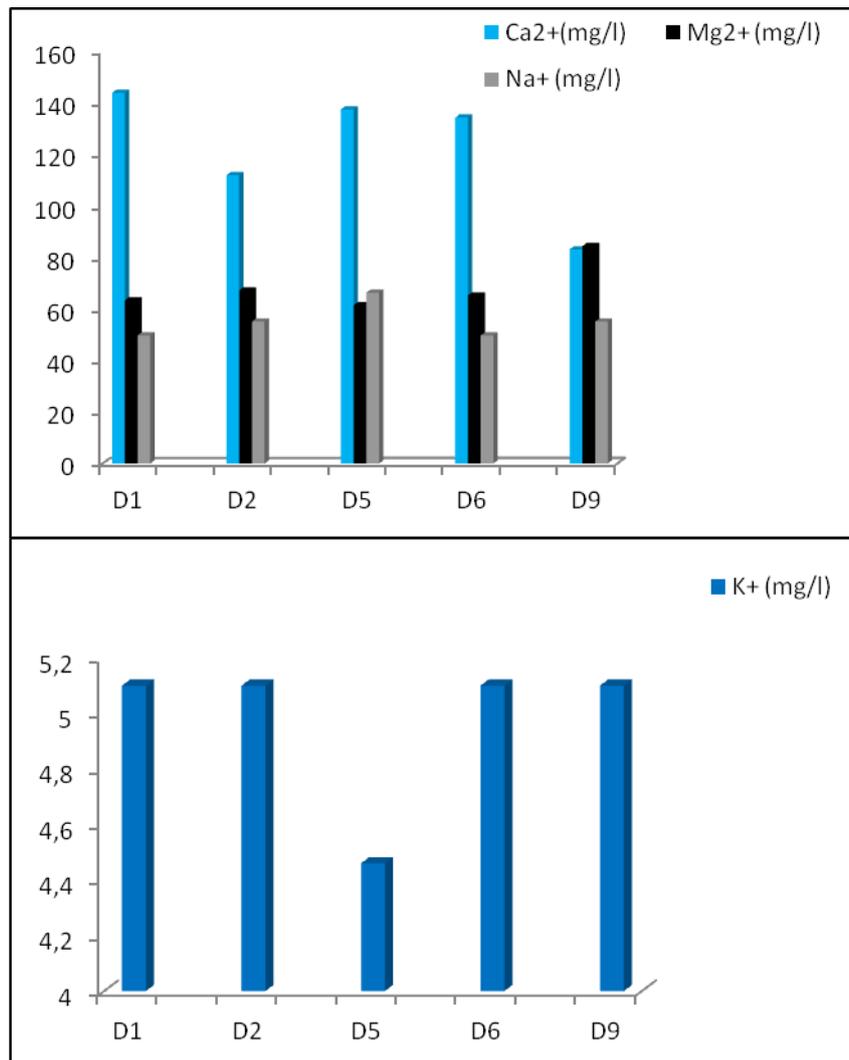
3) Nappe du l'Eocène inférieur



**Figure 45 : Variations des cations (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) en (mg/l) dans la nappe du l'Eocène inférieur**

Le calcium dans cette nappe (figure 45) est élevé , un seul forage présente une valeur de 140 mg/l conforme aux normes. Le magnésium est plus ou moins élevé. Le sodium est généralement faible sauf en ce qui concerne les quatres forages (Haddoud, Nouvelle Daïra, Route nationale et stade) élevé et dépasse les normes algériennes (JORA, 2011). Le potassium présente des valeurs conformes aux normes de potabilité.

#### 4) Nappe du Maestrichtien



**Figure 46: Variations des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) en (mg/l) dans la nappe du Maestrichtien**

Pour cette nappe (figure 46), les concentrations sont tout à fait différentes où les valeurs du calcium sont faibles, ne dépassent pas 150 mg/l et sont conformes aux normes. Le magnésium et le sodium aussi présentent des faibles concentrations conformes aux normes algériennes (JORA, 2011).

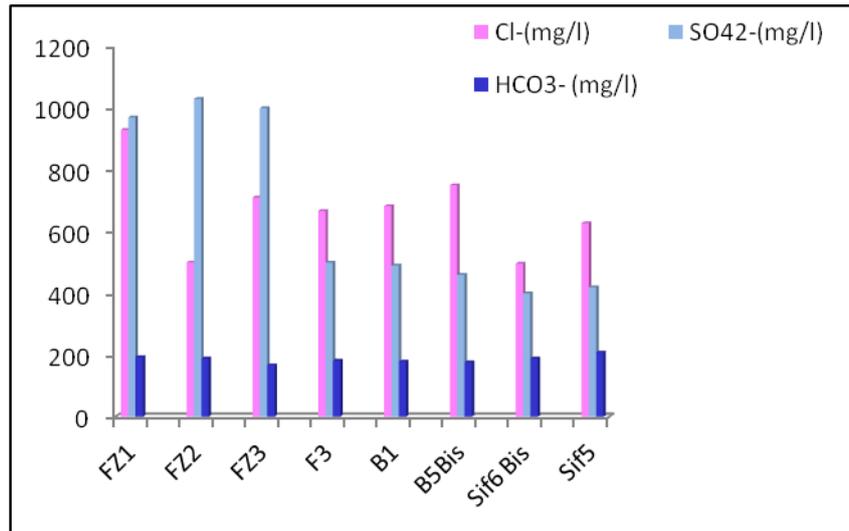
Ainsi que le potassium est faible inférieur à 6 mg/l conforme aux normes (soit 12 mg/l). Cette nappe du Maestrichtien présente des concentrations en cations conforme aux normes de potabilité.

### b. Les anions

Les sulfates, les chlorures, et les bicarbonates, sont aussi des paramètres utiles, en combinaison avec les cations, pour la détermination de la salinité dans l'eau.

Nous avons tracé les histogrammes de la variation des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) pour toutes les nappes étudiées.

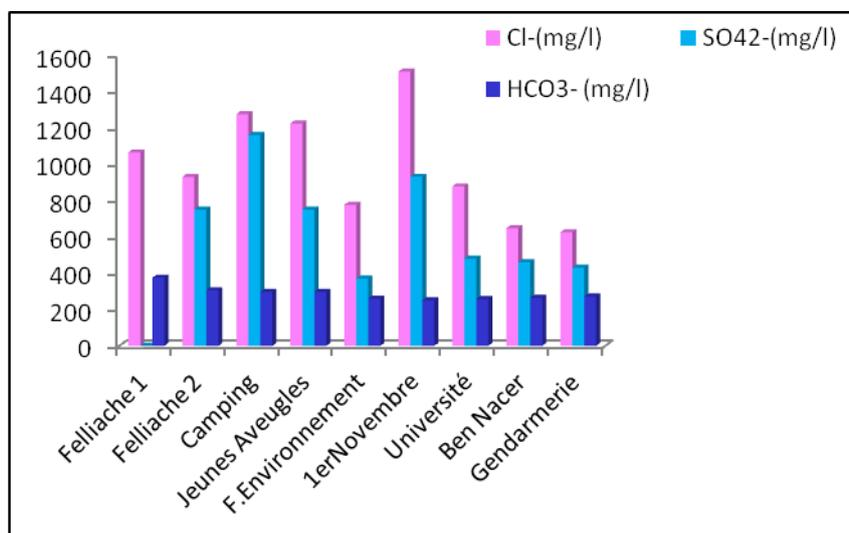
#### 1) Nappe Phréatique



**Figure 47: Variations des anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) en (mg/l) dans la nappe Phréatique**

Dans cette nappe Phréatique (figure 47), les chlorures ont des concentrations très élevées qui varient entre 496,3 mg/l et 929,07 mg/l, dépassant les normes de (l'OMS 2006) soit (200 mg/l) et même les normes algériennes (JORA, 2011) soit (500 mg/l). Les sulfates sont très élevés dans les trois premiers forages et moins élevés dans les autres, mais ont toujours des fortes concentrations qui dépassent les normes algériennes (JORA, 2011) soit 400 mg/l, ainsi que les normes de (l'OMS 2006) limitées par 500 mg  $\text{Cl}^-$ /l.

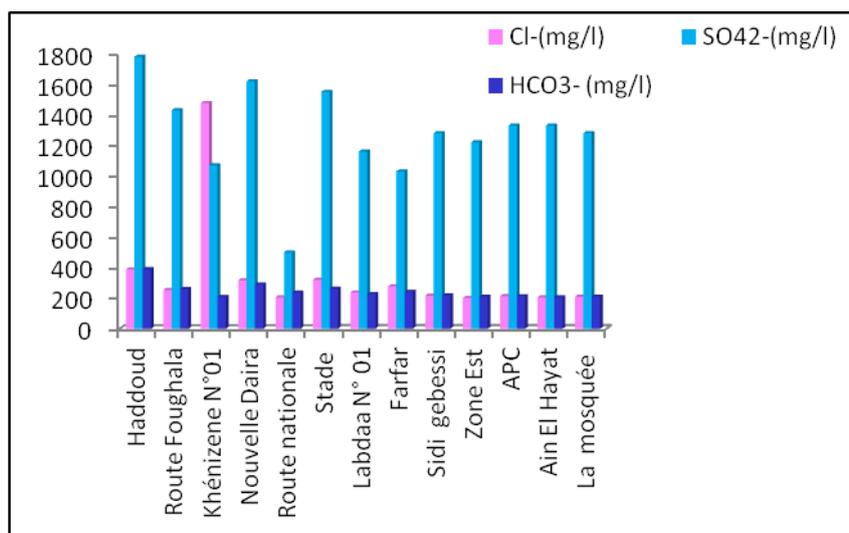
## 2) Nappe du Miopliocène



**Figure 48 : variations des anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en (mg/l) dans la nappe du Miopliocène**

Dans cette nappe du Miopliocène (figure 48), les concentrations en chlorures sont trop élevées allant de 625,33 mg/l jusqu'au 1508,75 mg/l. Les sulfates aussi présentent des valeurs importantes qui dépassent globalement 400 mg/l. Par contre, les bicarbonates présentent des valeurs inférieures à 400 mg/l.

## 3) Nappe de l'Eocène inférieur

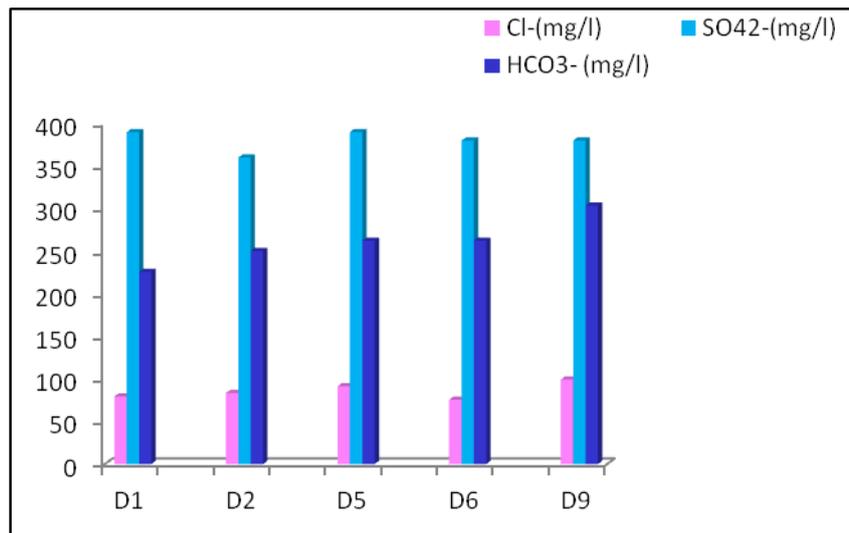


**Figure 49 : Variations des anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en (mg/l) dans la nappe de l'Eocène inférieur**

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Dans l'ensemble des forages de cette nappe du l'Eocène inférieur (figure 49), les concentrations en chlorures sont faibles sauf en ce qui concerne le forage (Khénizène N°01) où la concentration est de 1476,98 mg/l. Les sulfates sont trop élevées allant jusqu'au 1800 mg/l. Les bicarbonates ne dépassent pas 400 mg/l.

### 4) Nappe du Maestrichtien



**Figure 50 : Variations des anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en (mg/l) dans la nappe du Maestrichtien**

Evidemment, il est bien remarquable que les concentrations en anions majeurs dans cette nappe sont faibles par rapport aux autres nappes (figure 50), où les chlorures sont très faibles et ne dépassent pas 100 mg/l. Les sulfates aussi conformes aux normes algériennes et ne dépasse pas 400mg/l. Les bicarbonates atteignent 300 mg/l.

### II.2.2. Origine des différents éléments dominants dans les eaux

Le calcium est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (**BENAMAR et al., 2011**). Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. C'est un composant majeur de la dureté de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrain traversé. Il existe surtout à l'état d'hydrogencarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure, etc. (**RODIER et al., 2005**). Le calcium est fréquent dans les roches sédimentaires. Il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) qui sont facilement solubles (**DIB, 2009**).

L'influence du calcium de l'eau sur la santé humaine, a été souvent discutée. Des recherches et des études statistiques notent qu'il n'y aurait pas de relation dose-effet avec la teneur de cet élément dans l'eau. Les quantités susceptibles d'être ingérées sous forme de boisson sont inférieures aux quantités nécessaires à l'organisme, estimées approximativement entre 700 et 900 mg/jour. De plus le calcium de l'eau n'est que peu absorbé par l'intestin. Les eaux qui dépassent 200 mg/l de calcium, présentent des inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières (**RODIER et al., 2005**).

Le magnésium est un élément présent dans toutes les eaux naturelles (**BENAMAR et al., 2011**). La variation du magnésium dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part comme les argiles et les marnes qui sont riches en  $\text{Mg}^{2+}$  (**DIB, 2009**). La plupart des sels de magnésium sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogénocarbonates.

En zones arides, il a été constaté la consommation courante et sans problèmes majeurs pour les habitudes, des eaux contenant 200 mg/l de magnésium avec des teneurs élevées en sulfates (**RODIER et al., 2005**).

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables, allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères, etc. Par ailleurs le traitement de l'eau peut ajouter du sodium en provenance du carbonate, de l'hydroxyde, du silicate et de l'hypochlorite de sodium. Dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas d'argument suffisant pour justifier la fixation d'une valeur indicative pour le sodium dans l'eau, pour la base d'un risque sanitaire (**RODIER et al., 2005**). Comme le corps possède des mécanismes très efficaces de régulation des teneurs en sodium du milieu interne, ce métal n'est pas fortement toxique aux concentrations où on le trouve normalement dans l'environnement ou dans l'alimentation (**FINBERG et al., 1963**).

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

Pour **MONTIEL (1999)**, la présence exagérée de sodium dans les eaux peut affecter certaines populations (sujets souffrant d'hypertension par exemple), et peut aussi affecter certains sujets normaux (augmentation de la tension sanguine chez les adolescents).

Bien que dans les roches ignées, la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium (**RODIER et al., 2005**), avec la nature du terrain, c'est tout à fait le contraire, où le potassium est mineur par rapport au sodium. Le potassium à faible dose ne représente pas de risques significatifs. Même des variations importantes de ces teneur de l'eau, n'auraient que des effets négligeables sur les concentrations de l'organisme (**RODIER et al., 2005**).

Sa présence dans les eaux naturelles ne dépassent pas habituellement 10 à 15 mg/l. Le seuil de perception gustative du chlorure de potassium se situe à environ 20 fois cette valeur (**FALL, 2008**).

La forte teneur en chlorure est probablement due à la forte évaporation des eaux. Aussi, la nature argileuse du sol.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Leurs teneurs dans les eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations en zones arides suite au lessivage superficiel en cas de fortes pluies. Elles peuvent avoir aussi comme origine, selon **DIB (2009)**, une contamination par les eaux usées. L'inconvénient majeur des chlorures, est la saveur désagréable, qu'elles communiquent à l'eau à partir de 250 mg/l (**OMS, 1993; WHO, 2008**), surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Pour une quantité équivalente de chlorures, la saveur peut être moins marquée en présence de calcium et de magnésium (**RODIER et al., 2005**).

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles, est très variable, peut être largement dépassée dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevée, et la dissolution du gypse (**RODIER et al., 2005; DIB, 2009**).

La présence de sulfate en quantité supérieure à 300 mg/l peut entraîner dans certaines conditions l'altération des matériaux de construction (corrosion des réservoirs de stockage) et accélérer la corrosion du fer (**RODIER et al., 2005**).

Au cours de tous ces résultats, on constate que la nappe du Maestrichtien (Sénonien supérieur), présente des eaux de bonne qualité du fait que les cations ainsi les anions majeurs ont des concentrations conformes aux normes de potabilité.

La nappe Phréatique, présente une qualité des eaux non potable, du fait que la majorité des éléments soit les cations ou les anions ont des fortes concentrations qui dépassent largement les normes de potabilité.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

La nappe du Miopliocène présente une mauvaise qualité puisque la majorité des cations présentent des concentrations élevées, ainsi que les anions où les chlorures et les sulfates sont trop élevés. La teneur en sulfate dans l'eau est liée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation, ils proviennent essentiellement de la dissolution des gypses.

La nappe de l'Eocène inférieur a une qualité plus ou moins médiocre où les eaux sont moins dures par rapport à celle du Miopliocène, car seul le calcium et les sulfates ont des concentrations élevées et dépassent les normes de potabilité mais ces eaux restent non potables et nécessitent un traitement spécifique.

### II.2.3. Faciès chimique

Les nombreuses données physico-chimiques, utiles à la caractérisation d'une source d'eau minérale, induisent l'utilisation de représentations graphiques. L'objectif principal d'une représentation graphique est de permettre une approche rapide des résultats analytiques en vue de caractériser facilement une eau, de suivre son évolution ou de la comparer à d'autres eaux minérales de compositions physico-chimiques voisines ou de proximité géographique.

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et cations sur deux triangles. Les unités utilisées sont les pourcentages en meq/l par rapport au total de ces ions. L'intersection des deux lignes issues des triangles dans le losange représente l'analyse de l'échantillon.

Le diagramme de Schöeller permet d'obtenir la qualité chimique des eaux en utilisant les concentrations des ions majeurs. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

Les deux graphiques, Schoeller, Piper sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes.

#### 1) Nappe Phréatique

Représentées sur le diagramme de Piper (figure 51), les eaux de la nappe Phréatique sont de faciès :

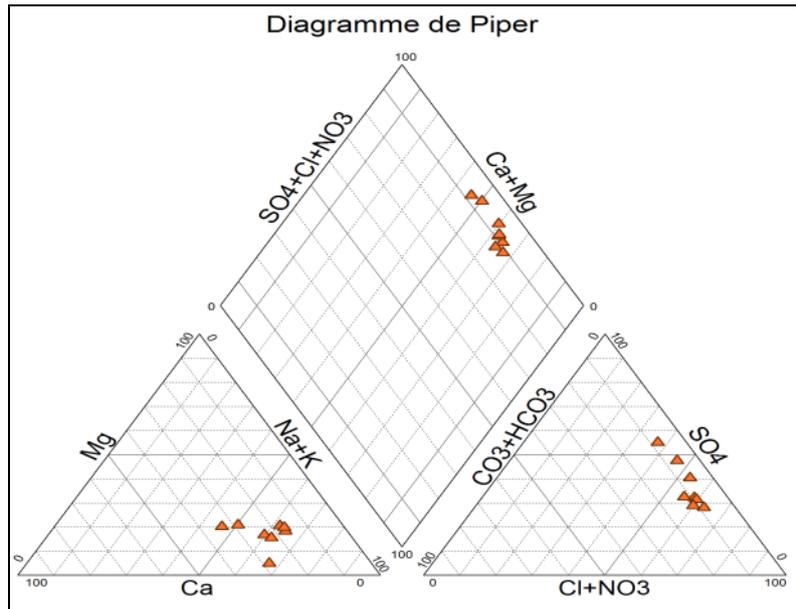


Figure 51 : Diagramme de Piper-Nappe Phréatique

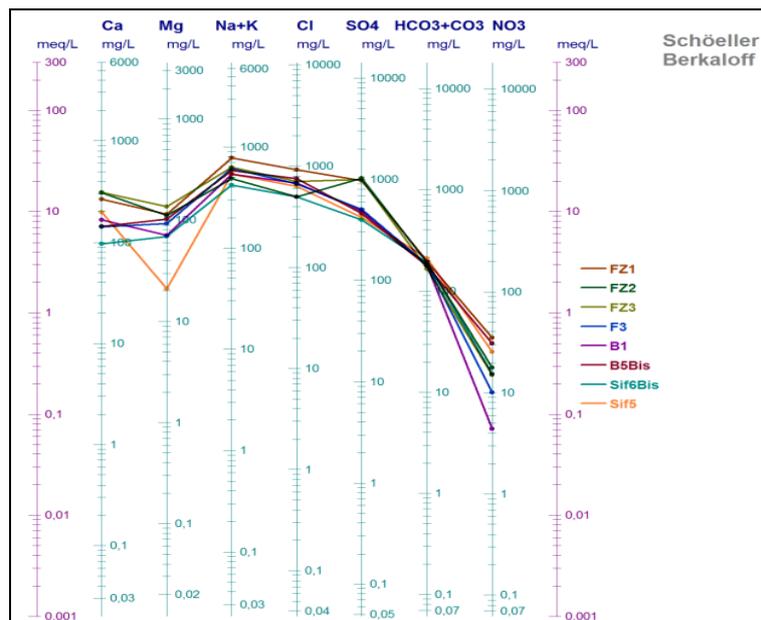


Figure 52 : Diagramme de Schoeller -Nappe Phréatique

Les eaux de cette nappe présentent un faciès chloruré sodique et potassique avec la tendance de deux forages vers le pôle sulfaté calcique et magnésien.

Les ions dominants (figure 52) sont les chlorures et les sulfates pour les anions et le sodium et potassium pour les cations.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Si on le remarque bien, les eaux de cette nappe phréatique se chargent de plus en plus de matières dissoutes. La distribution montre une nette dominance des chlorures et des sulfates sur le calcium et le magnésium.

Selon les formules caractéristiques, les ions s'ordonnent de la manière suivante :

- Pour le faciès : chloruré sodique et potassique



### 2) Nappe du Miopliocène

Représentées sur le diagramme de piper (figure 53), les eaux de la nappe du Miopliocène sont de faciès :

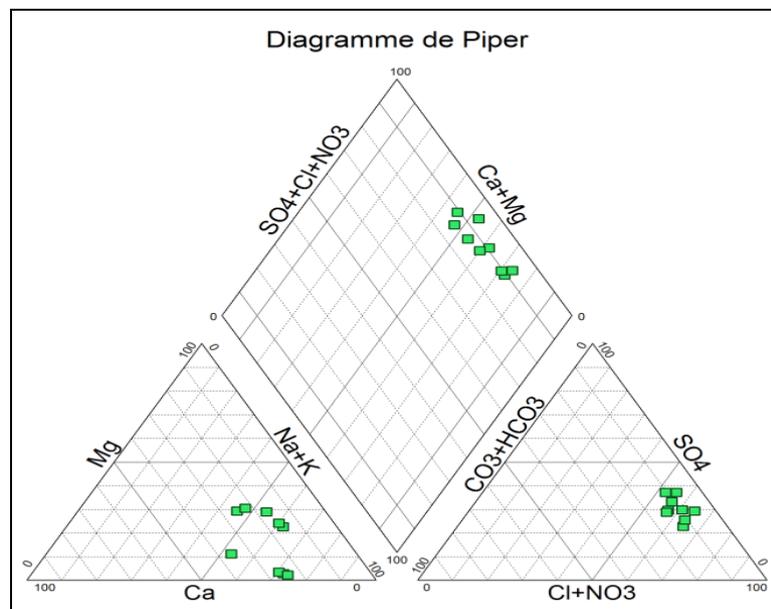


Figure 53 : Diagramme de Piper-Nappe du Miopliocène

Le faciès chimique dans cette nappe est le chloruré sodique et potassique.

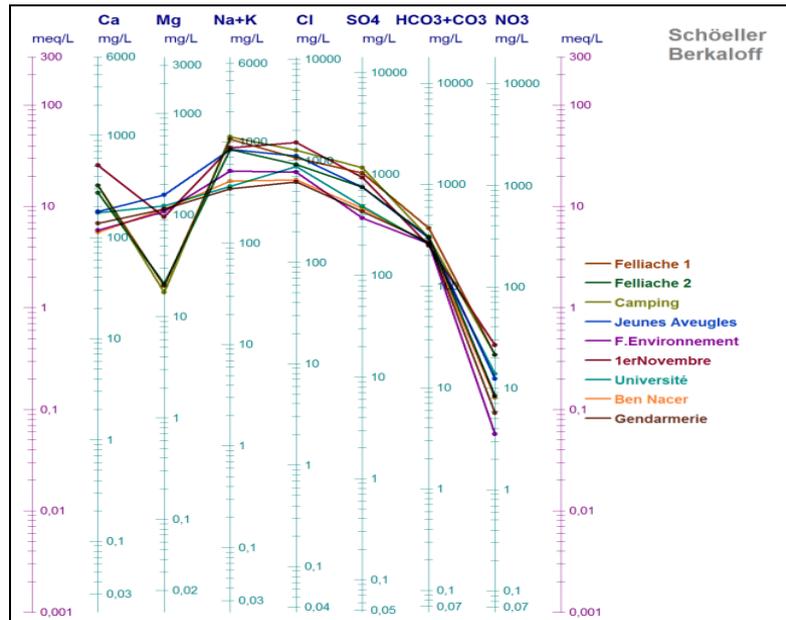


Figure 54: Diagramme de Schoeller- Nappe du Miopliocène

Les cations dominants sont : le sodium et le potassium.

Les anions dominants sont les chlorures :  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$

### 3) Nappe de l'Eocène inférieur

Pour cette nappe de l'Eocène inférieur (figure 55), les eaux de cette nappe présentent deux faciès chimiques.

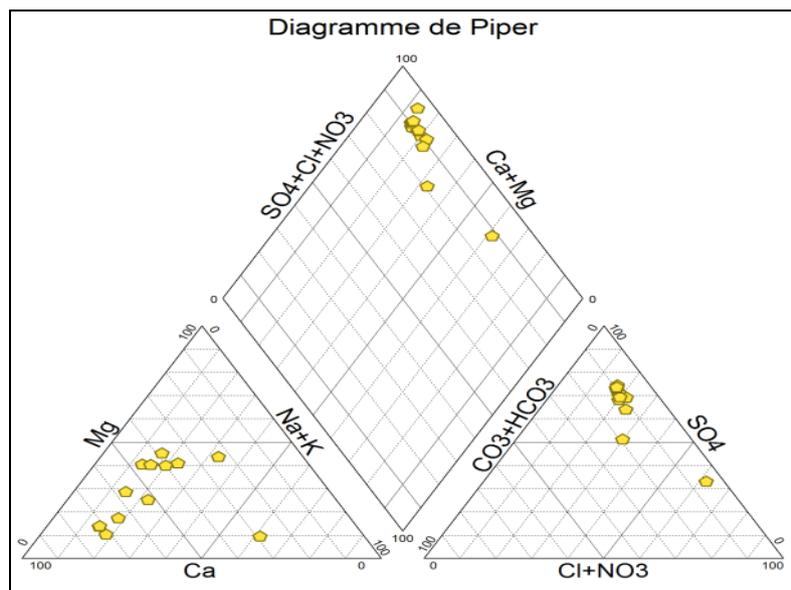


Figure 55 : Diagramme de Piper-Nappe de l'Eocène inférieur

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Le premier faciès est : sulfaté calcique et magnésienne.

Le deuxième faciès : un seul forage présent le faciès chloruré sodique et potassique.

Les ions dominants sont les sulfates pour les anions et le calcium et le magnésium pour les cations.

Les ions s'ordonnent de la manière suivante (figure 56) :

- ✚ Pour le premier faciès : sulfaté calcique et magnésienne



- ✚ Pour le deuxième faciès : chloruré sodique et potassique

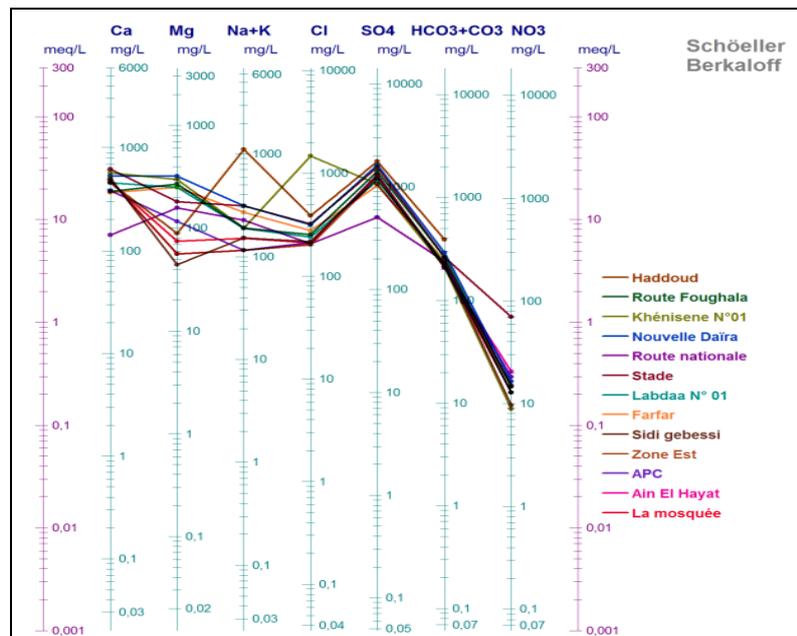


Figure 56: Diagramme de Schoeller- Nappe de l'Eocène inférieur

### 4) Nappe du Maestrichtien

Pour cette nappe du Maestrichtien (figure 57), les eaux sont de faciès : Sulfaté calcique et magnésienne.

- Les cations dominants (figure 58) : pas de cations dominant, un seul forage à une tendance vers le magnésium.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

- Les anions dominants sont : selon le diagramme de piper les sulfates sont les anions dominants.

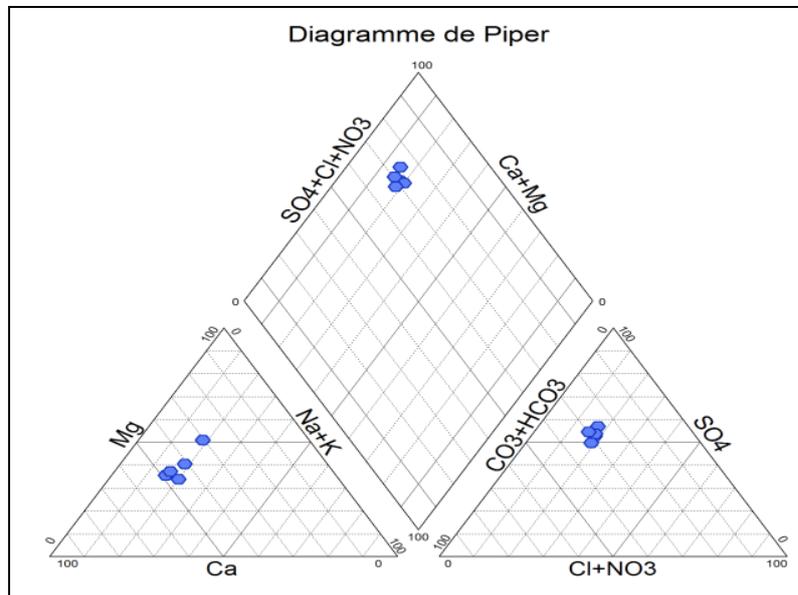


Figure 57: Diagramme de Piper-Nappe du Maestrichtien

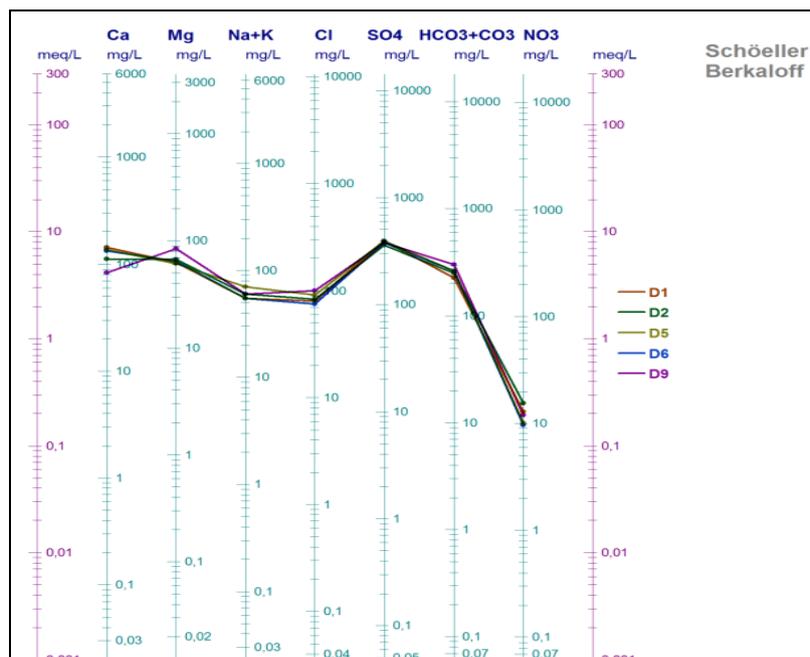


Figure 58 Diagramme de Schoeller- Nappe du Maestrichtien

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Selon les formules caractéristiques, les ions s'ordonnent de la manière suivante :



Pour cette nappe la distribution des éléments minéraux est identique et homogène, il est bien illustré sur le diagramme de Schoeller où les courbes ont la même allure.

### II.3. Etude de paramètres de pollution

Les paramètres étudiés dans notre étude sont : les nitrates, les nitrites, les phosphates, le cuivre, le fer, l'ammoniac, la silice et le manganèse. Ils ont des concentrations différents pour chaque nappe, l'évolution de ces paramètres est présenté sous formes d'histogrammes (figure 59).

#### 1) Nappe Phréatique

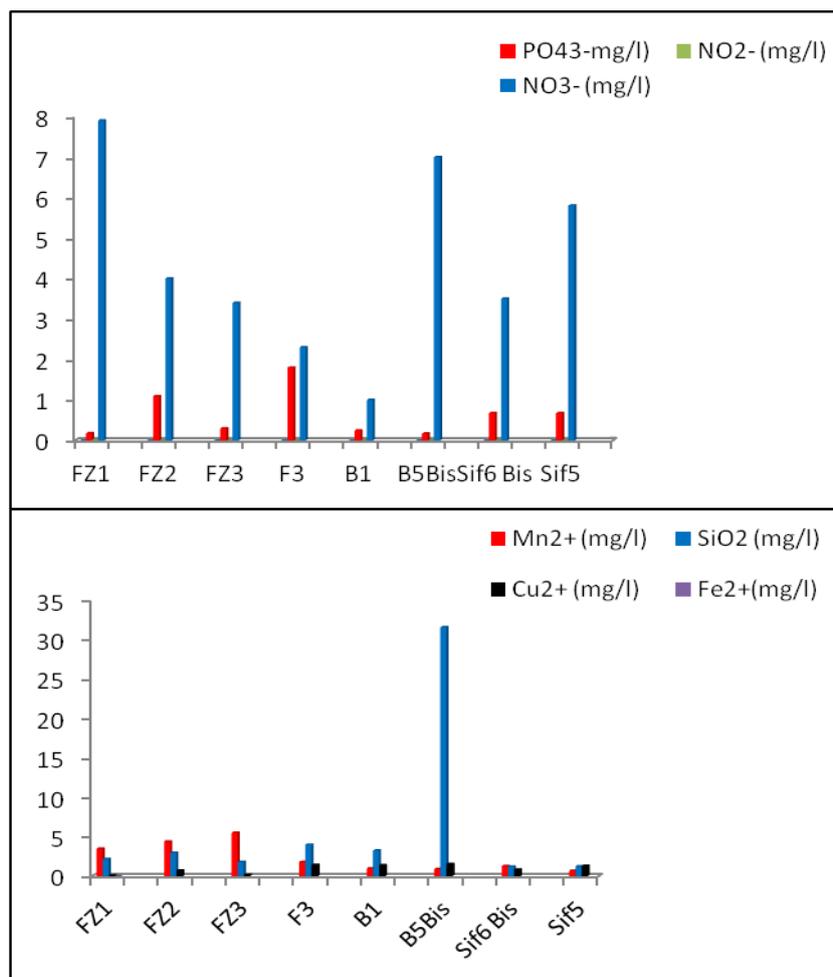
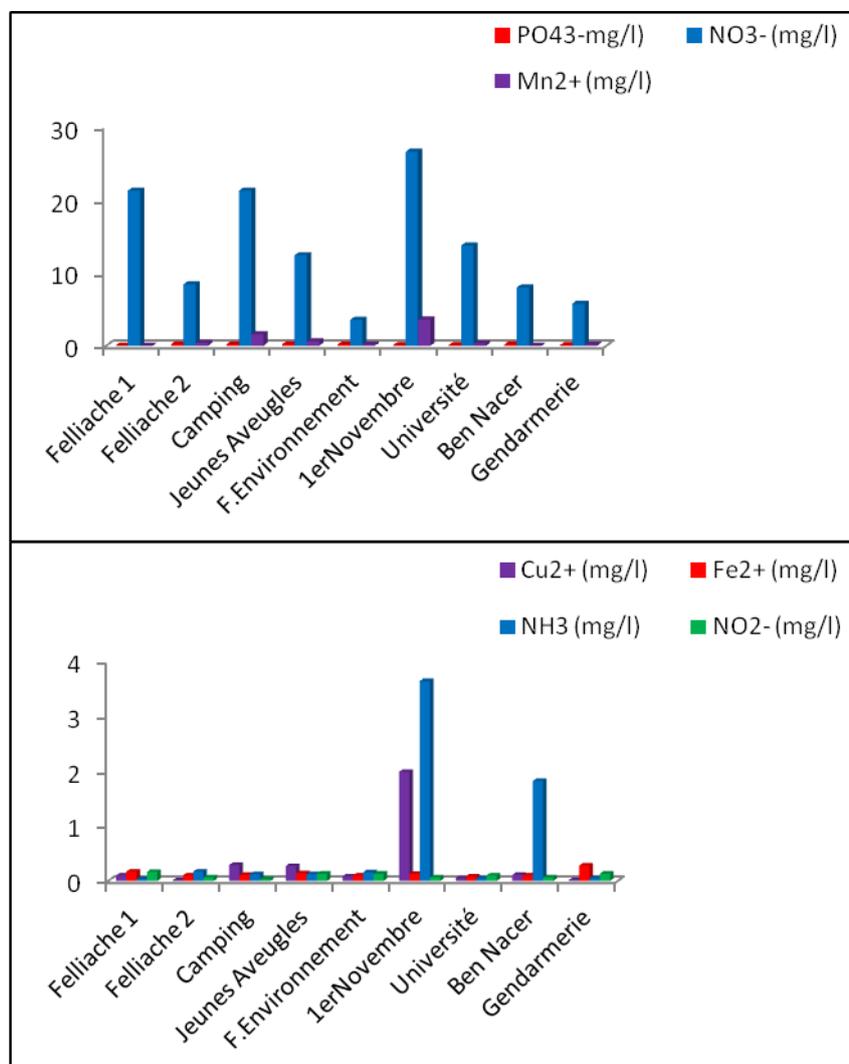


Figure 59 : Variation des paramètres de pollution dans la nappe Phréatique

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Pour la nappe phréatique, les nitrates présentent des faibles concentrations où les nitrates atteignent 7,9 mg/l, inférieur à la valeur limite dans les normes de (l'OMS, 2006) et les normes algériennes (JORA, 2011) soit 50 mg/l mais reste une valeur importante. Les nitrites et le fer sont nuls, par contre, les phosphates ne dépassent pas 2 mg/l. Le manganèse est élevée dépasse les normes (50µg/l). La silice est élevée dans cette nappe atteint 31,6 mg/l. Le cuivre présente une concentration inférieure à 2 mg/l (Normes de l'OMS et normes algériennes).

### 2) Nappe du Miopliocène



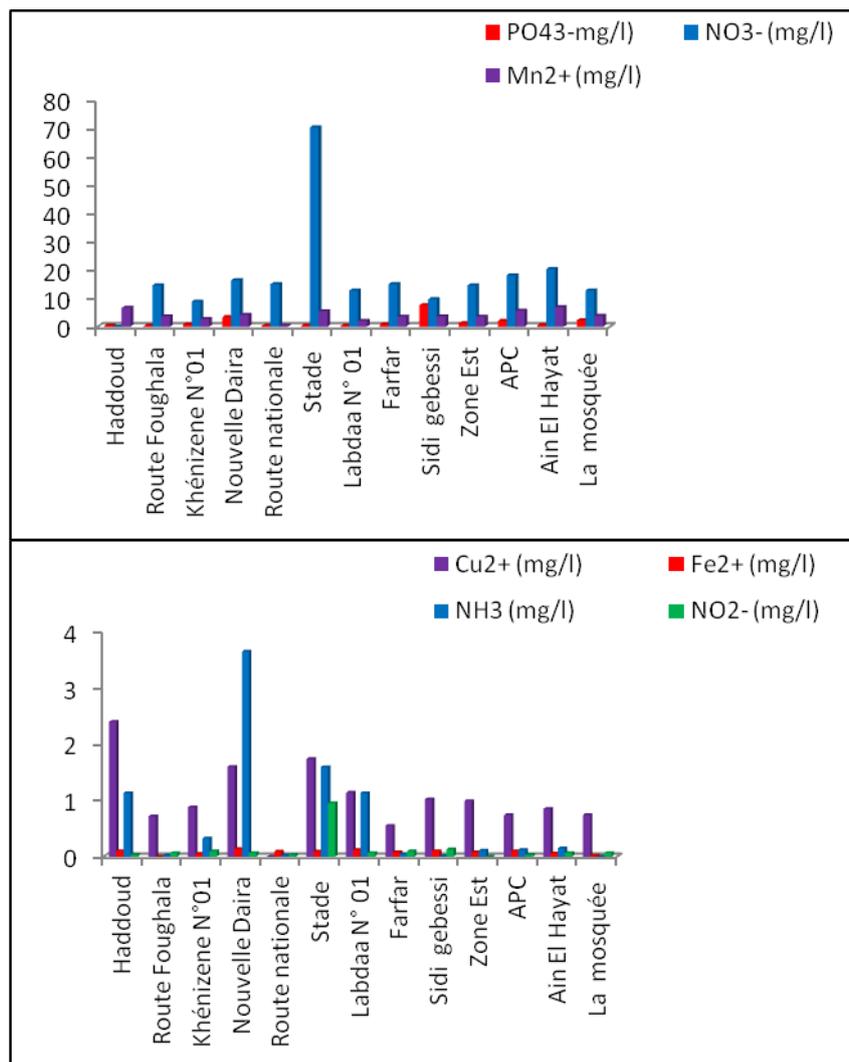
**Figure 60: Variation des paramètres de pollution dans la nappe du Miopliocène**

Pour la nappe du Miopliocène (figure 60), il est bien illustré que le manganèse est élevé dans cette nappe et dépasse les normes.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

Le cuivre conforme aux normes même si sa concentration atteint presque 2 mg/l dans le forage 1<sup>er</sup> Novembre (1,99 mg/l). Le fer ne dépasse pas 0,28 mg/l, les nitrites conformes aux normes et ne dépassent pas 0,2 mg/l. Les nitrates sont très élevées (26,58 mg/l) sont proches de la limite (50 mg/l), les phosphates sont presque nuls et l'ammoniac allant jusqu'à (3,64 mg/l).

### 3) Nappe de l'Eocène inférieur



**Figure 61: Variation des paramètres de pollution dans la nappe de l'Eocène inférieur**

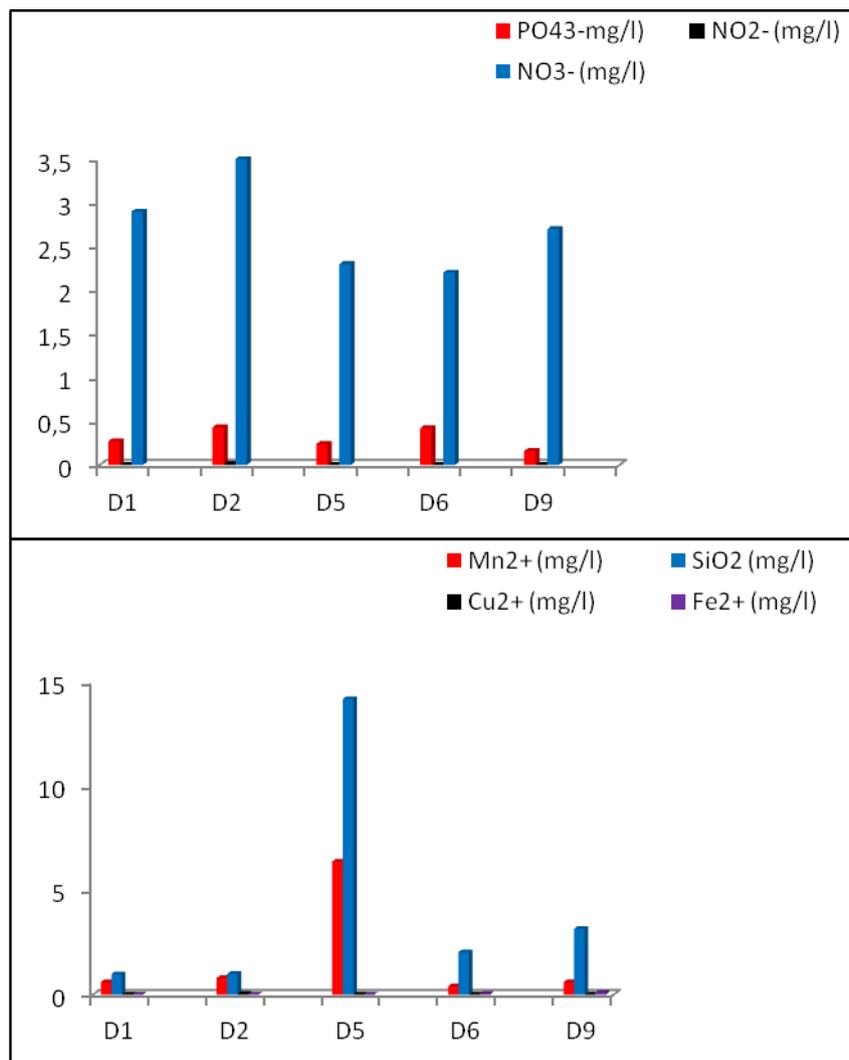
Dans la nappe de l'Eocène inférieur (figure 61), les nitrates sont trop élevés et dépassent les normes (70,43 mg/l,) le manganèse aussi dépasse les normes.

Les phosphates sont faibles dans quelques forages et dépasse 2 mg/l dans les autres (Nouvelle Daira, Sidi gebessi, APC et la mosquée).

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

La concentration du fer ne dépasse pas 0,14 mg/l, conforme aux normes, le cuivre aussi présente une concentration faible par rapport aux normes (2 mg/l) sauf en ce qui concerne le forage (Haddoud), l'ammoniac atteint 3,6 mg/l. Les nitrites sont faibles (< 0,2 mg/l) sauf dans le forage (stade) où la concentration est de 0,95 mg/l.

### 4) Nappe du Maestrichtien



**Figure 62: Variation des paramètres de pollution dans la nappe du Maestrichtien**

La variation des éléments de pollution dans la nappe du Maestrichtien (figure 62) est différente par rapport aux autres nappes où, les phosphates sont très faibles inférieurs à 0,5 mg/l. Les nitrites, le cuivre et le fer sont inexistantes.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

Les nitrates aussi ont des concentrations conformes aux normes et ne dépassent pas 3,5 mg/l, le manganèse atteint 6,4 mg/l et dépasse largement les normes de l'OMS et les normes algériennes (50 µg/l), la silice arrive jusqu'au 14 mg/l.

Au cours de tous ces résultats, nous constatons que la proportion des paramètres de pollution varie d'une nappe à l'autre. Seule la nappe du Maestrichtien présente des concentrations en éléments polluants inférieurs aux valeurs limites des normes soit de l'OMS ou par rapport aux normes algériennes.

Les nitrates possèdent une particularité que les autres substances polluantes n'ont pas. Ils peuvent se trouver dans le sol et les eaux soit à la suite d'un apport d'engrais, soit comme la conséquence de processus biochimique naturels qui dépendent étroitement des conditions pédoclimatiques et écologiques régionales. Par ailleurs, le transfert des nitrates vers les nappes est conditionné par un excès d'eau d'irrigation ou de pluie (**BARDAI et al., 2004**). Dans notre étude cette observation est confirmée par la présence de la forte concentration en nitrates dans la nappe du Miopliocène et celle de l'Eocène inférieur, par le lessivage des sols cultivées dans la région de Tolga et bordj Ben Azzouz et la région de Biskra, et presque nulle dans la nappe Phréatique (nappe superficielles) et la nappe du Maestrichtien (Sénonien supérieur).

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante des bactéries (phénomène de la dénitrification) (**RODIER et al., 2005; DIB, 2009**). Une eau qui renferme des nitrites, est considéré comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (**RODIER et al., 2005**). Cependant, les eaux en contact avec certains terrains ou conduites peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure (**HAKMI, 2006**).

Les eaux de forages étudiés présentent des concentrations en nitrites faibles et ne dépassent pas 0,2 mg/l. Elles sont conformes aux normes de potabilité.

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol. Leur présence dans les eaux naturelles sont liées à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (**BEAUDRY et HENRY, 1984**). Il en résulte une véritable dégradation qui peut devenir irréversible (**HAKMI, 2006**).

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues (**RICHARD, 1996; LADJEL, 2009**). Il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les réservoirs, les canalisations de grand diamètre et les eaux de lacs, où il contribue à l'eutrophisation (**LADJEL, 2009**). Selon Rodier (2009), la contamination des eaux de nappes par cet élément est liée aux rejets industriels et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renferment des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides.

En effet selon Bendra et al. (2005), l'agriculture est considérée comme le principal responsable de l'augmentation des concentrations des produits phytosanitaires dans le milieu récepteur, le premier émetteur de la pollution azotée et le second émetteur du phosphore.

La zone d'El Ghrous affiliée aux Ziban (région de Biskra) est devenue un pôle agricole national. Ce développement est d'une part la conséquence des potentialités hydriques, climatiques et édaphiques qui caractérisent la région et d'autre part il est le résultat d'un processus long de réformes mis en place par l'Etat.

Les nouvelles exploitations agricoles ont donné naissance, en une dizaine d'années, à un important bassin de production pour les cultures sous- serres (20.000 serres en 2008). Ce niveau d'intensification de l'agriculture s'est accompagné d'une application importante d'intrants agro-chimiques (engrais et produits de traitements) ce qui constitue une source potentielle de contamination des eaux souterraines par les nitrates (**DROUCHE et al, 2013**).

Les concentrations en orthophosphates ( $PO_4^{3-}$ ) enregistrées au niveau des forages étudiées sont très faibles, elles sont à l'état de traces. Par conséquent, ce paramètre ne constitue pas un risque de pollution pour les eaux des forages étudiées. Sauf au niveau de quelques forages dans la nappe de l'Eocène inférieur.

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches. Il est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches, son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels.

D'après l'étude de (**CHEBBAH, 2007**), la coupe géologique qui a été faite sur Oued Biskra à El Outaya montre que : 160 m d'argiles vertes qui deviennent à leur sommet gypseuses, à petits grains de quartz et petits galets calcaires arrondis peu oxydés et à taches brunes de manganèse. Plus au NNW, au niveau du bassin de Bled Salaouine, ces argiles sont à huîtres et dans lesquelles Guiraud signale la présence de bancs gypseux à leur sommet.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

La présence de manganèse est gênante car elle peut donner à l'eau une couleur noirâtre, provoquer des dépôts d'hydroxyde, lui conférer un goût métallique désagréable et tacher le linge.

Les échantillons analysés présentent des concentrations nulles en fer total pour la nappe Phréatique et celle du Maestrichtien, et des concentrations faibles ne dépasse pas 0,28 mg/l dans la nappe du Miopliocène et de l'Eocène inférieur conformes aux normes algériennes (**JORA, 2011**) soit 0,3 mg/l. Cependant, la concentration en manganèse est élevée sur l'ensemble des eaux des forages étudiées est dépasse (50µg/l). Dans l'eau, le manganèse se retrouve à l'état dissous, en suspension, ou sous forme de complexes, mais jamais à l'état libre. Son élimination dans l'eau est délicate. Elle fait appel à des traitements d'oxydation, suivis d'une filtration sur sable (**RESJEK, 2002**)

Le cuivre peut se concentrer dans les eaux naturelles généralement à des teneurs inférieurs à 1 mg/l et ses principales sources anthropiques sont les industries, les traitements agricoles et la corrosion des tuyauteries (0,5 à 1 mg/l) (**RODIER et al., 2005**).

Dans la région d'étude, la présence du cuivre dans les eaux provient de la fabrication des câbles électriques en cuivre destiné pour le transport de l'énergie électrique. Ce cuivre est produit par l'ENICAB de Biskra.

Les normes de l'OMS et les normes Algériennes pour les eaux potables sont fixées pour cet élément à une valeur de 2 mg/l pour un risque sanitaire. Le cuivre en excès peut provoquer une toxicité pour les dialysés rénaux (**GAUJOUS, 1995**).

La concentration en cet élément est faible dans toutes les échantillons testées, elle est inférieure à 2 mg/l.

L'azote ammoniacal rencontré dans les eaux et dont la présence est anormale (**NISBET et VERNEAUX., 1970**), traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique lorsque la teneur en oxygène est insuffisante pour assurer sa transformation. La teneur en azote ammoniacal dans les eaux naturelles devrait être relativement faible puisque l'ammoniaque est oxydée graduellement en nitrite et en nitrate (**LARBI, 2004**).

Les taux d'ammoniaque enregistrés au niveau des forages des nappes du Miopliocène et de l'Eocène inférieur étudiées sont compris entre 0,00 mg/l et 3,64 mg/l.

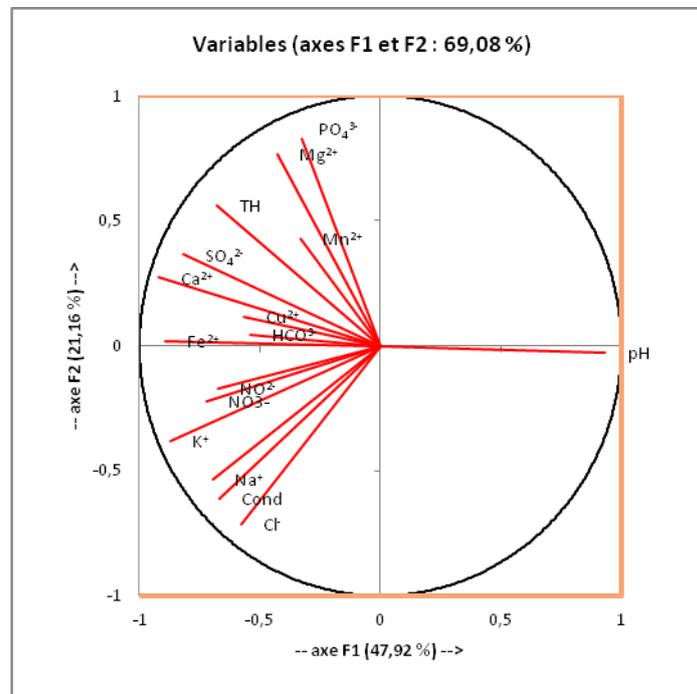
La forte concentration en élément provient du phénomène d'infiltration des engrais utilisés dans l'agriculture par le lessivage des sols.

### II.4. Analyse en composantes principales (ACP) pour les paramètres physico-chimiques et paramètres de pollution

Devant le nombre important de mesures, nous avons utilisé un moyen statistique de traitement de données qui est l'Analyse en Composante Principale (ACP). Les variables qui sont les plus contributives se trouvent à proximité du cercle. Celles ayant une faible contribution se trouvent proches au centre.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux permet une différenciation sur leurs particularités physique, chimique et organique et une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux (F1.F2).

L'analyse de la qualité physico-chimique a porté sur 12 échantillons prélevés de forages de différentes nappes aquifères exploitées dans la région, utilisées pour la consommation humaine.



**Figure 63** : ACP des caractéristiques physico-chimiques, éléments minéraux majeurs et des paramètres de pollution dans l'eau. Cercle de corrélation et projection des variables

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

L'observation du cercle de corrélation (Figure 63) formé par les axes F1 –F2 , l'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 69,08% sont exprimés. L'axe F1 possède une variance de 47,92 % et l'axe F2 a une variance de 21,16 %;

L'axe F1 est exprimé par le pH dans le pôle positif et le  $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $K^+$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ , TH,  $NO_2^-$  et  $NO_3^-$  dans le pôle négatif, met en évidence une minéralisation de l'eau par le phénomène dissolution de la roche et le  $Ca^{2+}$ , le  $Mg^{2+}$  et TH sont issus de l'altération des roches suite à un long temps de contact eau-roche et de l'hydrolyse acide des minéraux silicatés. Ce regroupement indique que ces paramètres sont mis en solution par le même phénomène. L'axe F2 est constitué par les  $PO_4^{3-}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , et TH dans le pôle positif et  $Cl^-$ , Cond,  $Na^+$ , dans le pôle négative de l'axe F2.

Le triangle de corrélation (tableau 14), permet de révéler de l'existence de :

- Corrélation positive entre la dureté totale, le calcium et le magnésium s'explique par le faite que les cations ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) forment la dureté de l'eau, elle présente respectivement (0,769 et 0,900).

**Tableau 14 :** Matrice de corrélation entre les variables en utilisant (ACP).

	Cond	pH	TH	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$	$PO_4^{3-}$	$NO_3^-$	$NO_2^-$	$Mn^{2+}$	$Fe^{2+}$	$Cu^{2+}$
Cond	1															
pH	<b>-0,601</b>	1														
TH	0,227	<b>-0,612</b>	1													
$Ca^{2+}$	0,460	<b>-0,807</b>	<b>0,769</b>	1												
$Mg^{2+}$	-0,076	-0,464	<b>0,900</b>	0,546	1											
$Na^+$	<b>0,796</b>	<b>-0,667</b>	0,014	0,523	-0,226	1										
$K^+$	<b>0,824</b>	<b>-0,779</b>	0,365	<b>0,750</b>	0,082	<b>0,847</b>	1									
$HCO_3^-$	0,032	-0,501	0,058	0,487	-0,035	0,474	0,430	1								
$Cl^-$	<b>0,971</b>	-0,491	0,140	0,346	-0,185	<b>0,705</b>	<b>0,768</b>	-0,002	1							
$SO_4^{2-}$	0,284	<b>-0,782</b>	<b>0,605</b>	<b>0,880</b>	0,526	0,564	<b>0,638</b>	<b>0,645</b>	0,110	1						
$PO_4^{3-}$	-0,199	-0,326	<b>0,750</b>	0,504	<b>0,786</b>	-0,238	-0,117	0,092	-0,314	0,502	1					
$NO_3^-$	<b>0,658</b>	<b>-0,596</b>	<b>0,624</b>	0,576	0,298	0,334	<b>0,635</b>	0,135	<b>0,714</b>	0,250	0,143	1				
$NO_2^-$	0,382	<b>-0,679</b>	0,408	0,444	0,228	0,364	0,556	0,562	0,424	0,376	0,057	<b>0,755</b>	1			
$Mn^{2+}$	-0,054	-0,251	0,284	0,516	0,293	0,187	0,252	0,389	-0,181	<b>0,601</b>	0,228	-0,141	-0,118	1		
$Fe^{2+}$	0,445	<b>-0,810</b>	<b>0,581</b>	<b>0,786</b>	0,341	0,511	<b>0,703</b>	<b>0,722</b>	0,431	<b>0,688</b>	0,310	<b>0,750</b>	<b>0,852</b>	0,178	1	
$Cu^{2+}$	0,387	-0,572	0,321	<b>0,659</b>	0,214	0,522	0,476	0,212	0,263	<b>0,577</b>	0,303	0,130	-0,092	0,383	0,333	1

*En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil  $\alpha=0,050$  (test bilatéral)*

- Forte corrélation issue entre la conductivité et ces éléments,  $\text{Cl}^-$  (0,971),  $\text{Na}^+$  (0,796),  $\text{K}^+$  (0,824),  $\text{NO}_3^-$  (0,658). Les sels chlorures de sodium ou chlorures de potassium sont l'origine de ces éléments après dissolution des roches, l'altération des roches suite à un long temps de contact eau- roche. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ont une origine superficielle et indiquent une pollution d'origine anthropique.
- Forte corrélation entre le  $\text{Ca}^{2+}$ , le  $\text{Mg}^{2+}$  et TH qui sont issus de l'altération des roches suite à un long temps de contact eau-roche et de l'hydrolyse acide des minéraux silicatés.
- Forte corrélation négative entre le pH et Les (Sels, Nutriments,  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Cu}^{2+}$ ).

La corrélation entre les axes principaux et les variables qu'il soit contributive à un axe, exige une valeur de corrélation, et corrélation au carré, élevée. Il a été pris en considération de la valeur  $\alpha = 0,05$  au plus (seuil de signification). Les variables qui constituent l'axe 1 et 2, sont mentionnées dans le tableau 05 en Annexe.

Nous nous sommes intéressés à utiliser un autre logiciel statistique pour avoir la relation entre les différents paramètres, nous avons utilisé le logiciel (SPSS), la matrice de corrélation (Tableau 06 en Annexe) est bien la même qu'on a abouti en utilisant le logiciel (XL STAT).

### II.5. Présence du Fluor dans les eaux

Pour notre étude, il ne nous a pas été possible de tester l'élément fluor, à cause du manque d'électrode spécifique à la mesure. Mais des études antérieures du laboratoire LARHYSS (**BOUCHEMAL et al, 2004 ; BOUCHAHM et ACHOUR, 2008**) ont montré que :

- Le fluor est présent dans toutes les eaux des nappes de la région et varie d'un aquifère à l'autre.
- Dans la nappe phréatique il varie entre une concentration minimale de 1,07 mg/l et une valeur maximale de 3,67 mg/l. pour la nappe sous- jacente, le Miopliocène sa teneur varie entre 0,58 mg/l et 3,83 mg/l.
- La concentration la moins élevée se rencontre dans la nappe de l'albien et est de l'ordre de 0,65mg/l.
- On remarque que les concentrations en fluor des eaux souterraines de cette région dépassent généralement les normes de potabilité dans l'eau de boisson.

### II.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, il nous a été possible d'établir une synthèse des résultats de toutes les analyses effectuées sur les eaux des nappes de la région de Biskra. L'étude hydrochimique nous a permis d'édifier un aperçu sur la qualité chimique de l'eau, les paramètres de pollution aussi ont été étudiés. Après avoir suivi l'évolution de ces paramètres, il en ressort que :

- ✓ Les eaux ont des pH alcalins pour les eaux les plus superficielles de la nappe phréatique et avec un caractère acide ou alcalin variable pour les autres nappes ;
- ✓ La température dans la nappe du Miopliocène est moyennement élevée vu la période de prélèvement (mois de Mai) et dépasse 25°C. Par contre, la nappe de l'Eocène inférieur présente des valeurs plus faibles ;
- ✓ Les valeurs de la conductivité sont élevées et dépassent les normes de l'OMS et même les normes algériennes ;
- ✓ Les eaux de cette région sont très dures du fait que la dureté totale dépasse 54°F ;
- ✓ Les eaux sont caractérisées par la présence de trois faciès :
  - Faciès chloruré sodique et potassique
  - Faciès sulfaté calcique et magnésienne
  - Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- ✓ Les cartes de la minéralisation dressées indiquent une variabilité, grâce à des phénomènes de dissolution et mise en solution des sels des roches, la nappe du Miopliocène est la plus chargée en sels.
- ✓ Le fluor présente des concentrations assez élevées surtout dans les deux nappes, la nappe Phréatique et celle du Miopliocène.
- ✓ Le degré de pollution des eaux dans cette région, est déterminé par la présence de différents paramètres où le manganèse est présent en fortes concentrations dans l'ensemble des nappes étudiées, l'ammoniac aussi atteint des concentrations considérables.

En revanche, les nitrates possèdent une particularité du fait qu'ils présentent des fortes concentrations dans les nappes du Miopliocène et celle de l'Eocène inférieur et faibles dans les deux autres nappes.

La contamination des eaux des nappes par ces éléments est liée aux rejets industriels et domestiques ou par le lessivage de terres cultivées renfermant des engrais et des pesticides.

## Chapitre II Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux souterraines

---

✓ L'analyse en composantes principales fait apparaître des similitudes et des différences entre les paramètres physico-chimiques et les paramètres de pollution. La bonne corrélation a été observée entre la conductivité électrique et les éléments chlorures, sodium et potassium ainsi que les nitrates. Les sels chlorures de sodium ou chlorures de potassium sont l'origine de ces éléments après dissolution des roches, l'altération des roches suite à un long temps de contact eau- roche. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ont une origine superficielle et indiquent une pollution d'origine anthropique.

### III.1. Introduction

Au vu du développement industriel et de la demande de plus en plus croissante, tous les pays auront à faire face au problème du manque d'eau et sans hésitation à dire l'eau est devenue facteur de développement. La mobilisation des eaux superficielles a été de tous temps, une préoccupation pour l'homme.

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents Elles ont pour origine soit les eaux de ruissellement, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux puis de rivière.

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable.

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable, La pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ) (**GOUDJIL ; BENCHEIKH, 2011**).

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

L'accroissement accéléré de la contamination des systèmes aquatiques au cours des dernières années ainsi que la modification progressive de la nature des pollutions qui deviennent de plus en plus chimiques et toxiques à court ou long terme, ont contribué à faire de la détermination de la qualité chimique des eaux l'une des tâches quotidiennes des organismes d'application et l'un des principaux soucis de la recherche hydroécologique (**ENFIELD ET YATES; 1990**).

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés sur l'étude de la variation spatiale des paramètres physico-chimiques ainsi que les paramètres de pollutions. Il s'agit d'une eau de barrage de Fom El Gherza pour l'irrigation de la région de Sidi Okba et de Fontaine des gazelles pour l'irrigation de la plaine de l'Outaya.

### III.2. Mode de prélèvement

Les analyses ont été faites au niveau du laboratoire "LARHYSS ", Les essais ont été effectués sur des prélèvements d'eaux brutes où les échantillons d'eau sont recueillis dans des jerricans neufs et bien lavés. Les prélèvements se font à une profondeur de 20 cm de surfaces de l'eau. Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

### III.3. Etude de la variation des paramètres physico- chimiques mesurés

#### III.3.1. Paramètres physiques

##### III.3.1.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH des eaux du barrage Fontaines des gazelles est de 8,16, celui du barrage Foug El Gherza est de 8,10. Le pH est compris dans une gamme d'une eau potable car le pH d'une eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5. Donc ces eaux présentent un caractère alcalin du fait que le pH est souvent inférieur à 8,30.

##### III.3.1.2. La Température

La température des eaux des barrages Fontaines des gazelles et Foug El Gherza sont respectivement 14 °C et 12 °C. Elles sont faibles car ces eaux sont à l'abri de l'atmosphère, donc elle change selon les saisons, mais elle reste acceptable puisque elle est inférieure à 25°C conforme aux normes de potabilité.

##### III.3.1.3. La Conductivité

La conductivité d'une eau est un indicateur des changements de la composition en matériaux et leur concentration globale. Elle est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous (NISBET ET VERNEAU, 1970). Elle renseigne sur le degré de minéralisation globale des eaux superficielles. Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels (DUSSART, 1969 IN EL MORHIT, 2009).

La conductivité mesurée dans le barrage Fontaines des gazelles est de 1432 µs/cm et dans le barrage de Foug El Gherza est de 1440 µs/cm. Elles ont une conductivité très forte qui dépasse 1000 µs/cm (OMS, 2004). Cette conductivité correspond à une minéralisation importante de ces eaux. La nature géologique des terrains encaissants de la région en sont la principale cause. La mesure de la conductivité permet une évaluation rapide et approximative de la minéralisation globale ou la salinité de l'eau, même d'en suivre l'évolution (BOEGLIN, 2000; DIB, 2009).

### III.3.1.4. La Turbidité

L'eau constitue le solvant dans lequel plusieurs substances chimiques minérales ou organiques peuvent se dissoudre.

Elle est capable de mettre en suspension les matières solubles et les déchets solides. Cette mise en suspension de la matière provoque une diminution de la transparence de l'eau (NOLLET, 1996).

La valeur de la turbidité mesurée dans le barrage Fontaines des gazelles est de 6,8 NTU. Par contre, dans le barrage Foug El Gherza est nettement basse est de 2,8 NTU. Les normes de turbidité de l'eau potable sont assez différentes. D'après les normes de l'OMS (2006) la valeur limite de la turbidité non mentionnée et les normes algériennes (JORA, 2011), recommandent comme valeur limitée de la turbidité 5 NTU. Donc les eaux du barrage Foug El Gherza présente une turbidité conforme aux normes algériennes, mais les eaux du barrage Fontaines des gazelles ont une turbidité dépasse les normes.

### III.3.2. Paramètres chimiques

#### III.3.2.1. La dureté

Les barrages Fontaines des gazelles et Foug El Gherza qui présentent une dureté de 130°F et 150°F respectivement, elle est supérieure à la norme 50 °F. La dissolution du  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  résulte principalement lors de ruissellement et lessivage par les pluies des formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Cette dissolution est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère (TARDAT et BEAUDRY, 1984)

#### III.3.2.2. Les éléments majeurs

##### 1) Les cations

Le dosage chimique des ions des échantillons d'eau des deux barrages, montre que (figure 64) pour le cation dominant est le calcium, les concentrations sont 400 mg/l dans le barrage Fontaines des gazelles et 384 mg/l dans celui de Foug El Gherza. Les normes algériennes limitent la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  à 200 mg/l en  $\text{CaCO}_3$  (JORA, 2011). Alors les valeurs du calcium dépassent les normes algériennes.

Le calcium est un élément de la dureté, il existe surtout à l'état de bicarbonates et en quantités moindre sous forme de sulfates, chlorures, etc (RODIER et AL., 2005). La teneur en calcium des biotopes terrestres ou limniques présente une importance écologique majeure (RAMADE, 2002).

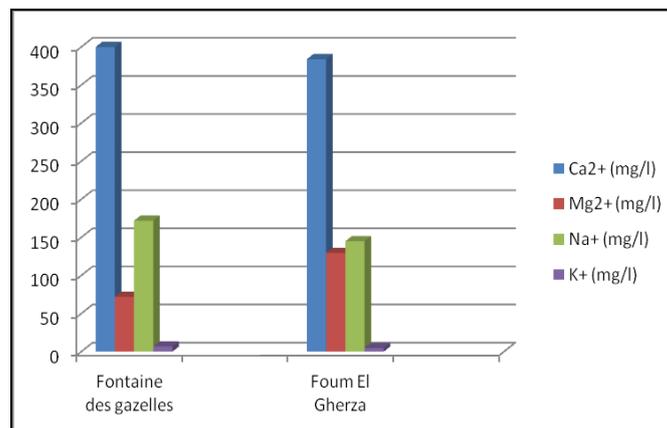
## Chapitre III Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux superficielles

C'est un constituant cationique le plus dominant dans les eaux superficielles, il se présente généralement sous forme de bicarbonate,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , soluble (**BREMOND et VUICHARD, 1973**).

Cet élément est suivi du  $\text{Na}^+$  puis par  $\text{Mg}^{2+}$  et finalement par  $\text{K}^+$ . Le sodium a des concentrations inférieures à 200 mg/l (**JORA, 2011**).

Le potassium se trouve dans la croûte terrestre surtout dans les roches ignées (granite, rhyolite, syénite). Il est à peu près constant dans les eaux naturelles (10 à 15 mg/l) et n'a pas d'effet sur la santé des populations. Certains rejets industriels (mines et potasse) et d'usines d'engrais peuvent entraîner des quantités de potassium relativement importantes dans l'eau (**RODIER, 2005**).

Le potassium mesuré dans les deux barrages testés a des concentrations inférieures à les limites des normes de potabilité (12 mg  $\text{K}^+$  /l) (**JORA, 2011**).



**Figure 64 : Variation de la concentration en cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) dans les barrages de Biskra**

### 2) Les anions

Parmi les anions dominants (figure 65), il apparaît les chlorures, variant entre 226 mg/l dans le barrage Fontaines des gazelles et de 200 mg/l dans le barrage Foum El Gherza. Les normes de l'OMS (2006) sont fixées à une valeur maximale de 200 mg/l en chlorures, Les normes de potabilité algériennes, fixent comme concentration maximale admissible 500 mg/l (**JORA, 2011**). Donc, les concentrations des chlorures sont relativement élevées par rapport aux normes de l'OMS.

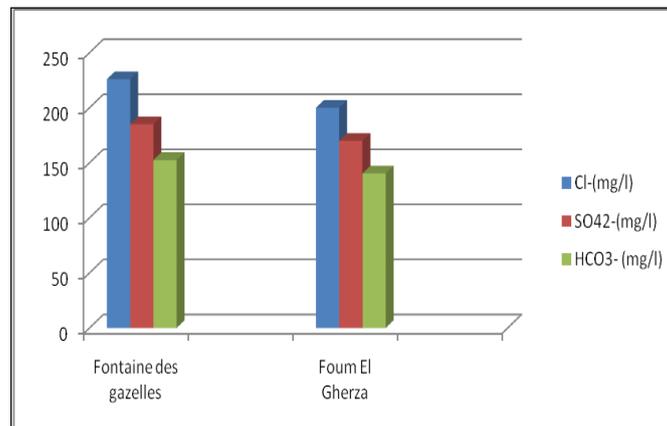
Les fortes teneurs en chlorures pourraient s'expliquer par la géologie des terrains de la région ou par une contamination directe de l'eau des barrages par des rejets domestiques surtout riches en détergents.

## Chapitre III Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux superficielles

Cet élément provoque un goût désagréable de nos eaux de consommation et la rendent corrosive vis-à-vis des conduites. Il est aussi nocif pour les plantes. Notons, que cet élément provoque l'augmentation du chlore résiduel lors de la chloration de l'eau chargée en matière organique (ACHOUR et GUERGAZI ; 2002)

Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypses. Ils résultent également de l'activité de certaines bactéries. Cette activité peut oxyder l'hydrogène sulfuré ( $\text{H}_2\text{S}$ ) toxique en sulfate (HCEFLCD, 2006).

Les sulfates, présentent respectivement 185 mg/l dans le barrage Fontaines des gazelles et 170 mg/l dans le barrage Foug El Gherza. Elles sont faibles, en comparaison aux normes algériennes (JORA, 2011), où la valeur limite est de 400 mg/l, et même pour les normes de (P'OMS, 2006) où la valeur limite est de 500 mg/l.



**Figure 65 : Variation de la concentration en anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) dans les barrages de Biskra**

Les bicarbonates sont moins dominants que les autres anions, la concentration est de 152,5 mg/l au barrage Fontaines des gazelles et 140,3 mg/l à Foug El Gherza.

### III.3.3. Paramètres de pollution

#### a) Matière organique

La matière organique naturelle est un ensemble de macromolécules provenant de la dégradation de débris animaux et végétaux ainsi que de la production primaire du phytoplancton dans les eaux naturelles.

### Chapitre III Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux superficielles

---

Les eaux de surface contiennent généralement de 2 à 10 mg/l de carbone organique total (COT) mais certaines valeurs plus élevées (jusqu'à 30 mg/l de COT) peuvent être rencontrées dans les eaux retenues (barrages, lacs) (**LEFEBVRE, 1990**).

Les matières organiques naturelles constituent un mélange très complexe de biopolymères et de monomères générés par l'activité biologique sur un bassin versant et dans les ressources elles-mêmes.

Les polymères les plus abondants sont les acides humiques, les polysaccharides et les protéines, alors que les monomères, moins abondants car facilement biodégradables, sont principalement représentés par les sucres aminés et les acides aminés (**CROUE et al., 2000**).

Les substances humiques sont des composés organiques naturels de type macromoléculaire. Elles représentent la fraction la plus importante des eaux naturelles, soit 40 à 60% de carbone organique dissous (COD) et parfois 90% dans certaines eaux très colorées (**THURMAN, 1985**).

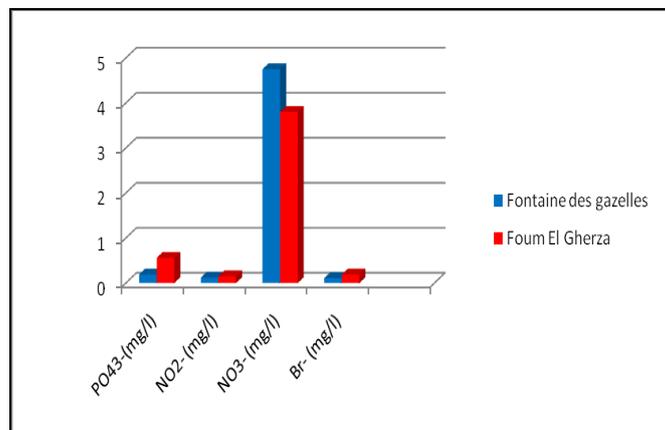
Dans notre étude, pour les eaux de barrages testés, Le tableau 15 récapitule les valeurs des paramètres organiques des eaux de barrages testées.

**Tableau 15: Paramètres organiques des eaux testées (Février, 2014)**

Paramètres	Absorbance U.V $\lambda = 254 \text{ nm}$	SH (mg/l)	Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)
Fontaine des gazelles	0,081	3,43	5,05
Foum El Gherza	0,076	1,97	3,88

Les paramètres indicateurs de pollution organique (oxydabilité à KMnO<sub>4</sub>, substances humiques, U.V) permettent de déduire que la charge polluante des eaux brutes testées atteint des proportions qui ne sont pas négligeables. Nos résultats montrent que nos échantillons sont fortement chargés en matière organique oxydable. Cette charge pourrait être due également à une pollution d'origine exogène provoquée par les rejets urbains, industriels et les pratiques agricoles (**GUERGAZI et ACHOUR., 2011**).

### b) Polluants minéraux



**Figure 66: Variation des paramètres de pollution dans les deux barrages ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Br}^-$ )**

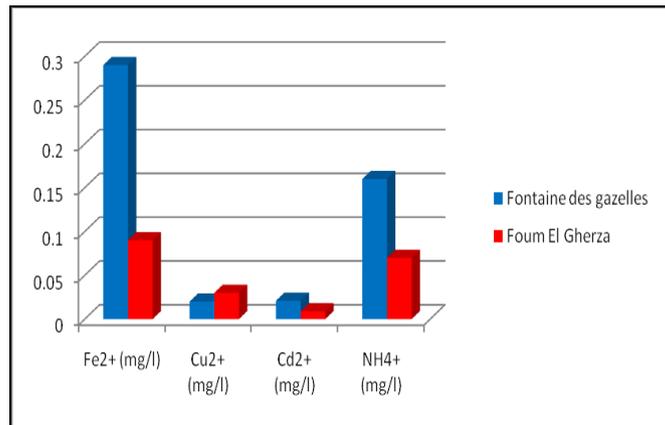
On remarque que (figure 66), les nitrates sont élevés par rapport aux autres éléments, mais elles présentent des concentrations faibles inférieures à 5 mg/l conforme aux normes de potabilité.

Les phosphates inférieurs à 2 mg/l, les nitrites ne dépassent pas 0,2 mg/l et le Brome aussi à des concentrations faibles est inférieur à 0,5 mg/l (normes **OMS, 2006**).

L'enrichissement des eaux superficielles en nitrates et phosphates est à même d'entraîner une multiplication excessive de végétaux aquatiques et de déclencher un phénomène d'eutrophisation de cours d'eau, de lacs ou d'étangs (**RAINEY et al., 2003**).

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque – la nitrification n'est pas conduite son terme – soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car une détérioration de la qualité biologique lui est souvent associée (**FADEL et al., 2007**).

La présence des ions brome indique que les eaux étudiées contiennent des bromures, les concentrations comprises entre 0,11 mg/l pour le barrage Fontaines des gazelles et 0,19 pour le barrage Fom El Gherza.



**Figure 67: Variation des paramètres de pollution dans les deux barrages (Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)**

Le fer dans l'eau, il peut provenir des terrains où se trouve l'eau, des rejets industriels, de la corrosion des conduites non protégées, des réactifs utilisés pour la production d'eau potable (**REJSEK, 2002**). Pour notre étude les concentrations en cet élément conforme aux normes algériennes (**JORA, 2011**) inférieur à 0,3 mg/l.

Le cuivre est présent naturellement dans l'environnement mais il est aussi abondamment utilisé dans les domaines industriels et domestiques. Il peut être détecté dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer. Sa présence fait suite à l'érosion du sol ou des roches, de la dislocation du sol, ou encore à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines de traitement des eaux usées (**ATSDR, 2007; Cal EPA, 2001**). Certains cations comme le cuivre et le zinc présentent peu d'inconvénients, du moins lorsque les concentrations sont faibles.

Pour notre étude (figure 67), les eaux des barrages ont des concentrations faible varient entre 0,02 mg/l dans le barrage Fontaines des gazelles et 0,03 mg/l dans le barrage Foug El Gherza. Ces concentrations sont considérées faibles puisque elles conforme aux normes de l'OMS et celle algériennes soit (2 mg/l). La contamination des eaux des barrages par le cuivre se fait généralement par la pollution directe des cours d'eaux par les rejets industriels.

L'ammoniaque aussi présente des faibles concentrations du fait qu'elles conforme aux normes.

L'ammonium des eaux superficielles peut avoir pour origine:

- La matière végétale des cours d'eau;
- La matière organique animale ou humaine;
- Les rejets industriels;
- Les engrais, etc.

## Chapitre III Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux superficielles

Sa présence est à rapprocher des autres éléments azotés identifiés dans l'eau: nitrates et nitrites (FADEL et al., 2007).

Le cadmium est l'un des métaux lourds parmi les plus toxiques. Il se rencontre dans les sols et dans toute la biosphère (CHAMI et al., 1989). Son accumulation importante dans la chaîne alimentaire pose un problème de santé publique qui a amené les législateurs à réglementer les teneurs maximales en cadmium dans les sols et les eaux (BEN MOUSSA et al., 1994). La teneur maximale du cadmium dans les eaux de consommation humaine recommandé par l'OMS et par les normes algériennes est de  $3\mu\text{g/l}$  (0,003 mg/l). Pour notre étude les eaux des barrages de la région présentent des concentrations entre 0,009 mg/l et 0,021 mg/l. Ces concentrations sont relativement élevées et dépassent les normes de potabilité.

Elles pourraient être dues soit à la nature géologique des terrains, à l'utilisation abusive d'engrais phosphatés comprenant un certains pourcentage en cadmium ou à des rejets industriels.

### III.4. Faciès chimique

Pour la détermination du faciès chimique, le logiciel Diagrammes est utilisé afin d'établir le diagramme de piper (figure 68). Dans le cas des deux barrages Fontaines des gazelles et Foug El Gherza, l'allure générale du diagramme de piper montre un faciès chimique chloruré – calcique.

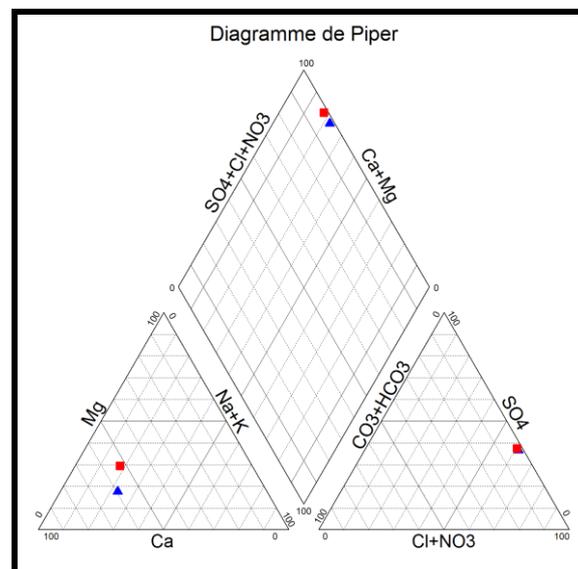
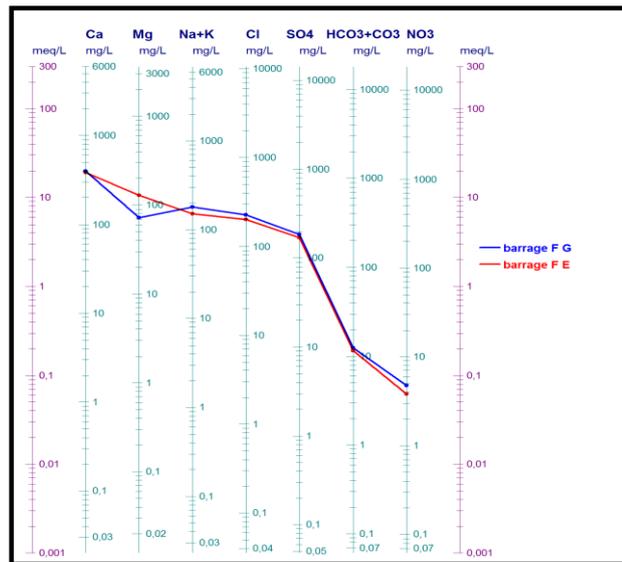


Figure 68 : Diagramme de piper-Barrage Fontaines des gazelles et Foug El Gherza



**Figure 69 : Diagramme de Schoeller Barrage Fontaines des gazelles et Fom El Gherza**  
D'après le diagramme de Schoeller (figure 69), les ions dominants sont le calcium pour les cations et les chlorures pour les anions.

Selon les formules caractéristiques, les ions s'ordonnent de la manière suivante :



### III.5. Conclusion

La qualité des eaux de surface peut être altérée par l'activité humaine soit par leur activité dans le cadre agricole ou bien dans l'industrie. La mesure des paramètres physico-chimiques nous a permis d'identifier le degré de la détérioration de la qualité de ces eaux.

Pour la détermination de la qualité des eaux, on s'est appuyé sur les normes préconisées par l'OMS. D'après l'interprétation des analyses physico-chimiques, on remarque que:

- Le pH des eaux de barrages est un caractère alcalin.
- La température est faible vue la période de prélèvement, elle suit les variations saisonnières puisque il s'agit des eaux de surface.
- La conductivité présente une minéralisation forte car elle dépasse 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la dureté aussi est élevée.
- La turbidité varie du barrage Fontaines des gazelles (élevée) au barrage Fom El Gherza (faible).

### Chapitre III Présentation et interprétation des résultats concernant les eaux superficielles

---

- Les ions les plus rencontrées sont les chlorures pour les anions et le calcium pour les cations.
- Pour les éléments considérés comme indésirables ou toxiques, tels que le brome, le fer, le cuivre et le cadmium. Leurs teneurs sont faibles et actuellement dans les normes admises mais qui peuvent augmenter à long terme par la pollution qui provient de l'activité industrielle. Les fortes concentrations en cadmium pourraient provenir des effluents industriels.

**IV.1. Introduction**

L'eau est un élément vital pour l'être humain. Il est important de l'avoir en qualité et en quantité suffisante garantissant ainsi une vie saine et sans danger à long terme (**RODIER, 1996**).

L'accès à une eau de boisson saine est une condition indispensable à la santé, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire (**OMS, 2004**).

La distribution, aux consommateurs, d'une eau de bonne qualité, exempte de germes pathogènes, implique de mettre en œuvre à la fois des procédés de traitement efficaces, et des méthodes de mesure fiables permettant de s'assurer d'un minimum de risque sanitaire.

En dehors de ces problèmes sanitaires, il est aussi important de veiller à la qualité de l'eau lors de son transport et de son stockage afin d'éviter les phénomènes de reviviscence bactérienne et de croissance de biofilm qui peuvent altérer la qualité de l'eau et endommager les infrastructures. Les eaux d'adductions publiques, échantillonnées au robinet du consommateur présentent une dureté totale et fluoration excessive tandis que la salinité est faible (**OMS, 2004**).

Les principales activités économiques de la wilaya Biskra sont liées à l'agriculture (culture des palmiers et la culture sous serres) et à l'élevage, cette activité repose sur l'importance des ressources en eau souterraines. Ces dernières années, le développement hydro agricole et l'accroissement de la population dans la wilaya ont engendré une demande importante en eau. A cet effet, une mobilisation de la ressource en eau par des forages s'est avérée nécessaire. Sauf que, la principale contrainte à ce développement réside dans l'insuffisance des ressources en eau dans cette région, surtout avec la prolifération des forages illicites (**BOUTOUGA, 2012**).

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressé de faire une synthèse sur notre étude, en insistant sur le mettre au point des orientations pour la préservation des ressources en eau au gaspillage et lutte contre la pollution de notre or bleu.

**IV.2. Synthèse sur les problèmes de qualité des eaux de la région****IV.2.1. Etat des ressources en eau dans la wilaya**

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource en eau potable dans toute la région de Biskra. La mobilisation de ces eaux se fait généralement au moyen de forages peu profonds. La ville de Biskra est approvisionnée à partir de deux principaux champs captant ainsi que par un nombre important de forages à l'intérieur de la ville.

Les zones qui présentent une forte exploitation, telles que Biskra, Ouled Djellal (nappe du Quaternaire), M'zirâa, Zeribet El-Oued (nappe du Mio-Pliocène), Tolga et Doucen (nappe de l'Eocène inférieur), commencent à connaître les effets négatives d'une telle exploitation (disparition de l'artésianisme, abaissement des niveaux statiques, dégradation de la qualité chimique des eaux, remontée des eaux et dégradation des sols) (A.N.A.T, 2003).

A la lecture des chiffres extraits des différents dépouillements et des constatations faites, il ressort que l'alimentation en eau potable et industrielle des populations de la wilaya de Biskra, est satisfaite uniquement à partir des eaux souterraines.

Les eaux de surfaces sont utilisées principalement à l'irrigation des périmètres et des grandes surfaces en épandage en période de crue (A.N.A.T, 2003).

#### **IV.2.2. Facteurs de dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution**

La dégradation de la qualité de l'eau potable peut être le résultat du vieillissement ou du mauvais état du réseau. Les phénomènes, tels que le développement et la mise en suspension du biofilm dans l'eau distribuée, la perméabilité du matériau constitutif de la conduite de distribution à certaines substances conduisent à une dégradation de la qualité de l'eau. Pour résoudre ce genre de problèmes, un diagnostic de la qualité de l'eau distribuée doit être réalisé en se basant sur :

- L'analyse de la nature de la dégradation apparue.
- La réalisation d'une campagne d'analyses ciblées des eaux de distribution : en précisant le type d'analyses effectuées, le nombre et l'emplacement des points de prélèvements des échantillons ainsi que la période de contrôle (MASMOUDI, 2009).

### **IV.3. Solutions préconisées et orientations futures**

#### **IV.3.1. Solutions préventives**

Les eaux de surfaces, dont la disponibilité est aléatoire (conditions climatiques) ne peuvent à elles seules satisfaire la demande en eau potable et industrielle de la wilaya, elles peuvent compléter le captage des eaux souterraines dans les zones où il y a un déficit.

Ces eaux superficielles, si elles sont mobilisées, peuvent satisfaire dans une large mesure l'irrigation des palmeraies et des périmètres en exploitation ou projetés.

Cette ressource naturelle permet aussi, la fixation des populations rurales et génère des revenus substantiels à ces dernières (A.N.A.T, 2003).

Les ressources en eau représentent l'une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et social.

Les ressources en eau de surface sont omniprésentes dans la région d'étude et sont alimentées essentiellement par les principaux oueds, à savoir : Oued Djeddi, Oued Biskra, Oued El Arab, Oued El Abiod etc..., qui se caractérisent par un écoulement intermittent. Lors des crues, ces oueds se jettent dans le Chott Melghir et ce par manque d'infrastructures destinées à la mobilisation de ces ressources (barrages, retenues collinaires, ...) entraînant une grande perte pour une meilleure utilisation de cet élément essentiel à toute activité.

- Suivi périodique quantitatif et qualitatif des nappes par la mise en place d'un réseau de piézomètres.
- Etude détaillée des nappes d'inféro-flux des régions de Biskra et d'Ouled Djellal
- Interdiction de toute réalisation de point d'eau dans les zones à forte exploitation.
- Bouchage de tous les points d'eau abandonnés et qui présentent des anomalies d'équipement.
- Exploration des zones à ressources en eau souterraines inconnues, par des forages de reconnaissance ou par des couvertures géophysiques.
- Auscultation des forages profonds en vue d'un diagnostic des équipements.
- Mise en œuvre des techniques modernes pour l'irrigation.

Mise en place d'un réseau de drainage pour les zones touchées par le phénomène de remontée des eaux. (A.N.A.T, 2003).

La bonne gestion de la ressource hydrique exige que la qualité de l'eau souterraine ne soit pas compromise par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques.

Une baisse de qualité de l'eau souterraine peut affecter tant la santé humaine que celle des écosystèmes. À titre d'illustration, ce qui suit porte essentiellement sur la préservation de la qualité de l'eau potable. Même si les eaux souterraines sont dotées d'une protection naturelle (sol et végétation.....), on peut protéger les eaux souterraines contre les risques d'une contamination en installant à différents niveaux des périmètres de protection. Ces périmètres visent à protéger les ouvrages de captage des aires d'alimentation.

Plusieurs auteurs ont proposé des méthodes de délimitation de ces périmètres cependant le problème réside dans la fiabilité et la disponibilité des données à injecter dans ces modèles. Une bonne protection nécessite une bonne estimation de l'aire d'alimentation de ces ouvrages soit la portion du territoire sur laquelle l'eau qui s'infiltrera aboutira tôt ou tard au point de captage. C'est sur cette portion du territoire que les risques de pollution doivent être minimisés, voire éliminés (**FRIOUA, 2014**).

La préservation des ressources en eau doit passer tout d'abord par des actions en aval visant la sensibilisation des différents usagers, la revalorisation de l'eau et la lutte contre la prolifération des pertes et des fuites dans tous les systèmes de production, de transfert et de distribution d'eau.

Cependant, certains points qui forment la trame complexe du cycle de l'eau méritent encore approfondissement, mais ils mettent en évidence l'interdépendance de tous les volets dont l'imbrication harmonisée et les impacts croisés constituent la pierre de touche de l'efficacité (**MASMOUDI, 2009**).

Un plan d'action national qui fixerait des objectifs précis en matière de réduction des pollutions à l'horizon 2025 pourrait inclure le traitement des eaux usées des villes côtières, la réduction de polluants industriels et agricoles (pesticides), ainsi que de déchets à hauts risques. L'amélioration des techniques et l'application de la législation et de la réglementation (pour les eaux industrielles non traitées) sont deux moyens réalistes de lutter contre la pollution. La possibilité d'utiliser les énergies renouvelables pour le fonctionnement des stations de dessalement d'eau de mer devient également une alternative envisageable (**MOZAS et GHOSN., 2013**).

Dans la wilaya de Biskra, le projet de réalisation d'une station d'épuration des eaux usées a été lancé dans la ville de Biskra. Cet équipement qui est réalisé près de l'Oued Zarzour, situé au Sud de Biskra a été confié à un groupement d'entreprises constitué d'Hydro-aménagement (Entreprise nationale des aménagements hydrauliques) et de deux firmes espagnoles.

L'ouvrage qui contribuera à lutter contre les différentes formes de maladies à transmission hydriques et à préserver l'environnement, servira également à l'irrigation des terres agricoles.

#### **IV.3.2. Solutions en Aval**

Dans le Sud- Est Algérien, les eaux de surface et les eaux souterraines sont de plus en plus utilisées ces dernières années pour les besoins de l'agriculture, de l'alimentation des populations et de l'industrie. La pollution d'origine anthropique, minérale ou organique, semble très diversifiée dans les eaux de surface et même dans certaines eaux souterraines insuffisamment protégées.

Les effets négatifs de teneurs excessives en ces composés dépassant les normes, peuvent s'observer aussi bien sur l'environnement que sur la santé publique (ACHOUR, 2011).

Le traitement des eaux naturelles et l'épuration des eaux usées urbaines seront les solutions à envisagées pour la préservation de nos ressources

Les traitements de l'eau d'alimentation ont pour objectif d'éliminer la turbidité, la pollution chimique et micro biologique par toute une série de transformations. L'étape la plus importante du traitement, maintenant universellement appliquée est la désinfection, la plupart des autres étapes n'étant que préparatoires à cette option finale.

Parmi l'ensemble des oxydants qui peuvent être utilisés pour la désinfection des eaux et assurant une eau exempte de tout germe pathogène, on trouvera le chlore qui représente un oxydant puissant et énergique (GUERGAZI et ACHOUR., 1998).

Dans le sud algérien, selon quelques enquêtes épidémiologiques, un problème de santé connu sous le nom de fluorose endémique se pose largement dans la zone orientale. Il découle essentiellement de l'ingestion de quantités excessives de fluor par le biais de l'eau de boisson. Face à la raréfaction des ressources en eaux alimentaires de bonne qualité, le traitement des eaux fluorées deviendra de plus en plus une nécessité. Le choix s'est porté sur la précipitation chimique à la chaux et la coagulation-floculation au sulfate d'aluminium en raison de leur efficacité et de la simplicité de leur mise en œuvre (YOUCEF et ACHOUR., 2001).

Les résultats des analyses physico-chimiques démontrent que les eaux des barrages de la wilaya peuvent être utilisées pour l'alimentation en eau potable (A.E.P.) moyennant la mise en place de stations de traitement. Cette possibilité a été expérimentée au laboratoire d'analyses et a démontré sa faisabilité (A.N.A.T, 2003).

pour les eaux des barrages de Foum El Gherza et Fontaine des gazelles, bien que les teneurs en substances humiques ne dépassent pas 3,5 mg/l (GUERGAZI et al., 2006).

Cette constatation a permis aussi, de faire ressortir les limites des ouvrages de mobilisation des eaux de surface, l'intérêt qui sera accordé pour leur renforcement et aussi la nécessité de construire d'autres barrages de différentes catégories (A.N.A.T, 2003).

Dans la ville de Biskra, l'alimentation en eau potable des habitants et l'irrigation des cultures reposent sur l'exploitation des eaux souterraines des aquifères du Sahara Septentrional.

L'un des enjeux majeurs pour la durabilité de l'utilisation de cette ressource est la qualité des eaux de certains aquifères (Phréatique et Miopliocène). Ces dernières sont fortement minéralisées (entre 2 et 3 g·L<sup>-1</sup> de sel dissous).

Leur faciès chimique dominant est le sulfaté-chloruré avec un excès de chlorures, supérieur à la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de 250 mg·L<sup>-1</sup>.

Afin de remédier à ce problème de salinité et dans le but de développer une technique d'adoucissement fiable et économiquement soutenable, le travail expérimenté deux procédés d'adoucissement partiel, la coagulation-floculation au sulfate d'aluminium d'une part et la précipitation à la chaux éteinte  $\text{Ca(OH)}_2$  d'autre part.

Les principaux résultats confirment que l'élimination des ions chlorures est plus ou moins faible, pour les deux procédés testés et sont respectivement de 29,7 % et de 19,1 %.

Le traitement des eaux à la chaux éteinte était plus efficace, les ions sulfates étant réduits à 73,3 %. Toutefois, ce procédé a augmenté le pH des eaux traitées, ce qui a nécessité en aval un ajustement de ce dernier. De même, la concentration en ions bicarbonates a diminué d'environ 85 % car l'emploi de la chaux agit non seulement sur les chlorures et les sulfates associés aux ions calcium et magnésium, mais aussi sur les bicarbonates. Ces essais ont également permis de justifier le choix de la méthode la plus adaptée techniquement et économiquement pour l'adoucissement des eaux de la région d'étude (**BOUCHAHM et al., 2016**).

#### **IV.4.Conclusion**

Le présent chapitre a eu pour objectif de donner une synthèse sur l'état des ressources en eau dans la région d'étude, quelque soit les eaux souterraines (utilisées pour l'alimentation en eau potable) ou les eaux de surfaces destinées à l'irrigation des terres agricoles. Une eau de bonne qualité est une exigence, de point de vu qualité physico-chimique et microbiologique doit être conforme aux normes de potabilité, le traitement des eaux naturelles est nécessaire pour corriger certains paramètres. La qualité des eaux souterraines peut être altérée par une dégradation significative de ses propriétés chimiques ou biologiques, ceci peut affecte la santé humaine. Les eaux usées urbaines et industrielles rejetées sans épuration provoquent un danger sur l'environnement et sur la santé des citoyens.

Pour cela, nous nous sommes intéressent dans ce chapitre de donner quelques solutions et orientations futures, le plus important c'est la sensibilisation de la société, de protéger les ressources et la lutte contre le gaspillage.

# Conclusion générale

---

## Conclusion générale

L'étude que nous avons entreprise nous a permis d'apporter notre contribution à la connaissance de la qualité physico-chimique des eaux souterraines et de surface et l'incidence de la pollution sur les ressources en eau de la région de Biskra.

Ces ressources appartiennent au bassin versant de Chott Melghir. La wilaya de Biskra se situe au Nord-Est du Sahara Septentrional, au Sud – Est de l'Algérie aux portes du Sahara. Elle s'étend sur une superficie de 21 671, 24 Km<sup>2</sup>, ses limites géographiques sont : la wilaya de Batna au Nord, la wilaya d'El Oued au Sud, la wilaya de M'sila au Nord-ouest, la wilaya de Khenchela au Nord et à l'Est, la wilaya de Djelfa au Sud-Ouest.

Le climat de la région, est de type hyperaride du fait que les précipitations annuelles sont très faibles et irrégulières (132,7mm) durant la période (1988- 2010), des températures moyennes assez élevées et une sécheresse estivale très prononcée et très longue.

Du point de vue géologique, la région de Biskra représente un pays de transition structurale et sédimentaire, allant du Barrémien à la base jusqu'au Quaternaire au sommet.

L'hydrogéologie de la wilaya de Biskra se caractérise par la présence de trois niveaux aquifères du Complexe Terminal. Le Continental Intercalaire présente un réservoir très important. Son exploitation est très coûteuse et difficile en raison de sa profondeur qui peut dépasser 2000 m et sa température de l'eau qui dépasse les 60°C.

La région d'étude présente des ressources en eaux souterraines importantes, dont 50% (873,1 Hm<sup>3</sup>) du volume mobilisé souterrain total dans le bassin du Chott Melghir se concentre dans cette wilaya.

Les ressources en eaux souterraines sont présentes dans quatre unités aquifères qui sont :

- ✓ La Nappe Phréatique du Quaternaire ;
- ✓ La Nappe des sables du Miopliocène ;
- ✓ La Nappe des calcaires de l'Eocène Inférieur et du Sénonien ;
- ✓ La Nappe du Continental Intercalaire.

Ces dernières représentent l'unique ressource en eau potable dans toute la région. La mobilisation de ces eaux se fait généralement au moyen des forages peu profonds.

## Conclusion générale

---

Les eaux souterraines ont connu une surexploitation du fait d'une prolifération de forages, notamment à cause du développement accéléré hydro-agricole dans la région ces dernières années.

La wilaya possède également d'appréciables potentialités en eau de surface, malgré sa position dans une zone semis-aride et à la porte du Sud. Les ressources superficielles de la wilaya comprennent trois grands sous bassins, la vallée d'Oued Djeddi, la cuvette d'El Outaya et la plaine de Biskra.

Il y a seulement deux barrages en exploitation dans la région, Fontaine des Gazelles et Fom El Gherza.

- ✓ Le barrage Fontaine des Gazelles a été construit sur Oued El Hai. Il régularise les apports d'un bassin de 1660 km<sup>2</sup> avec une capacité de 55,5 Hm<sup>3</sup>. Les volumes régularisés sont de près de 14 Mm<sup>3</sup> et sont utilisés pour les besoins de l'irrigation.
- ✓ Le barrage Fom El Gherza est situé à 15 km Nord-Est de la ville de Biskra et a une capacité de 32 Hm<sup>3</sup>. Il a été réalisé durant la période 1948-1950 à l'exutoire de l'Oued Abiod. Il draine un bassin versant d'environ 1300 Km<sup>2</sup> et dont la superficie irriguée la plus importante dans le bassin du Chott Melghir correspond à la wilaya qui en représente 47%.

Le développement hydro-agricole et l'accroissement de la population dans la wilaya ont engendré une demande importante en eau. Ce qui reflète la forte consommation en eau pour l'irrigation. A cet effet, la demande en eau dans la wilaya de Biskra est en augmentation pour les secteurs (AEP, irrigation et industries).

Par ailleurs, 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. Pour la région considérée, l'étude de la qualité des eaux utilisées est d'autant plus cruciale dans le contexte d'un climat aride avec de faibles précipitations et une demande en eau avec des besoins toujours en augmentation.

La région de Biskra fait partie du grand bassin du Sahara Septentrional et la qualité des eaux des nappes dans cette région présente une qualité médiocre avec une minéralisation excessive, tout comme pour la plupart des eaux du bassin oriental du Sahara Septentrional.

## Conclusion générale

---

Notre étude expérimentale a pu donner une image plus précise de la qualité physico-chimique des eaux de la région de Biskra grâce à plusieurs campagnes d'échantillonnage aussi bien d'eaux de forages que des eaux des deux barrages.

Cette étude expérimentale a montré que les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines de la région de Biskra, révèlent ce qui suit :

- ✚ La nappe du Maestrichtien (sénonien supérieur), présente des eaux de bonne qualité du fait que les cations ainsi que les anions majeurs ont des concentrations conformes aux normes de potabilité ;
- ✚ La nappe Phréatique, présente une qualité des eaux considérée comme non potable, du fait que la majorité des éléments soit les cations ou les anions ont des fortes concentrations qui dépassent largement les normes de potabilité ;
- ✚ La nappe du Miopliocène présente une mauvaise qualité puisque la majorité des cations présentent des concentrations élevées, ainsi que les anions, en particulier les chlorures et les sulfates qui ont des teneurs trop élevées. La teneur en sulfate dans l'eau est liée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation, ils proviennent essentiellement de la dissolution des gypses.
- ✚ La nappe de l'Eocène inférieur a une qualité plus ou moins médiocre où les eaux sont moins dures par rapport à celles du Miopliocène, car seul le calcium et les sulfates ont des concentrations élevées et dépasse les normes de potabilité mais ces eaux restent non potables et nécessitent un traitement spécifique.

Du point de vue de la minéralisation totale, la nappe Phréatique présente une minéralisation qui varie entre 1,85 g/l et 2,98 g/l. Par contre, la nappe du Miopliocène présente une minéralisation plus élevée varie entre 2 g/l et 3,59 g/l.

Dans la nappe de l'Eocène inférieur, la minéralisation est inférieure à 2 g/l sauf en ce qui concerne un seul forage où la minéralisation atteint 3,51 g/l. La nappe du Maestrichtien présente la plus faible minéralisation entre 0,99 g/l et 1,10 g/l.

Selon les faciès chimiques observés, les eaux de la nappe phréatique seraient plutôt chlorurées sodiques et potassiques avec pour quelques forages un faciès sulfaté calcique et magnésien. La nappe du Miopliocène présente le faciès chloruré sodique et potassique.

## Conclusion générale

---

La nappe de l'Eocène inférieur présente deux faciès, le sulfaté calcique et magnésien et le faciès chloruré sodique et potassique. La nappe du Maestrichtien présente un faciès Sulfaté calcique et magnésien.

Le degré de pollution des eaux souterraines dans cette région est déterminé par la présence de différents paramètres où le manganèse est présent en forte concentration dans l'ensemble des nappes étudiées, l'ammoniac aussi atteint des concentrations considérables.

En revanche, les nitrates possèdent une particularité de fait qu'ils présentent des fortes concentrations dans les nappes du Miopliocène et celle de l'Eocène inférieur et faibles dans les deux autres nappes.

La présence de la forte concentration en nitrates dans la nappe du Miopliocène et celle de l'Eocène inférieur, pourrait être expliquée par le lessivage des sols cultivés dans la région de Tolga et Bordj Ben Azzouz et dans la région de Biskra.

L'analyse en composantes principales fait apparaître des similitudes et des différences entre les paramètres physico-chimiques et les paramètres de pollution. Certains éléments dits indésirables ont des concentrations élevées qui dépassent les normes tels que le manganèse.

Les eaux de surface présente une conductivité élevée mais s'avèrent moins minéralisées globalement que les eaux de nappes de la région. La turbidité est plus élevée dans le barrage Fontaine des Gazelles par rapport celui de Foum El Gherza, la dureté est très importante dans les deux barrages, ces eaux sont chargées en élément calcium.

La présence de paramètres de pollution dans les eaux des barrages est logique puisque ces eaux sont contaminées par certains éléments qui proviennent des rejets industriels ou urbains, seuls le bromure et le cadmium présentent des concentrations élevées.

La matière organique est présente mais n'atteint pas des valeurs excessives et peut avoir aussi bien des origines anthropique que naturelle, notamment de nature humique.

La composition chimique de ces eaux souterraines ou superficielles indique une qualité moyenne à médiocre. Les éléments d'origine naturelle ou provenant de pollutions diverses dépassent ainsi souvent les seuils de potabilité. Les eaux de la région d'étude nécessitent donc un traitement qui viserait essentiellement à réduire les concentrations excessives de certains éléments minéraux d'origine naturelle mais aussi des polluants pouvant affecter la santé humaine.

## Conclusion générale

---

Des solutions plus globales et notamment en amont des ressources hydriques sont ainsi souhaitées pour prévenir les phénomènes de pollution qui dégradent la qualité des eaux et les rendent indisponibles pour la consommation.

## ***Références bibliographiques***

**ABHS, (2005).** Banque de données des forages de Chott Melghir (Wilaya de Biskra).

**ABHS,( 2012).** Cadastre hydraulique du bassin versant de Chott Melghir.

**ACHOUR S, (1990) .**La qualité des eaux du Sahara septentrional en Algérie – Etude de l'excès en fluor. Tribune de l'Eau. 42, 542, 53-57.

**ACHOUR S, (2001).** Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles, Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Hydrauliques, Université de Tizi-Ouzou, 231 p.

**ACHOUR S., GUERGAZI S. (2002).** Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. Sci. Eau, 15, 3, 649-668.

**ACHOUR S., GUERGAZI S et HARRAT N, (2009).** Pollution organique des eaux de barrage de l'est algérien et effet de la chloration. « L'état des ressources en eau au Maghreb en 2009 », Partie IV, Chapitre 14, Editeur : UNESCO et GEB-Environnement, Rabat, Maroc.

**AGENCE DE L'EAU SEINE. (2003).** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires - Normandie-Editions Hachette livre-2003.

**A.N.A.T. (2003).** Schéma directeur des ressources en eau de la Wilaya de Biskra, Dossier 2, Agence nationale de l'aménagement du territoire, Algérie.

**A.N.A.T, (2006).** (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire) Monographie de wilaya de Biskra. 2006, Algérie. 256p

**A.N.D.I, (2013).** Agence Nationale de Développement de l'Investissement.

**A.N.I.R.F :** Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière (rubrique monographie Wilaya (wilaya de Biskra).

**A.N.R.H,(rapport),(1996).**Etude des grandes unités hydrogéologiques du Sahara Septentrional.

**A.N.R.H.(2008).** Inventaire des points d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Biskra (2008), rapport.

**AN.R.H.(2010).** Etude d'actualisation du plan National de l'eau, Ressources exploitables. Bassin du Chott Melghir, rapport.

**AOUADJ M, (2010).** La mobilisation des eaux de surface une alternative pour une gestion intégrée des eaux dans la wilaya de Jijel. International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina –Brasil, 1(1), pp.165-172, Jan/Juin.

**A.R.M.I.N.E.S, (rapport), (1975).** Modèle de gestion et de mise en valeur des nappes aquifères du complexe terminal « Oued Rhir- Souf – Ouargla ». Ecole des mines de paris.

**ATSDR, (2007)** .Toxicological profile for Benzene, U.S.Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA, (PB2008-100004), 382.

**AZIZ H, (2014)**. Application de quelques traitements statistiques aux données hydrochimiques de la nappe alluviale du fosse de Sebdou (Nord-Ouest de l'Algérie). Mémoire de Master, en Sciences de la Terre et de l'Univers, option Géo-Ressources. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algérie.

**BAALI F, (2001)**. Eude hydrogéologique hydrochimique de la région karstique de Chéria N-E Algérien. Mémoire du Magister Univ .Annaba Algérie, 100 p.

**BAALI F ; ROUABHIA A ; KHERICI N ; JABRI L ; BOUCHAOU L ; HANI A ; (2007)**. Qualité des eaux souterraines et risque de pollution en milieu semi-aride.cas de la cuvette de Chéria (NE Algérien). Estudios Geologicos, 63 (2). Julio-Diciembre 2007, 127-133.ISNN.0367-0449.

**BARDAI H. et al., (2004)**. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril 2004.

**BEAUDEAU P et al ., (2001)**. Mesure et modélisation de la décroissance bactérienne en petites rivières- Water .Research .Vol.35, n° 13, pp 3168-3178.

**BEAUDRY J.P, (1984)**.Traitement des eaux. Ed Le Griffon d'Argile, Québec.

**BEL F ., DERMAGNE F, (1966)** .Etude géologique du Continental Terminal, ANRH Alger, Algérie, 22p.

**BEL F., CUCHE D, (1969)**. Mise au point des connaissances sur la nappe du Complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algérie, 20p.

**BEL F., CUCHE D, (1970)** : Etude des nappes du complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle mathématiques DHW. Ouargla.

**BENAMAR N., MOUADIH N., BENAMAR A., (2011)**. Étude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien: le cas de l'oued Cheliff. Colloque international. Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée: quels enjeux pour quels services ? Université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011, 6 p.

**BENBLIDIA M, (2011)**. L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique- Etude nationale, Algérie, Plan Bleu, Centre d'activités régionales PNUE/PAM, Sophia-Antipolis, France.

**BENDRA B., FETOUANI S., SBAA M., GHARIBI E., EL HALOUANI H., Y. RHOMARI, (2005)**. Etude de l'impact de la pollution agricole diffuse sur la qualité de l'eau et du sol au niveau de la plaine de Triffa. 3ème Journées Internationales des Géosciences de l'Environnement. El Jadida les 8, 9 et 10 juin 2005. Communication affichée.

**BEN MOUSSA H., TYAGI R.D., CAMPBELL P G.G., (1994)**. Biolixiviation des métaux lourds et stabilisation des boues municipales, Rev.Sci.Eau,7,3,235-252.

**BERAUD J.F, (2001).** La protection des ressources en eau .Bull. Spéc .Eau .ENS Géologie, Nancy, 25-28.

**BONNARD and GARDEL, (2001).** Vallée d'Ouargla. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. « Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe Phréatique ». Mission A Reconnaissances et diagnostic de l'assainissement, pp.156.

**BOUAMMAR B, (2010).** Le développement agricole dans les régions Sahariennes, Etude de cas de la région d'Ouargla et de la région de Biskra (2006-2008). Thèse de Doctorat en Sciences économiques, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.

**BOUCENNA F, (2009).** Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'Oued Djendjen (Jijel, Nord –Est Algérien). Mémoire de Magister en hydrogéologie environnemental et modélisation. Université d'Annaba, Algérie.

**BOUCHAHM N ; ACHOUR S, (2005).** Qualité des Eaux Souterraines des Aquifères de la Région Orientale du Sahara Septentrional Algérien. Journal Algérien des Régions Arides, N° 04, Juin. pp.19-27.

**BOUCHAHM N., ACHOUR S, (2008).** Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique, La Houille Blanche, n°2, 76-82.

**BOUCHAHM N., HECINI L., KHERIFI W.,(2016).** Adoucissement des eaux souterraines de la région orientale du Sahara Septentrional algérien : Cas de la région de Biskra. Revue des Sciences de l'eau, volume 29, numéro 1, 2016, p 37-48.

**BOUCHEDJA A, (2012).** La politique nationale de l'eau en Algérie, 10<sup>ème</sup> Conférence Internationale, Euro-RIOB. Istanbul-Turquie-17 au 19 Octobre 2012.

**BOUCHEMAL F ; ACHOUR S ; BOUCHAHM N, (2004).** Etude de la minéralisation des eaux souterraines de la région de Biskra, Mémoire d'Ingénieur d'état en hydraulique, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 73 p.

**BOUDOUKHANA H, (2008).** Impacts des margines sur les eaux de Oued Bouchtata (Wilaya de Skikda), Mémoire de Magistère, en chimie, option pollution chimique et environnement. Université du 20 Août 1955 Skikda, Algérie.

**BOUGHERARA A., LACAZE B., (2009).** Etude préliminaire des images LANDSAT et AALSAT pour le suivi des mutations agraires des Ziban (extrême Nord- Est du Sahara algérien) de 1973 à 2007. Journées d'animations scientifiques (JAS09) Alger. 6p.

**BOEGLIN J.C.,( 2000).** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur, 24 p.

**BOUTOUGA F.(2012).**Ressources et essai de gestion des eaux dans le Zeb Est de Biskra. Thèse de Magister, en Ingénierie des ressources en eau. Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie.

**BOUZIANI et coll, (2015).** Application des galets de chlore dans la désinfection des puits : Résultats d'une étude à El Oued.

**BREMOND R., VUICHARD R.,( 1973).** Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris. 173p.

**BRINIS N., BOUDOUKHA A, (2013).** Qualité des eaux souterraines dans l'Atlas Saharien cas du bassin Néogène d'El Outaya (sud Algérien) . Algerien Journal of Arid Environnement, Vol.3.n°1, Juin 2013 : 89-97 (ISSN 2170-1318).

**B. R. L.** Bureau de la Région du bas Rhône et du Lagu, 1998.

**BUSSON G,(1970).** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque Saharien. Thèse Paris, 464p.

**BUSSON G, (1972).** Etude des ressources en eau du Sahara septentrional . Par UNESCO Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation .vol 5.

**BZIOUI M, (2005).** Rapport sous régional Sur la mise en valeur Des ressources en eau En Afrique du nord, UN Water-Africa.

**Cadre Programmation, (2012).** Cadre programmation par pays Algérie (2013-2016), Décembre 2012, mouture 2-soumise à validation.

**CAL EPA , (2001).** Public health goal for benzene in drinking water, Office of Environmental Health Hazard Assessment, Pesticide and Environmental Toxicology Section, California Environmental Protection Agency, Oakland, California, 161.

**CARLUER C., GRIL J.J., GOUY V, (1998).** Processus de transfert par ruissellement, de la parcelle au bassin versant. In : Agriculture et Environnement - Les produits entraînés par l'eau, p. 31-38. Colloque d'Hydrotechnique - 159 Session du Comité Scientifique et Technique, Paris 18 et 19 novembre 1998. Document de la Société Hydrotechnique de France.

**CASTANY G, (1982).** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition: DUNOD, Paris. 233p.

**CDTN, (rapport) (1991).** Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Centre de développement des techniques nucléaires.

1<sup>er</sup> Rapport : 1<sup>ère</sup> campagne novembre 1991.

2<sup>ème</sup> Rapport : 2<sup>ème</sup> campagne 1992.

**CHAMI T., KHALAF H., BOUAMAMA A., (1998),** Le cadmium dans les phosphates et son adsorption par les plantes, COMAGEP 3, Tome II (matériaux), 30-33, Tamanrasset, 10-13 Mai.

**CHEBBAH M, (2007).** Lithostratigraphie, Sédimentologie et Modèles de Bassin des dépôts néogène de la région de Biskra, de part et d'autre de l'accident Sud Atlasique (Ziban, Algérie). Thèse de doctorat d'état en Géologie, de l'Université mentouri, 417 p.

**CORNET A, (1964).** Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. SNED, Alger Algérie, 572p.

**CROUÉ J P., KORSHIN G V., LEENHEER J A and BENJAMIN M M, (2000).** "Isolation, fractionation and characterization of natural organic matter in drinking Water". The American Water Works Association, Denver.

**DAGNELIE P, (1975).** Analyse statistique à plusieurs variables. Ed. Imprimerie J. Duculot, Gembloux, 362 p.

**DAKOURE D, (2003).** Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure Sud-Est du bassin sédimentaire de Taoudéni (Burkina Faso - Mali)- Essai de modélisation. Thèse de doctorat, sciences de la Terre, Géosciences et Ressources Naturelles, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie, 255 p.

**DEGREMONT, (1978).** Mémento Technique de l'eau, Ed. Degrémont, Paris.

**DERRADJI F., BOUSNOUBRA H., KHERICI N., ROMEO M., CARUBA R., (2007).** Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord- Est algérien. Article Scientifique. Sécheresse vol.18, n° 1, Janvier, Février, Mars, 2007.pp23-27.

**DEVAUX I, (1999).** Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise. Thèse « Sciences de la Vie et de la Santé », Univ. Joseph Fourier, Grenoble, 257p.

**DE VILLERS J., SQUILBIN M., YOURASSOWSKY C., (2005).** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

**DEZERT B, (1976).** L'utilisation des eaux continentales dans les pays en voie de développement. I.G, 1976.

**DIB I, (2009).** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien). Mémoire de Magister en hydraulique, construction hydrotechnique et environnement. Université Hadj Lakhdar. Batna, Algérie, 127 p.

**DJIDEL M, (2008).** Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette d'Ouargla (Sahara Septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat en Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.280p.

**D.P.A.T (2014).**-Monographie da la wilaya de Biskra. Ed. Wilaya de Biskra. 280 P.

**DROUCHE A., HARRAT N., ZAHI F., BOUCHAHM N., DJABRI L., MAFTEH H., (2011).** Highlight of piezometric fluctuations of groundwater through piezometrics network in the region of Biskra (Algeria), Colloque International "Journées des Géosciences de l'Environnement Oujda, 21, 22 et 23 Juin « Environnement et développement durable» J.Mater . Environ.Sci 2(S<sub>1</sub>) (2011) 495-500, ISSN.2028-2508.

**DROUICHE AM ; CHAIB W ; REZEG A ; BOUCHERIRA N ; HAMZAOUI W et DJABRI L, (2013).** Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en Régions Arides, cas d'El Ghrous (région des Zibans-Sud-Est Algérien). Journal Algérien des Régions Arides, N° spécial 2013.

**DUBOST D., LARBI-YOUCHEF Y., (1998).** Mutations agricoles dans les oasis algériennes: l'exemple des Ziban, Sécheresse n°09.pp 103-110.

**DUPONT J P ; JARDANI A ; (2012).** Forçages hydrologiques des aquifères du remplissage estuarien : un atelier expérimental pilote pour la prévision de l'influence des changements climatiques sur le fonctionnement hydrologique des zones humides .Rapport Seine-Aval 4.

**ECOSSE D, (2001).** Techniques alternes vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. « Qualité et Gestion de l'Eau ».Fac, Sciences, Amiens, 62p.

**EDELINE M.F, (1992).** Epuration physico-chimique de eaux, 2è me édition, Ed.CEBEDOC.

**EL MORHIT M, (2009).** Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Lakkos). Thèse de Doctorat en Toxicologie. Université Mohammed V. Agdal, Rabat, Maroc. 260 p.

**ENCYCLOPÉDIE MÉDICALE, (1997).** Guide médical, la santé en encyclopédie, 1997.

**ENFIELD CG, YATES SR., (1990).** Organic chemical transport to groundwater. Pesticides in the soil environment: processes, impacts and modeling. Book n° 2. Madison (Wisconsin): Soil Science Society of America.

**E.R.E.S.S, (1972).** Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional. Par UNESCO. Utilisation des modèles pour l'établissement des programmes d'exploitation. Vol 5. Nappe du continental intercalaire. Vol 2. Nappe du complexe terminal. Vol 3.

**E.R.E.S.S, (1972).** Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. UNESCO, Paris. (7 Vols. and Annexes).

**FABRE J, (1974).** Le Sahara : un musée géologique, La Recherche N°42. Février.

**FABRE J, (1976).** Introduction à la géologie du Sahara Algérien. SNED, Alger. Algérie, 422p.

**FALL C, (2008).** Etude de la qualité de l'eau de robinet et de celle de la nappe phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye, Dakar, Sénégal. Mémoire de maitrise, Université Cheikh Anta Diop Dakar, Faculté des lettres et sciences humaines, Département de Géographie, 81 p.

**FINBERG L., KILEY J., LUTTREL C.N., (1963).** Mass accidental poisoning in infancy. Journal of American Medicine Association: 184-187.

**FRIOUA S, (2014).** Localisation et caractéristiques des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de S.I.G. Mémoire de Master en Sciences de l'Eau et de l'Environnement. Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 79P.

**GAUJOUS D, (1995).** La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris. 220p.

**GOUDJIL M et BENCHEIKEH S., (2011).** La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla Sud-Est Algérien, Mémoire Master en Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla. P 2-29.

**GOUSKOV., (1964).** Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000. Biskra. Serv. Géol. De l'Algérie. Alger., 1964.13 p.

**GUENDOZ, A., (1985).** Contribution a l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara nord-est septentrional, Algérie. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris-Sud, Orsay.

**GUENDOZ A., MOULLA A S., EDMUNDS W M., ZOUARI K., SHAND P., MAMOU A., (2003).** Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogeology Journal, Vol. 11, No. 4, pp.483-495.

**GUERGAZI S., ACHOUR, S ., (1998).** Effet des chlorures et des sulfates sur la chloration de la matière organique, 3ème Séminaire National sur l'Hydraulique, 26, 27 et 28 Octobre, Biskra.

**GUERGAZI S ., ACHOUR S.,(2005).**Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra ,pratique de la chloration .Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.119-127.

**GUERGAZI S., HARRAT N., ACHOUR S., (2006).** Paramètres organiques et potentiels de formation du chloroforme d'eaux de surface de l'Est Algérien. Courrier de Savoir-N° 07, Décembre 2006, pp.45-50.

**GUERGAZI S ., ACHOUR S.,(2011).**Effet de la désinfection par le chlore sur la pollution des eaux de surface de la région de Biskra . Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp.131-138.

**GUIRAUD R, (1973).** Evolution post-Triasique de l'Avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines.Thèse Sci.Univ.Nice, 270 p, 114 fig., 12 pl.h.t.

**HADDOUD M, (2013).** Contribution à l'étude des éléments chimiques en traces dans les eaux souterraines profondes de la wilaya de Biskra-cas du cuivre et du zinc, Mémoire de Magister en Hydraulique. Université de Biskra, Algérie, 111p.

**HAKMI A, (2006).** Traitement de l'eau de source Bousfer Oran. Mémoire de Licence en traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie Oran, 48 p.

**HCEFLCD, (2006).** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.

**HOSPITALIER-RIVILLON J., POIRIER R., (2008).** L'eau destinée à la consommation humaine : Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement ; 69 : 496-505.

**HUBERT P et MARIN M., (2001).** Quelle eau boirons-nous demain ? Edition: Fabienne Travers. P: 64-124.

**I.N.R.A.A., (2006).** Gestion participative de la lutte biologique contre les ravageurs du palmier dattier dans les oasis Algériennes. Unité I.N.R.A de Biskra. 53 p.

**JORA, (2011).** Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif a la qualité de l'eau de consommation humaine, JO N°18.

**KESSIRA M, (2013).** Synthèse internationale du projet « sécurité d'utilisation des eaux usées en agriculture », Téhéran, Iran, 26-28 Juin, politique de soutien et cadres institutionnels, valorisation des eaux usées épurées en irrigation.

**KHADRAOUI A., (2006).** Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien. ABH Sahara Gabriel Etienne ,2009: Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à L'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.31 No.1 (2009), pp157-171.

**KRIMIL F, (2008).** Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foum El Gherza (wilaya de Biskra). Mémoire de Magister en Hydraulique. Université colonel El Hadj Lakhdar de Batna, Algérie.

**LADJEL S, (2009).** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage T 7. Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi Ouzou, 101 p.

**LARBES A, (2005).** Etude sur modèle mathématique du système aquifère de la région de Biskra. (ANRH).Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara-CIRESS, 12-13 Déc.2005, Ouargla, Algérie.

**LARBI A, (2004).**Contribution à l'étude de la qualité des eaux de barrages de la région centre de l'Algérie. Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida. Alger.

**LEFEBVRE E, (1990).** Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux : Effet de la pré oxydation. Thèse Doctorat d'Université, Poitiers.

**MAHI TABET A, (1998).** Etat actuel de la pollution de l'eau en Algérie et son impact sur la santé, 2<sup>ème</sup> colloque national « climat- environnement » sur « l'eau : une réalité, une urgence, un défi ». Oran, Janvier 1998.

**MASMOUDI R, (2009).** Etude de la fiabilité des systèmes de distribution d'eau potable en zones arides cas de la région de Biskra. Thèse de Doctorat en Sciences Hydrauliques, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 183P.

**MEGDOUD M (2003).** Qualité des eaux du Sahara septentrional. Troisième communication au Séminaire d'El Oued de l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH), 19 et 20 mai, volume I : 42-49.

**MEGUENNI-TANI A, (2013).** Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire de la région Sud de la ville de Biskra, Algérie. Mémoire Master Académique, en Géo-ressources, Université Abou Bekr BelKaid-Tlemcen, Algérie.

**MENS et DEROUANE, (2000).** État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie.

**METAHRI M S, (2012).** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat en Agronomie, option génie des procédés, Université de Tizi Ouzou, Algérie.

**MONTIEL A, (1999).** Contrôle de la pollution de l'eau. Ed. Techniques de l'ingénieur, 12 p.

**MOZAS M., GHOSSEN A, (2013).** Etat des lieux du secteur de l'eau en Algérie, Octobre 2013.

**MSTP – L'EAU.** Enjeux et perspectives de recherche ,2007

**NESSON C, (1978).** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, (Ed. CNRS), pp 7-100, Paris.

**NEZLI I.D., ACHOUR S., HAMDIAISSA B., (2009).** Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Courrier de savoir, 9 : 57-62.

**NISBET M et VERNEAUX J., (1970).** Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses. Ann. De limnologie. Tome 6, n°2, 161-190.

**NOLLET P, (1996).** Problèmes d'environnement. Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris. 288 pp.

**OMS, (1989).** Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. 3<sup>ème</sup> rapport du comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires, rapport technique n°776 de l'OMS. Genève (Suisse). 156p.

**OMS, (1993).** Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson. Recommandations. Organisation mondiale de la Santé, Genève: 49-50.

**OMS, (2004).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3<sup>ème</sup> édition, Vol. 1. Directives. Ed. Organisation mondiale de la santé, Genève, 110 p.

**OMS, (2006).** Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition. Recommandations. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 78 p.

**OMS, (2007).** Combattre les maladies véhiculées par l'eau à la maison. Réseau international pour le traitement et la bonne conservation de l'eau à domicile, 36p.

**OSS, (2003).** Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2: Modèle Mathématique. Projet, SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, 229 p.

**OSS (2003 A et B) .** Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

**OULD BABA SY M, (2005).** Recharge et paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat en Géologie, Université de Tunis El Manar, 261p.

**PDARE, (2011).** Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau, phase III.20p

**PETERSEN J O, (2014).** Traçage isotopique ( $^{36}\text{Cl}$ ,  $^4\text{He}$ ,  $^{234}\text{U}$ ) et modélisation hydrogéologique du Système Aquifère du Sahara Septentrional .Application à la recharge Quaternaire du Continental Intercalaire .Thèse de Doctorat en Géosciences de l'environnement .Université d'Aix-Marseille.329p.

**PHILIPPEAU G, (1986).** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. ITCF, Paris, 63 p.

**PNE, (2010).** Plan Nationale de l'Eau.

**PNUD (2009).** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie, 07 Mars, Rapport Algérie/ONU.

**RAINEY M P., TYLER A N., GILVEAR D J., BRYANT R G et M C DONALD P., (2003).** Mapping inertial estuarine sediment grain size distributions through airborne remote sensing. Remotesens. Environ. 86: 480-490 pp.

**RAMADE F, (2002).** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2<sup>ème</sup> Ed. DUNOD. Paris. 1075 pp.

**REJSEK F, (2002).** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques, Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, France.

**REMINI B, (2010).** La problématique de l'eau en Algérie du Nord. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 08, Juin 2010, pp. 27-46.

**RICHARD C, (1996).** Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux. Ed. Edition Scientifiques et Médicales Elsevier, Paris, 115 p.

**RODIER J et al, (1996).** L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 6<sup>ème</sup> Edition, Paris.

**RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J. P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

**RODIER J, (2009).** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, 9<sup>ème</sup> Edition, Paris.

**SANTE CANADA, (2006).** Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs. Les bactéries pathogènes d'origine hydrique : Micro-organismes préoccupants courants et émergents. Février 2006.

**SARI H, (2014).** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source « Attar » (Tlemcen), Mémoire de Master, en Sciences des aliments. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.92p

**SASS, (2003).** Système aquifère du Sahara Septentrional, une Conscience de bassin, 2<sup>ème</sup> édition. Hydrogéologie, volume II, Juin 2003.

**SEDRATI N, (2011).** Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-Sud Est Algérien, Thèse de Doctorat en Sciences, option Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.164p.

**Service de l'eau, (2011).** Service de l'eau en Algérie faire du droit à l'eau une réalité pour tous, communication à la consultation des acteurs étatiques sur les bonnes pratiques dans les domaines de l'eau et de l'assainissement, Genève, Janvier 2011.

**SIGG L., BEHRA P S., STUMM W., (2014).** Chimie des milieux aquatiques, 5<sup>ème</sup> édition, Ed. Dunod, Paris, Masson, ISBN 978-2-10-058801-5.

**STUCKY-BG-IBG, (2004).** Groupement STUCKY-BG-IBG, Etude d'avant projet détaillé de l'alimentation en eau potable de la ville de Tamanrasset à partir d'Ain Salah, mission n° 1 2004.

**TABOUCHE N., ACHOUR S., (2004).** Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. Larhyss journal .pp 99-113.

**TARDAT-HENRY M, BEAUDRY J,(1984).**Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile, INC, Québec.

**THURMAN E M, (1985).** Developments in biogeochemistry: Organic geochemistry of natural waters, Ed. NIJHOFF, Dr. W. Junk Publishers, DORDRECHT.

**TOUATI B, (2010).** Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de Doctorat d'Etat, en Aménagement du Territoire. Université Mentouri. Constantine, Algérie.

**UNESCO, (1972).** Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, Paris, 109 p.

**VILAIN M, (1999).** Méthodes expérimentales en agronomie pratique et analyse. Ed. Lavoisier,Paris, 337 p.

**VALIRON F, (1983).** La réutilisation des eaux usées. Paris : Edition du BRGM, Lavoisier.

**WHO, (2008).** Guidelines for Drinking Water Quality. Third Edition Incorporating the First and Second Addenda, World Health Organization. Volume 1 : Recommendations, Geneva, 515 p.

**YOUCEF L., ACHOUR S., (2001).** Défluoruration des eaux souterraines du Sud Algérien par la chaux et le sulfate d'aluminium. Courrier du Savoir-N° 01, Novembre 2001, pp.65-71.

**ZOUINI D, (2009).** Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières d'Algérie. Revue HTE N° 142. Mars-Juin 2009.

# Annexe

**Tableau 01 : Inventaire des forages en exploitation (ADE, 2011)**

Daïra	Commune	Nom du forage	Nappe	Coordonnées Lambert			Mise en Service
				X	Y	Z	
<b>Tolga</b>	Tolga	Labdaa N° 01	Eocène inférieur	748400	161800	190	2002
	Tolga	Khenisene N°01	Eocène inférieur	720200	3851800	212	1990
	Tolga	Nouvelle Daira	Eocène inférieur	745100	162400	180	1996
	Tolga	Farfar	Eocène inférieur	748700	162000	-	2005
	Tolga	Haddoud	Eocène inférieur	745650	162400	156	1987
	Tolga	Route Foughala	Eocène inférieur	744250	162550	-	1989
	Bordj Ben Azzouz	Bordj Ben Azzouz AEP	Eocène inférieur	743690	159610	131	1965
	Bordj Ben Azzouz	Bordj Ben Azzouz AEP N°1	Eocène inférieur	742800	159000	132	1988
	Bordj Ben Azzouz	Bordj Ben Azzouz AEP N°2	Eocène inférieur	716200	3842500	146	1992
	Bordj Ben Azzouz	Ben M'Hidi	Eocène inférieur	714800	3 843600	146	1995
<b>Biskra</b>	Chetma	FD <sub>1</sub>	Maestrichtien	765962	3 864906	-	2008
	Chetma	FD <sub>2</sub>	Maestrichtien	766043	3 864937	-	2008
	Chetma	FD <sub>5</sub>	Maestrichtien	765776	3 864311	-	2008
	Chetma	FD <sub>6</sub>	Maestrichtien	766706	3 865422	-	2008
	Chetma	FD <sub>9</sub>	Maestrichtien	765421	3 863609	-	2008

# Annexe

**Tableau 01 (suite) : Inventaire des forages en exploitation (ADE, 2011)**

Daïra	Commune	Nom du forage	Nappe	Coordonnées Lambert			Mise en service
				X	Y	Z	
<b>Biskra</b>	Biskra	Sif <sub>5</sub>	Phréatique	778210	180700	161	1970
	Biskra	F <sub>3</sub>	Phréatique	778150	181260	148	1971
	Biskra	B <sub>1</sub>	Phréatique	777750	180650	138	1954
	Biskra	Sif <sub>6</sub> Bis	Phréatique	778140	180740	140	1987
	Biskra	B <sub>5</sub> Bis	Phréatique	776950	179800	-	2006
	Biskra	FZ <sub>1</sub>	Quaternaire	777100	179300	-	2006
	Biskra	FZ <sub>2</sub>	Quaternaire	776950	179800	-	2006
	Biskra	FZ <sub>3</sub>	Quaternaire	777050	179900	-	2006
	Biskra	Jeunes Aveugles	Miopliocène	777500	179300	103	1991
	Biskra	Gendarmerie	Miopliocène	778500	177400	117	1985
	Biskra	Université	Miopliocène	778000	178000	100	1997
	Biskra	Camping	Miopliocène	777500	174800	95	1997
	Biskra	Ben Nacer	Miopliocène	777575	179200	134	1981
	Biskra	1 <sup>er</sup> Novembre	Miopliocène	777800	177900	118	2003
	Biskra	Felliache N° 1	Miopliocène	777575	179200	134	1989

# Annexe

**Tableau 02** : limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

**Source : (OMS, 2004)**

PARAMETRES	LIMITE DE QUALITE	UNITE
<b>PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES</b>		
Escherichia Coli	0	/100 ml
Entérocoques	0	/100 ml
<b>PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES</b>		
température	25	°C
pH	6,5 – 9	Unité pH
conductivité	180 - 1000	µS/cm
turbidité	1	NTU
DBO	Eau naturelle pure > 1 Rivière légèrement polluée >1 et <3.	mg/l d' O <sub>2</sub>
DCO	1,5 à 2 fois la DBO <sub>5</sub>	mg/l d' O <sub>2</sub>
chlorures	200	mg/l
sulfates	250	mg/l
magnésium	50	mg/l
sodium	150	mg/l
potassium	12	mg/l
Aluminium total	200	µg/l
<b>PARAMETRES CONCERNANT DES SUBSTANCES INDESIRABLES</b>		
Nitrates	50	mg/l
Nitrites	0,5	mg/l
Ammonium	0,1	mg/l
Azote kjeldahl	1	mg/l
fer	200	µg/l
Manganèse	0,5	mg/l
Cuivre	2	mg/l
Zinc	5	mg/l
Phosphore	5	mg/l
Argent	10	µg/l
Fluor	1500 (pour T : 8 -12 C°)	µg/l
Fluor	700 (pour T : 25 – 30 C°)	µg/l
<b>PARAMETRES CONCERNANT DES SUBSTANCES TOXIQUES</b>		
Arsenic	10	µg/l
Cadmium	3	µg/l
Baryum	0,7	mg/l
Benzène	1	µg/l
Bore	1	mg/l
Bromates	10	µg/l
Chrome	50	µg/l
Chlorure de vinyle	0,5	µg/l
Cyanures totaux	50	µg/l
Hydrocarbures aromatiques	0,1	µg/l
Mercur total	1	µg/l
Nickel	20	µg/l
Plomb	10	µg/l

# Annexe

---

**Tableau 02 (Suite) : limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.**  
**Source : (OMS, 2004)**

<b>PESTICIDES</b>		
Atrazine	2	µg/l
Bentazone	30	µg/l
Chlordane	0,2	µg/l
DDT	2	µg/l
lindane	2	µg/l

# Annexe

**Tableau 03 : Paramètres de qualité des eaux de consommation humaine (JORA, 2011).**

**Tableau avec valeurs limites**

<b>GROUPE DE PARAMETRES</b>	<b>PARAMETRES</b>	<b>UNITES</b>	<b>VALEURS LIMITES</b>
<b>PARAMETRES CHIMIQUES</b>	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	µg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O <sub>2</sub>	5
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	µg/l	2
	Cyanure	µg/l	70
	Mercuré	µg/l	6
Nickel	µg/l	70	
Plomb	µg/l	10	
Sélinium	µg/l	10	
Zinc	mg/l	5	

## Annexe

**Tableau 03 (suite) : Paramètres de qualité des eaux de consommation humaine (JORA, 2011).**

**Tableau paramètres avec valeurs indicatives**

<b>GROUPE DE PARAMETRES</b>	<b>PARAMETRES</b>	<b>UNITES</b>	<b>VALEURS INDICATIVES</b>
<b>PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES</b>	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
<b>PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES EN RELATION AVEC LA STRUCTURE NATURELLE DES EAUX</b>	Alcalinité	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	500
	Calcium	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	μS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO <sub>3</sub>	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

# Annexe

**Tableau 04 : Normes pour les paramètres chimiques de qualité des eaux de consommation (OMS, 2006).**

Paramètres chimiques	Unités	Valeurs Limites
Aluminium	mg/l	0,2
Ammonium	mg/l	Pas de contraintes < 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)
Baryum	mg/l	0,7
Bore	mg/l	0.5
Fer total	-	Pas de valeur guide
Fluorures	mg/l	1,5
Manganèse	mg/l	0.4
Nitrates	mg/l	50 et 3 mg/l (exposition à court terme)0.2 mg/l (exposition à long terme)
Nitrites	mg/l	50 et 3 mg/l (exposition à court terme)0.2 mg/l (exposition à long terme)
Oxydabilité	mg/l O <sub>2</sub>	5
Phosphore	mg/l	5
Arsenic	mg/l	0.01
Cadmium	mg/l	0.003
Chrome total	mg/l	0.05
Cuivre	mg/l	2
Cyanure	mg/l	0.07
Mercuré	mg/l	inorganique : 0,006
Nickel	mg/l	0.07
Plomb	mg/l	0.01
Zinc	mg/l	3
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés extraits au CCl <sub>4</sub>	µg/l	10
Phenols	µg/l	0,5
Benzene	µg/l	10
Pesticides par substance individualisée - Insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et PC.T à l'exception de aldrine et dieldrine	µg/l	0 ,1  0,03
Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
Bromates	µg/l	10
Chlore	mg/l	Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chlorite	µg/l	70
Trihalométhanes (THM) (Total) Chloroforme, Bromoforme, DibromochloromÉthane, BromodichloromÉthane	µg/l	100
Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
1,2 - Dichloroéthane	µg/l	30
1,2 - DichlorobenzÈne	µg/l	1000
1,4 - DichlorobenzÈne	µg/l	300

# Annexe

---

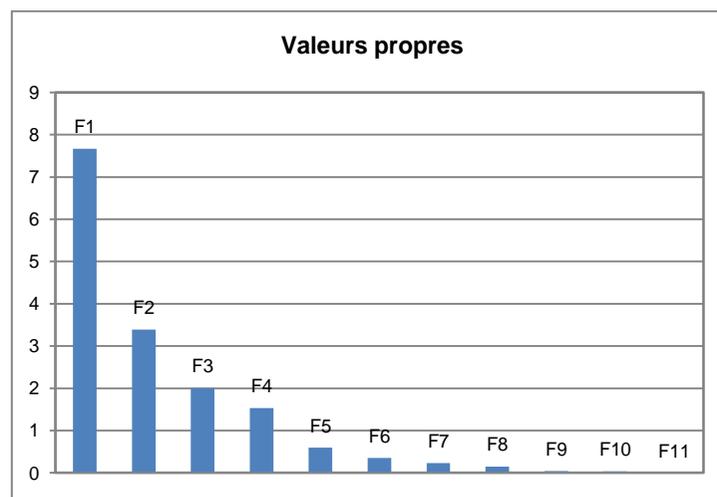
**Tableau 04 (suite) : Paramètres organoleptiques avec valeurs indicatives (OMS, 2006).**

<b>Paramètres organoleptiques</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeurs Limites</b>
Couleur		Pas de valeur guide
Turbidité		Non mentionnée
Chlorures	mg/l	200
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	$\geq 6,5$ et $\leq 9$
Conductivité † 20°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1000
Dureté	mg/l en $\text{CaCO}_3$	200
Potassium	mg/l	12
Sodium		Pas de valeur guide
Sulfates	mg/l	500
Température	°C	25

# Annexe

**Tableau 05** : Tableau des valeurs propres

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	7,667	3,386	2,004	1,531	0,596	0,354	0,230	0,151	0,045	0,034	0,002
% variance	47,919	21,165	12,524	9,568	3,725	2,214	1,440	0,942	0,280	0,209	0,014
% cumulé	47,919	69,084	81,608	91,176	94,901	97,115	98,555	99,496	99,776	99,986	100,000



# Annexe

**Tableau 06 : Matrice de corrélation en utilisant le logiciel SPSS**

**Correlation Matrix<sup>a</sup>**

	Cond	pH	TH	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	HCO3-	Cl-	SO42-	PO43-	NO3-	NO2-	Mn2+	Fe2+	Cu2+
Cond	1.000	-.601	.227	.460	-.076	.796	.824	.032	.971	.284	-.199	.658	.382	-.054	.445	.387
pH	-.601	1.000	-.612	-.807	-.464	-.667	-.779	-.501	-.491	-.782	-.326	-.596	-.679	-.251	-.810	-.572
TH	.227	-.612	1.000	.769	.900	.014	.365	.058	.140	.605	.750	.624	.408	.284	.581	.321
Ca2+	.460	-.807	.769	1.000	.546	.523	.750	.487	.346	.880	.504	.576	.444	.516	.786	.659
Mg2+	-.076	-.464	.900	.546	1.000	-.226	.082	-.035	-.185	.526	.786	.298	.228	.293	.341	.214
Na+	.796	-.667	.014	.523	-.226	1.000	.847	.474	.705	.564	-.238	.334	.364	.187	.511	.522
K+	.824	-.779	.365	.750	.082	.847	1.000	.430	.768	.638	-.117	.635	.556	.252	.703	.476
HCO3-	.032	-.501	.058	.487	-.035	.474	.430	1.000	-.002	.645	.092	.135	.562	.389	.722	.212
Cl-	.971	-.491	.140	.346	-.185	.705	.768	-.002	1.000	.110	-.314	.714	.424	-.181	.431	.263
SO42-	.284	-.782	.605	.880	.526	.564	.638	.645	.110	1.000	.502	.250	.376	.601	.688	.577
PO43-	-.199	-.326	.750	.504	.786	-.238	-.117	.092	-.314	.502	1.000	.143	.057	.228	.310	.303
NO3-	.658	-.596	.624	.576	.298	.334	.635	.135	.714	.250	.143	1.000	.755	-.141	.750	.130
NO2-	.382	-.679	.408	.444	.228	.364	.556	.562	.424	.376	.057	.755	1.000	-.118	.852	-.092
Mn2+	-.054	-.251	.284	.516	.293	.187	.252	.389	-.181	.601	.228	-.141	-.118	1.000	.178	.383
Fe2+	.445	-.810	.581	.786	.341	.511	.703	.722	.431	.688	.310	.750	.852	.178	1.000	.333
Cu2+	.387	-.572	.321	.659	.214	.522	.476	.212	.263	.577	.303	.130	-.092	.383	.333	1.000

a. This matrix is not positive definite.