

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA NAPPE DU MIOPLIOCÈNE DE LA RÉGION DE BISKRA ET RISQUE DE LA POLLUTION PAR LES NITRATES

GROUNDWATER QUALITY OF MIOPLIOCENE AQUIFER OF BISKRA REGION AND RISK OF NITRATE POLLUTION

O. KHELIEL, L. YUCEF, S. ACHOUR

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface LARHYSS
Université de Biskra, B.P. 145, R.P., Biskra, Algérie
oussamakheliel@gmail.com, lyoucef2@yahoo.fr, samia.achour@Larhyss.net

RÉSUMÉ

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et elles sont donc vitales pour le développement de ces pays. Dans la wilaya de Biskra (Sud algérien) où l'activité principale tourne autour de l'agriculture et l'élevage, le risque de la pollution menace les eaux souterraines. Pour évaluer la pollution des eaux souterraines, une caractérisation physico-chimique a été réalisée pendant les mois de Janvier à Mars 2015, sur des eaux de forages de la nappe du Miopliocène de la région de Biskra. L'analyse des résultats montre que les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement médiocres avec des valeurs non conformes aux normes de potabilité nationales et internationales. La représentation spatiale des teneurs en nitrates à l'aide d'une carte, indique que les zones les plus affectées par la pollution sont celles pour lesquelles le niveau d'intensification de la fertilisation azotée est le plus fort situés dans le Nord-Est et le Sud-Ouest de la région. Ces sites sont reconnus par des pratiques d'élevage importantes. Au contraire, les teneurs sont plus faibles dans la partie centrale de la région.

MOTS CLÉS : Biskra, nappe du Miopliocène, eaux souterraines, analyses physico-chimiques, nitrates, pollution.

ABSTRACT

In developing countries with arid climate the role of groundwater is very important. They are often the only source of drinking water and therefore are vital for the development of these countries. In Biskra region (South Algerian) where the main activity revolves around agriculture and animal husbandry, the risk of pollution threatens the groundwater. In order to evaluate groundwater pollution in Biskra region, a physico-chemical characterization was carried out during the months of January to March 2015, of drilling water of the Miopliocene aquifer. The analysis of results shows that the mineral characteristics of the waters of the study area have emerged overall poor with values that do not comply with national and international drinking water standards. The spatial representation of nitrates through a map indicates that the areas most affected by pollution are those for which the level of intensification of nitrogen fertilization is highest in the Northeast and Southwest of the region. These areas are recognized by good husbandry practices. On the contrary, the nitrate contents are lower in the central part of the region.

KEYWORDS: Biskra, Miopliocene aquifer, groundwater, physico-chemical analyzes, nitrates, pollution.

1. INTRODUCTION

Les pays du pourtour méditerranéen, considérés comme une zone semi-aride seront de plus en plus confrontés à des pénuries d'eau, tant les pressions provenant de l'agriculture, de l'industrie et des populations y sont fortes et croissantes. En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré (Boudjadja et al, 2003).

L'oasis de Biskra a fait autrefois les beaux jours du tourisme colonial en offrant, à 400 Km d'Alger, les délices de l'exotisme saharien avec ses palmiers et ses jardins irrigués. Mais la région de Ziban a surtout vécu depuis un siècle de sa production de dattes de qualité (Dubost et Larbi-Youcef, 1998). De ce fait, la wilaya 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'État. Cette production agricole intensive nous fait craindre une source importante de contamination des eaux souterraines par les nitrates (Drouiche et al, 2011).

L'évaluation de la gravité de la contamination des eaux souterraines de la nappe du Miopliocène de la région de Biskra par les nitrates doit tenir compte à ce qui se passe en surface.

En zones arides et semi-arides, les surfaces à hautes potentialités agricoles sont de plus en plus rares et les surfaces irriguées sont en nette augmentation. Il est donc impératif d'accorder une grande importance à ces espaces irrigués (Saidi et al, 2010). La superficie agricole irriguée dans la région de Biskra est passée de 54809 hectare en 2000 pour atteindre 108389 hectare en 2011. Dans ces zones, les sols sont pauvres en azote minéral surtout sous formes ammoniacale et nitrique. Néanmoins, l'excès de ce dernier dans les sols irrigués suite aux amendements azotés pourrait constituer un problème environnemental pour les systèmes hydrologiques (Saidi et al, 2010). À cette pollution diffuse d'origine agricole, s'ajoutent les rejets non contrôlés et sans cesse croissants des eaux usées urbaines et d'effluents agro-industriels très riches en azote minéral et organique.

Pour mener ce travail, nous avons procédé à une caractérisation physico-chimique des eaux de forages de la nappe du Miopliocène de la région de Biskra pendant la période allant de Janvier à Mars 2015. Nous avons mesuré la T°, le pH et la Conductivité électrique in situ. La détermination de la concentration des ions : Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, SO₄⁻, Cl⁻, PO₄⁻⁻⁻, HCO₃⁻ et K⁺ a été effectuée au laboratoire LARHYSS (Université de Biskra). L'ensemble des résultats feront l'objet d'une discussion de la qualité des eaux souterraines de la nappe Miopliocène et d'une visualisation de l'ampleur de la pollution nitrique.

2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La wilaya de Biskra est la capitale des Monts du Zab (Zibans). Elle est la porte du désert, elle se situe à une altitude de 87 m. Ceci fait d'elle une des villes les plus basses en Algérie, située à 115 Km au Sud-Ouest de Batna, à 222 Km au Nord de Touggourt et à 400 Km environ au Sud-Est d'Alger. La wilaya de Biskra s'étend sur 21671,20 Km², sa latitude est de 34° 48' et sa longitude est de plus de 5° 44' (Aissaoui, 2012). Le climat de la région est de type saharien, caractérisé par un faible taux des précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif (Sedrati, 2011).

La zone d'étude ; commune de Biskra est la capitale de la wilaya du même nom Biskra (Figure 01). Elle est limitée au Nord par la commune de Branis, au Nord-Ouest par la commune d'El-Outaya, à l'Est par la commune de Chetma, au Sud-Est par la commune de Sidi-Okba, au Sud-Ouest par la commune d'Oumache et à l'Ouest par la commune d'El-Hadjeb. Elle occupe une superficie de 127,53 Km² pour une population de 244773 habitants en 2015, elle est située à une altitude moyenne de 87 m par rapport au niveau de la mer (DPATB, 2015).

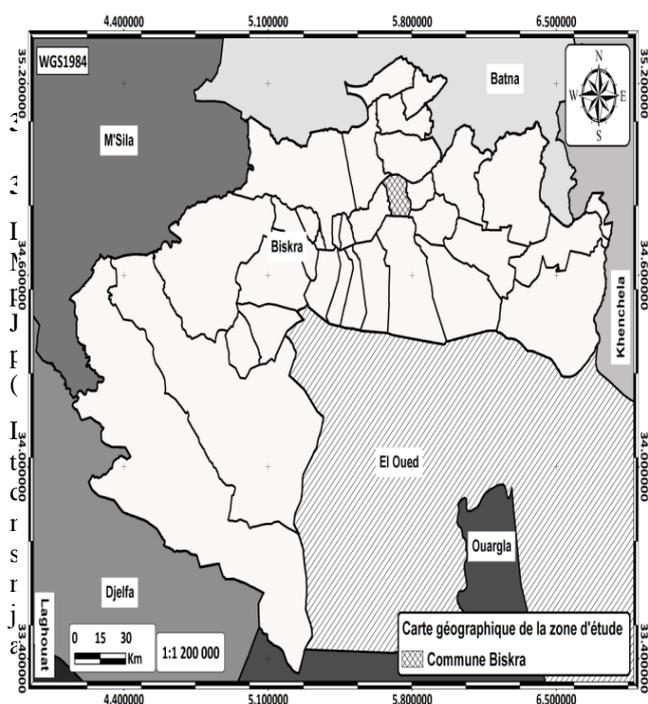


Figure 01: Situation géographique de la zone d'étude (Commune de Biskra)

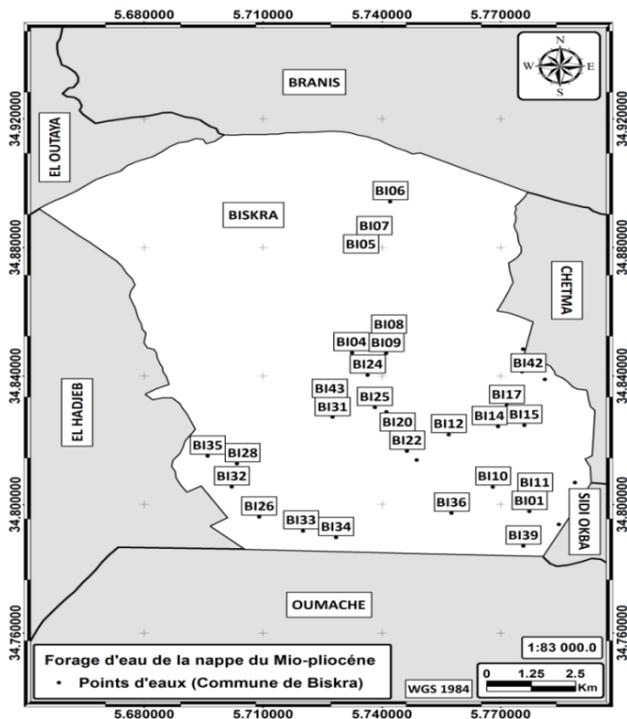


Figure 02: Inventaire des forages d'eaux captant la nappe du Miopliocène de la zone d'étude (Commune de Biskra)

3.2 Méthodes de dosage

3.2.1 Mesure du pH

On a mesuré le pH des échantillons d'eau à l'aide d'un pH mètre INOLAB instruments (pH 7310P).

3.2.2 Dosage des nitrates

Le dosage des nitrates dans les échantillons d'eau prélevés a été fait par spectrophotométrie en UV en utilisant le spectrophotomètre UV-Visible (JENWAY 6305 UV) (Rejsek, 2002).

3.2.3 Dosage des ions chlorures et calcium

Le dosage a été effectué grâce à une électrode spécifique aux ions chlorures ou calcium branchée à un multiparamètre analyser de type Consort ; Modèle C3030.

Les autres paramètres physico-chimiques des eaux souterraines sont déterminés par les méthodes standards d'analyse (Rodier et al, 2009) ou par les méthodes décrites par les catalogues de l'appareillage utilisé.

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La fiabilité des analyses chimiques est approchée par le calcul de la balance ionique (BI). D'une manière générale, les analyses chimiques au laboratoire sont considérées acceptables lorsque $5\% \leq BI < 10\%$ (Hadi, 2016 ; Rodier et al, 2009). Le calcul de la balance ionique (BI) indique que toutes les eaux analysées ayant une balance ionique inférieure ou égale 10 %.

3.2.4 Identification des faciès chimiques

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi d'utiliser le logiciel Diagrammes (version 5.0) pour l'interprétation des analyses chimiques au moyen d'une multitude de diagrammes géochimiques. Parmi les diagrammes les plus utilisées dans ce logiciel on a utilisé deux diagrammes

- *Diagramme de Piper* : La présentation des analyses chimiques sur ce type de diagramme permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux.

- *Diagramme de Riverside* : Sur cette représentation graphique, le risque de salinité est estimé par la conductivité exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Alors que le risque d'alcalinisation des sols est quantifié par le S.A.R (Sodium Adsorption Ratio).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans la région de Biskra, les eaux souterraines constituent une ressource importante d'eau de boisson et d'eau d'irrigation. Il est donc impératif dans cette région d'étudier la qualité physico-chimique des eaux de forages et de comparer la qualité de ces eaux aux normes de potabilité (JORA, 2011 ; OMS, 2008).

Les résultats obtenus des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe du Miopliocène de la commune de Biskra ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces résultats sont présentés dans le tableau (01).

Tableau 01: Les différents paramètres d'analyses physico-chimiques des eaux de forages de la nappe du Miopliocène de la région de Biskra (Compagne d'échantillonnage : Janvier à Mars 2015)

Paramètres physiques		Min	Moy	Max		
Mesure in situ	T° (°C)	16,20	22,50	24,70		
	pH	6,50	7,37	8,08		
	CE (µS/cm)	1990	3940	7100		
► CE : Conductivité électrique ► T° : Température						
Paramètres chimiques		Min	Moy	Mod	Max	Ecart-type
Mesure au laboratoire LARHYSS	HCO ₃ ⁻	179,34	271,46	268,40	420,90	63,01
	Cl ⁻	612,35	1474,83	1563,47	3333,45	539,30
	NO ₃ ⁻	15,24	55,79	101,36	124,49	32,49
	SO ₄ ⁻	450	783,26	680	1550	220,17
	PO ₄ ⁻	0	1	1,40	3,60	0,77
	Ca ⁺⁺	50,85	148,26	136,31	301,50	52,53
	Mg ⁺⁺	74,77	236,19	113	654,94	117,41
	Na ⁺	419,61	996,22	955,65	2661,76	436,30
K ⁺	4,86	11,25	10,64	18,59	3,64	

4.1 Paramètres physico-chimiques

4.1.1 Température [T°]

La température de l'eau est considérée comme un facteur important influençant la solubilité des sels et les gaz dissous dans l'eau (Rodier et al, 2009). Dans la zone d'étude, les valeurs observées de la température des eaux de la nappe du Miopliocène varient entre 16,20 et 24,70 °C et sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS (2008) qui est de 25 °C.

4.1.2 Potentiel d'hydrogène [pH]

Le pH est une mesure de l'activité des ions hydrogènes (H⁺) dans une solution aqueuse exprimée en moles/L. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu et renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés et dépend de l'équilibre calco-carbonique (El-Blidi et al, 2003). Le pH des eaux analysées varie entre 6,50 et 8,08. Notons que la plupart de ces eaux présentent un caractère alcalin et les valeurs des pH mesurés restent conformes aux normes de l'OMS (2008) entre 6,5 et 9.

4.1.3 Conductivité électrique [CE]

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle est exprimée en µS/cm. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (Rodier et al, 2009). On remarque que les échantillons

analysés ont une conductivité supérieure à 1990 µS/cm, ce qui veut dire que les eaux souterraines de la nappe superficielle de la région présentent une minéralisation élevée. Les fortes valeurs de la conductivité électrique sont dues à la nature géologique du terrain.

4.1.4 Bicarbonates [HCO₃⁻]

La présence des ions bicarbonate dans les eaux naturelles est due à la dissolution des formations carbonatées (Calcite ou aragonite) par l'intervention de l'anhydride carbonique dissous dans l'eau et proviennent de l'air atmosphérique (Rodier et al, 2009). Les teneurs en bicarbonates des eaux prélevées varient globalement entre un minimum de 179,34 mg/L et un maximum de 420,90 mg/L. Les fortes teneurs sont probablement dues à la circulation de ces eaux dans la nappe des calcaires (Sedrati, 2011).

4.1.5 Chlorures [Cl⁻]

Les ions chlorure sont des anions qui se retrouvent en concentrations variables dans les eaux souterraines, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (N'Diaye et al 2013). Á partir de 50 mg/L, les chlorures donnent un goût désagréable et posent un problème de corrosion des canalisations du réseau d'alimentation en eau potable (AEP) (OMS, 2008). Dans la zone d'étude, la quasi-totalité des échantillons présente des concentrations en chlorure dépassant très loin la norme de potabilité de l'OMS (250 mg-Cl/L), avec une moyenne de 612,35 mg/L. Ces valeurs élevées en chlorure pourraient être liées à la dissolution des minéraux salifères et à l'infiltration des eaux d'irrigation (Bremond et Perredon 1979 ; Kholtei et al 2003).

4.1.6 Sulfates [SO_4^{2-}]

Les sulfates contenus naturellement dans l'eau souterraine sont fournis par la dissolution des minéraux contenant du soufre, comme elles peuvent être d'origine anthropique par l'usage d'engrais ou des produits phytosanitaires, dans l'agriculture (Queneau et Habert, 2009 ; Bremond et Vuichard, 1973). Dans la région d'étude, la totalité des points de prélèvement ont des teneurs en sulfates dépassant les normes algériennes de potabilité (250 mg- SO_4/L) (JORA, 2011). Les teneurs en sulfates des eaux de la nappe du Miopliocène varient entre 450 et 1550 mg/L. Sa présence dans la nappe est liée principalement à la dissolution des formations gypsifères (Sedrati, 2011).

4.1.7 Calcium [Ca^{++}]

Les sels de calcium se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Avec le magnésium, il est responsable de la dureté de l'eau. La dureté de l'eau est exprimée par le titre hydrotimétrique en degrés français (Queneau et Habert, 2009). Dans les eaux souterraines, la teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par ces eaux (Rodier et al, 2009). Les résultats obtenus montrent que la majorité des eaux échantillonnées (90 %) présentent des concentrations en calcium inférieures à la norme algérienne de potabilité (200 mg- Ca/L) (JORA, 2011).

4.1.8 Magnésium [Mg^{++}]

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, particulièrement dans les sels minéraux (2,1 % de l'écorce terrestre). Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, à partir d'une concentration de 100 mg/L il donne un goût désagréable à l'eau. Il présente les mêmes origines que celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Calcaires et dolomitiques) (Rodier et al, 2009).

Par ailleurs, la teneur en magnésium dans les eaux de forages varie de 74,77 à 654,94 mg/L et la comparaison des teneurs mesurées en magnésium avec les normes algériennes de potabilité montre qu'une grande partie des forages possède des teneurs supérieures à 150 mg- Mg/L (JORA, 2011).

4.1.9 Sodium [Na^+]

Le sodium (Na^+) est un élément constant de l'eau. Il existe dans la totalité des eaux souterraines car la solubilité de ses sels est très élevée (Rodier et al, 2009). L'activité humaine emploie beaucoup des sels de sodium dans ses diverses industries, où il constitue le cation alcalin le meilleur marché. Le sodium, sous forme de chlorure de sodium, a une grande importance alimentaire et industrielle. Des quantités importantes de NaCl donnent un goût salé à l'eau (Bremond et Vuichard, 1973). Cependant les teneurs enregistrées de sodium dans les eaux prélevées sont supérieures aux normes de potabilité de 200 mg- Na/L , avec une teneur moyenne de 996,22 mg/L (JORA, 2011). L'origine de sodium dans la nappe peut être due à la

dissolution des minéraux salifères (NaCl) et par un échange de base contre le calcium de l'eau (Schoeller, 1962).

4.1.10 Potassium [K^+]

Le potassium est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux. La teneur en potassium est presque constante dans les eaux naturelles. Elle ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/L (Rodier et al, 2009). Les valeurs présentées dans le tableau (01) montrent que les concentrations en potassium varient entre 4,86 et 18,59 mg/L. La totalité des points d'eaux ont des concentrations inférieures à la norme algérienne qui est de 20 mg- K/L (JORA, 2011). Les teneurs élevées en potassium mesurées dans quelques points d'eau de cette nappe sont dues probablement à la dissolution des engrais potassiques qui sont utilisés massivement par les agriculteurs.

4.1.11 Nitrates [NO_3^-]

Les nitrates représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation (Rodier et al, 2009). Sa présence dans les eaux souterraines à forte concentration (> 50 mg/L) cause des problèmes de santé humaine tels que la méthémoglobinémie (Syndrome du bébé bleu) qui est associée à l'ingestion de fortes concentrations des nitrates par les enfants et les bébés provoquant leur cyanose (Bliffert et Perraud, 1997). De plus, une concentration élevée en nitrates peut mener à la formation de nitrosamines qui sont potentiellement cancérigènes (Levine et Schindler, 1989).

L'examen de la carte présentée sur la figure (03), montre que les teneurs en nitrates dépassent la norme de l'OMS (2008) et Algérienne (JORA, 2011) qui est de 50 mg- NO_3/L dans le Nord-Est et le Sud-Ouest de la commune de Biskra, ce qui atteste de son origine anthropique liée principalement à l'application des composés azotés. D'après Féray (2000), les composés azotés en général, les nitrates en particulier proviennent essentiellement d'activités agricoles réparties en des sources diffuses ou localisées.

Dans la région de Biskra, les teneurs en nitrates des eaux souterraines de la nappe du Miopliocène dépassent les normes algériennes (JORA, 2011) par endroit. On remarque dans la carte deux zones de fortes concentrations en nitrates (> 80 mg- NO_3/L) localisées respectivement, la première au Nord-Est et la deuxième au Sud-Ouest. Cette pollution peut être expliquée d'une part par l'utilisation massive des engrais chimiques dans ces zones et d'autre part par l'accumulation des nitrates dans les eaux souterraines, suivant le sens d'écoulement qui est du Nord-Ouest vers le Sud-Est (Sedrati, 2011), dont les engrais les plus utilisés dans la région sont représentés dans le tableau (02).

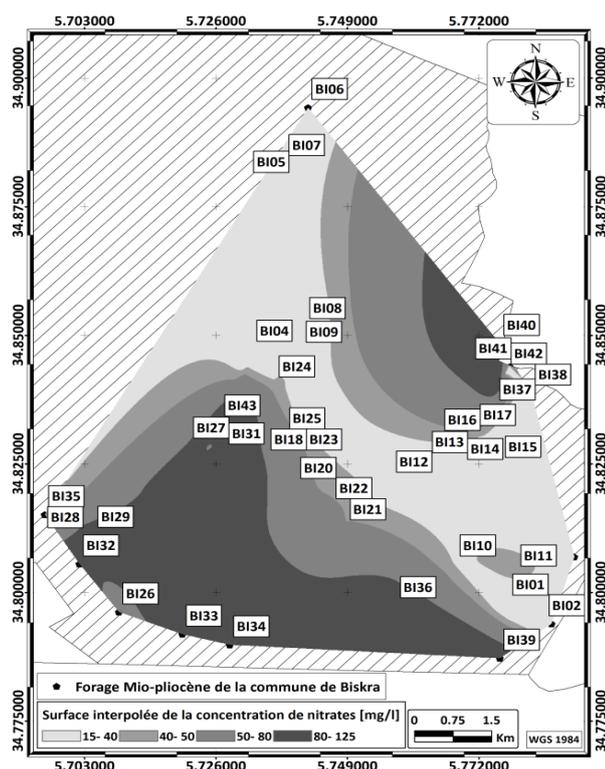


Figure 03 : Carte des nitrates de la région de Biskra

Tableau 02: Les produits phytosanitaires et les engrais les plus utilisés dans la région de Biskra (Aissaoui, 2012)

Type de produit	Nom commercial
Complexe d'oligo-éléments	Tradecorp AZII (WG)
Engrais (NPK, MGO, OE)	Khirsol 13 42 10
Biostimulant	Ruter AA
Engrais potassique	Aquafeed
Engrais borozinc	Borozinc
Fongicide	Curzate R
	Kocide 2000
	Antracol
Mélange d'oligo-éléments	Coda-MIX

En plus, la nappe étudiée est connue par sa faible profondeur (58 à 167 mètres), le fait qui pourrait favoriser la contamination des eaux souterraines par les nitrates à partir des eaux usées urbaines ou par utilisation des engrais azotés. La même hypothèse de la faible piézométrie est évoquée également par d'autres études (Drouiche et al, 2011 ; Sedrati, 2011). Au contraire, dans le centre-ville de Biskra, les teneurs en nitrates enregistrées ne dépassent pas le 40 mg/L, elles sont inférieures à la norme de l'OMS (50 mg-NO₃/L), car le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe. Notons que, les forages d'eaux dans cette zone sont implantés à proximité des oasis où la fertilisation chimique n'est pas toujours pratiquée.

Selon le système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau, 2003), la distribution de 43 forages d'eau de la nappe du Mio-pliocène en classes de concentrations en nitrates est présentée dans le tableau (03). Cette classification montre que la qualité globale de l'eau est moyenne en raison de la majorité des teneurs en nitrates (51 %) qui oscillaient entre 25 et 50 mg/L.

Tableau 03: Distribution de forages en fonction de la concentration en nitrates des eaux souterraines durant la période Janvier à Mars 2015

Classe de qualité	[NO ₃]	N°	P(%)
Excellente	>5	0	0
Bonne	5-25	4	9
Moyenne	25-50	22	51
Mauvaise	50-100	8	19
Très mauvaise	>100	9	21

▶[NO₃] : Concentration de nitrates en mg/L,
 ▶N° : Nombre d'échantillons,
 ▶P(%) : Pourcentage d'échantillon.

4.2 Facies chimique des eaux analysées selon le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global. La figure (04) montre que les eaux de la nappe du Mio-pliocène de la commune de Biskra présentent deux familles dominantes qui sont :

- ✓ Chlorurée sodique (88 %),
- ✓ Chlorurée calcique et magnésienne (12 %).

4.3 Aptitude de l'eau à l'irrigation

Les eaux d'irrigation quelles que soient leurs origines contiennent des éléments chimiques susceptibles de réduire les rendements des cultures et de détériorer la fertilité des sols. De ce fait, une classification des eaux d'irrigation proposée par Riverside permet de classer les eaux prélevées en fonction de la combinaison des valeurs de la conductivité électrique à 25°C et celles du rapport d'absorption du sodium (SAR). Le SAR est calculé par la

$$\text{formule suivante : } \text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/L.

La représentation graphique (Figure 05) des échantillons montre que les eaux de forages présentent un risque de salinisation élevée et un pouvoir alcalinisant plutôt modéré.

Ainsi, l'utilisation de ces eaux nécessitera certaines précautions tel qu'un bon drainage des sols, notamment si les sols présentent une texture fine.

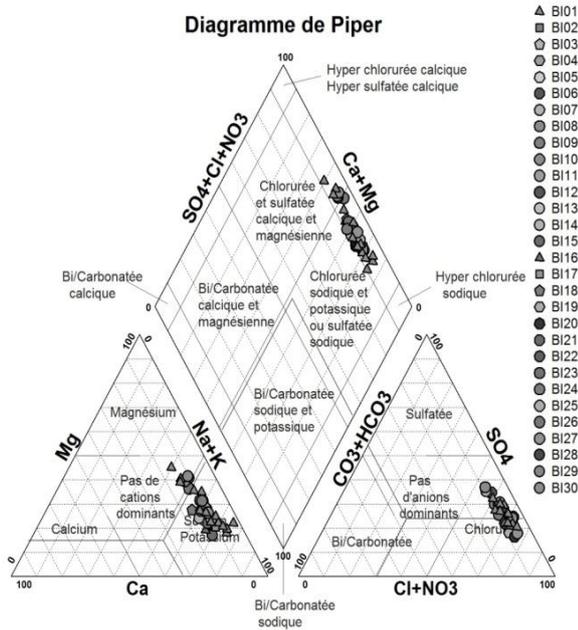


Figure 04: Diagramme de Piper pour les eaux de la nappe du Miopliocène de la commune de Biskra

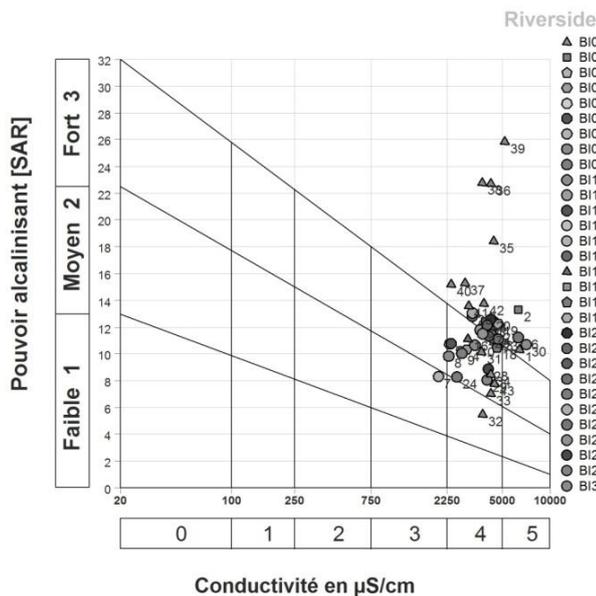


Figure 05: Diagramme de Riverside pour les eaux de la nappe du Miopliocène de la commune de Biskra

5. CONCLUSION

Dans ce travail nous avons effectué des analyses physico-chimiques concernant les eaux de la nappe du Miopliocène de la commune de Biskra. D'après les résultats obtenus nous pouvons conclure que :

- La forte conductivité électrique enregistrée dans cette zone est liée à une forte minéralisation traduisant une salinité élevée,
- Pour la majorité des eaux prélevées, le faciès le plus dominant dans la région est chloruré sodique,
- Les eaux analysées ont des teneurs supérieures aux normes algériennes pour les ions dominants (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ et Mg^{++}). Ces eaux sont très dures.
- La nappe superficielle du Miopliocène présente des eaux de qualité moyenne à mauvaise pour l'AEP et une qualité moyenne pour l'irrigation,
- Concernant les paramètres de pollution, il a été noté un excès de la teneur en nitrates dans la quasi-totalité des forages analysés. La carte tracée des nitrates indique que les teneurs les plus élevées ont été observées dans les sites agricoles de la commune de Biskra.

RÉFÉRENCES

- [1] AISSAOUI H. 2012. Effet des produits phytosanitaires et les engrais, sur l'abondance des métaux lourds (Cu, Zn) dans le sol et le végétal dans la région de Biskra. Magister en sciences agronomiques. Université Biskra, Algérie.
- [2] BLIFFERT C., PERRAUD R. 1997. Chimie de l'environnement, De Boeck Université, Paris. Boeglin J.C., Techniques de l'ingénieur, J 3940, Paris, France.
- [3] BOUDJADJA A., MESSAHEL M., PAUC H. 2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord. Revue des sciences de l'eau, Québec, Canada, Vol.16, N°3, 285-304.
- [4] BREMOND R., PERREDON C. 1979. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, 259 p, France.
- [5] BREMOND R., VUICHARD R. 1973. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. SPEPE, Paris, 179 p, France.
- [6] DPATB. (Direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la wilaya de Biskra) 2015. Développement de la population de la wilaya de Biskra.
- [7] DROUCHE A., REZEG A., BOUGHERIRA N., HAMZAOUI W., DJABRI L. 2011. Mise en évidence d'une pollution des eaux par les nitrates au niveau de la nappe du Miopliocène d'El-Ghrous (Biskra), 1^{er} séminaire international d'étude sur l'agriculture biologique et développement durable. Les 13 et 14 Février, Oran, Algérie.
- [8] DUBOST D., LARBI-YOUCHEF Y. 1998. Mutations agricoles dans les oasis algériennes : l'exemple des Ziban, Sécheresse, L'Agence universitaire de la Francophonie, France. Vol.9, N°2, 103-110.
- [9] EL-BLIDI S., FEKHAOUI M. 2003. Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou

- (Gharb, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Maroc, Vol.25, 57-65.
- [10] FERAY C. 2000. Nitrification en sédiment d'eau douce: incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes. Thèse de doctorat, sciences naturelles, Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon, Lyon, France, 204 p.
- [11] HADI A. 2016. Géostatistique et SIG pour la modélisation spatialisée de la pollution nitratée dans la plaine du Haut-Chéouli. Thèse de Doctorat en sciences hydrauliques. Université Hassiba Ben Bouali, Chleff, Algérie.
- [12] HEM J, D. 1989. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Third Edition, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 254, Washington, D.C. America, 100-104.
- [13] JORA ; Journal Officiel de la République Algérienne. 2011. La qualité de l'eau de consommation humaine. Décret exécutif N°11-125 du 17 Rabie Ethani 1432. Imprimerie Officielle. Les Vergers : Bir-Mourad Raïs. Alger. Algérie.
- [14] KHOLTEI S., BOUZIDI A., BONIN M., FEKHAOU M., ANANE R., SBAI K., CREPPY E. 2003. Contamination des eaux souterraines de la plaine de Berrechid dans la région de la Chaouia au Maroc par les métaux lourds dans les eaux usées : effets de la pluviométrie. Vecteur Environnement, Québec, Canada, Vol.36, N°5, 68-80.
- [15] LEVINE S.N., SCHINDLER D.W. 1989. Phosphorus, nitrogen, and carbon dynamics of Experimental Lake 303 during recovery from eutrophication. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Canada, Vol.46, 2-10.
- [16] N'DIAYE A, N., KHADIJETTOUMINT M, S., MOHAMED OULDSID' AHMED O, K. 2013. Contribution à l'étude de l'évolution spatio-temporelle de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve, Sénégal. LARHYSS Journal, Biskra, Algérie, N°12, 71-83.
- [17] OMS. 2008. Nitrate and nitrite in drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, Geneva, Suisse.
- [18] QUENEAU P., HUBERT J. 2009. Place des eaux minérales dans l'alimentation. Rapport de l'académie nationale de médecine. Société française de l'hydrologie et climatologie médicale. France, 175-220.
- [19] REJSEK F. 2002. Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques, Collection biologie technique, Série Sciences et techniques de l'environnement. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, France.
- [20] RODIER J., LEGUBE B., MERLET N & COLL. 2009. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9^{ème} édition (Entièrement mise à jour), Ed. Dunod, Paris, France.
- [21] SAIDI A., MONCEF H., HEDI D., ABDESSATAR H., WAEL L., KHALED H. 2010. Bilans d'eau et des sels dans le périmètre irrigué de Kalaât Landalous, Tunisie. Sécheresse, Vol.21, N°1, 1-5.
- [22] SCHOELLER H. 1962. Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. 187 fig. Paris, France 642 p.
- [23] SEDRATI N. 2011. Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra Sud-Est algérien. Thèse de doctorat en hydrogéologie. Université Annaba, Algérie.
- [24] SEQ-EAU. 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau), Grilles d'évaluation version 2. Maroc.