

Impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf (Nord Est Algérien)

Impact of agricultural pollution on the quality of groundwater in the Guelma-Boucheouf irrigated area (Northeastern Algeria)

Mounira Touati^{*1}, Moussa Benhamza¹ & Fatma Bouhafis²

¹Département de Géologie, Université Badji Mokhtar Annaba,
Laboratoire de Géodynamique et Ressources Naturelles (LGRN) BP12. 23000 - Annaba, Algérie

²Laboratoire des Recherches Géologiques (LRG), Université Badji Mokhtar Annaba
BP12. 23000 - Annaba, Algérie

Soumis le : 14/01/2018

Révisé le : 22 /05/2018

Accepté le : 04 /06/2018

الملخص:

يهدف تقييم نوعية المياه الجوفية على مستوى المحيط المسقي قالمه-بوشقوف تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية وعضوية خلال شهر نوفمبر 2017، وذلك باقتطاع عينات من 14 بئر. من خلال نتائج التحاليل الكيميائية تبين أن مياه هذه المنطقة ذات طبيعة كيميائية : كبريتات كلوريد الكالسيوم و كبريتات كلوريد الصوديوم. النوعية المعدنية للمياه الجوفية على مستوى منطقة الدراسة بينت أن نسبة Ca^{2+} و Cl^- و SO_4^{2-} مرتفعة بينما نسبة Na^+ و Mg^{2+} في هذه المياه كانت متوسطة مما جعلها تحتوي على نسبة عالية من المعادن وهذا ما أكدته النتائج المرتفعة للناقلية. نتائج NH_4^+ و NO_3^- بينت أن نسبة التلوث بهذه المواد مرتفعة على مستوى كامل المنطقة التي تمت فيها الدراسة. نسبة الفوسفات بينت نسبة تلوث عالية، حيث كانت نتائج التحاليل مرتفعة جدا وتجاوزت المعايير المسموح بها.

الكلمات المفتاحية: المعايير - التلوث - المحيط المسقي - المياه الجوفية - التحاليل الفيزيوكيميائية

Résumé:

Dans le but d'évaluer la qualité des eaux souterraines dans la zone du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf, des analyses physico-chimiques et organiques ont été réalisées durant la période des basses eaux en Novembre 2017, au niveau de quatorze puits dans la zone d'étude.

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a révélé que les eaux de la zone d'étude appartiennent à deux faciès chimiques dominants le sulfaté-chloruré-calcique et le Sulfaté-chloruré-sodique.

La qualité minérale des eaux souterraines de la région d'étude montre que le Ca^{2+} , les Cl^- et les SO_4^{2-} présentent une pollution notable à importante, le Na^+ et le Mg^{2+} présentent une pollution modérée à notable, représentant une minéralisation des eaux importante, en étroite corrélation avec les conductivités électriques très élevées. Les NO_3^- et le NH_4^+ présentent une pollution notable à importante dans les eaux souterraines de la zone d'étude. Les phosphates représentent une pollution importante, avec des valeurs excessives dépassant de loin la norme admissible.

Mots clés : Périmètre irrigué -Eaux souterraines - Paramètres physico-chimiques -Normes -Pollution.

Abstract:

In order to assess the quality of groundwater in the Guelma-Boucheouf irrigated area, physico-chemical and organic analyzes were carried out during the low water period in November 2017 in, at fourteen wells, in the area study.

The interpretation of the results of the chemical analyzes revealed that, the waters of the study area belong to two dominant chemical facies: sulphated-chlorinated-calcium and Sulfated-chlorinated-sodium.

The mineral quality of the groundwater in the study area shows that Ca^{2+} , Cl^- and SO_4^{2-} indicate notable to significant pollution, Na^+ and Mg^{2+} indicate moderate to notable pollution, thus representing a significant mineralization of the water, closely correlated with very high electric conductivities.

NO_3^- and NH_4^+ show notable to significant pollution in the groundwater of the study area.

Phosphates represent a significant pollution, with excessive values far exceeding the allowable standard.

Keywords: irrigated perimeter - Groundwater - Physico-chemical parameters - Standards - Pollution.

* Auteur Correspondant: touati.mounira24@gmail.com

1. INTRODUCTION

Le périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf est situé dans le Nord-est du pays, il s'étend sur environ 80 Km, de la confluence de l'oued Bouhamdane et de l'oued Cherf (wilaya de Guelma) qui donnent naissance à l'oued Seybouse, jusqu'au Nord de la commune de Dréan (wilaya d'El Taref). (Fig. 1)

Étalé sur les deux rives de l'Oued Seybouse, le périmètre irrigué de Guelma Bouchegouf est divisé en cinq secteurs de distribution autonomes, caractérisés par un plan d'aménagement et de desserte en eau totalement indépendant l'un de l'autre, ce qui leur donne un cadre spatial particulier.

Il a été mis en service en 1996, avec une superficie totale irrigable de 9250 ha.[1]

Il est alimenté par le barrage de Bouhamdane et l'Oued Seybouse qui draine toutes les eaux usées qui augmentent sa charge polluante.

La zone d'étude connaît une intensification des pratiques agricoles, qui a un effet positif sur les rendements agricoles [1], mais l'utilisation intensive des pesticides va dégrader la qualité des eaux et des sols. [2]

La présente étude concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique et organique des eaux souterraines dans le périmètre irrigué. Une campagne d'échantillonnage a été entreprise en Novembre 2017, dans les cinq secteurs du périmètre irrigué Guelma-Bouchegouf.

Le présent travail vient compléter et apporter des éléments nouveaux aux travaux antérieurs et se base sur les différentes techniques d'interprétation des résultats des analyses chimiques pour la caractérisation du type de pollution caractérisant les eaux souterraines.

2. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

La wilaya de Guelma se situe au Nord-est du pays, elle est limitée par la wilaya d'Annaba au Nord, El Taref au Nord Est, Skikda au Nord-Ouest, Souk Ahras et Oum El-Bouaghi au Sud Est et enfin Constantine à l'Ouest. (Fig. 1)

Le périmètre d'irrigation Guelma-Bouchegouf, s'étend sur 80 Km environ de la confluence de l'Oued Bouhamdane et de l'Oued Cherf qui donne naissance à l'Oued Seybouse à partir de la plaine de Guelma jusqu'à la plaine de Bouchegouf, avec une superficie totale irrigable de 9250 ha. [3], [4]

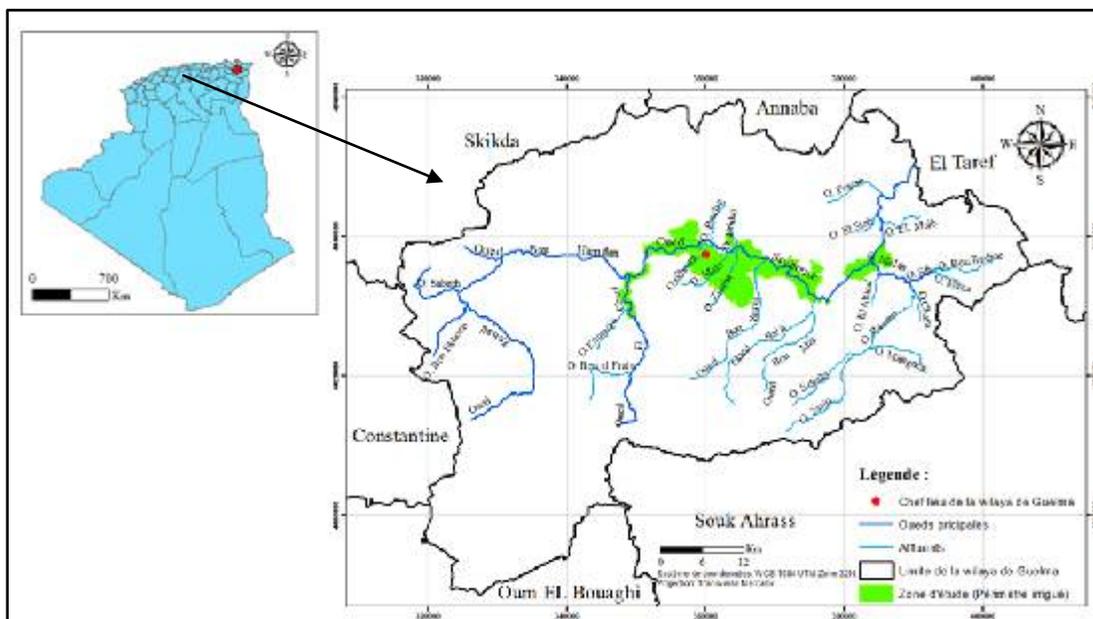


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

3. MATERIEL ET METHODES

Afin d'estimer la qualité des eaux souterraines de la région d'étude, quinze (15) points de prélèvements ont été choisis selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude. Les modes d'échantillonnage et de prélèvement ont été réalisés selon les recommandations préconisées. [4]

Les quinze points de prélèvements (14 puits situés en milieu rural et un point au niveau de l'Oued Cherf) ont été choisis de manière à couvrir les cinq secteurs du périmètre et en tenant compte qu'ils soient le plus possible proche de l'oued Seybouse. Les points de prélèvements ont été localisés par leurs coordonnées UTM déterminées par GPS. (Fig. 2)

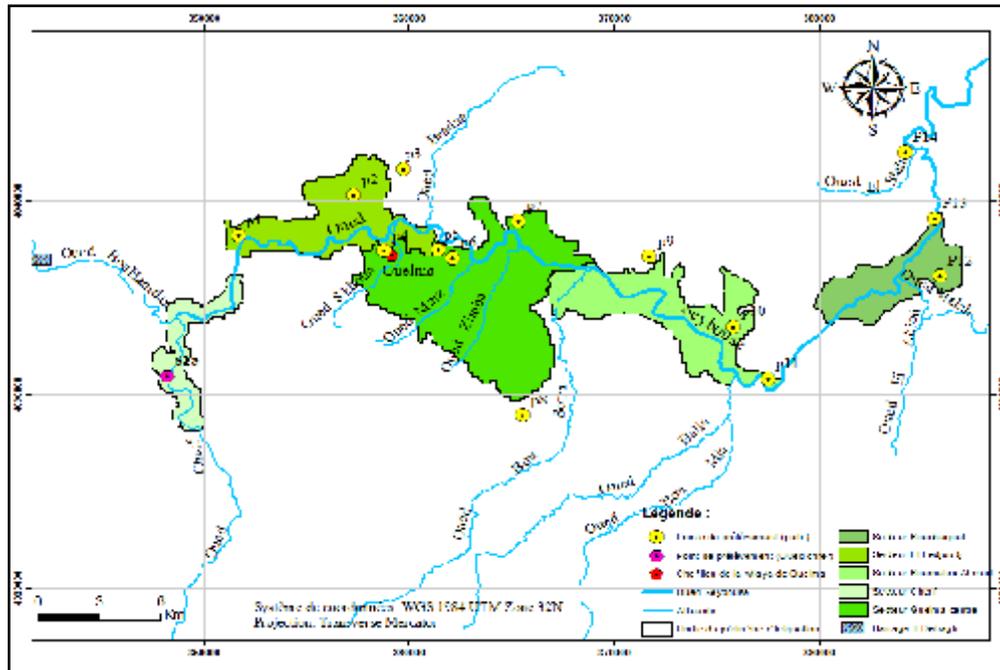


Figure 2 : Carte de situation des points de prélèvements

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire Horizon, Annaba en novembre 2017.

Les paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité électrique, oxygène dissous) ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi-paramètre modèle HORIBA. Les éléments majeurs (cations et anions) ont été effectués par Titrimétrie NFT 90-005, les nitrates, nitrites, ammonium, et le phosphate ont été dosés par spectrophotométrie DIN 38405-D9-2. [5]

Les points de prélèvements sont désignés comme suit :

P1, P2 et P3 : Secteur El Fedjoudj, P4, P5, P6, P7 et P8 : Secteur Guelma centre

P9, P10 et P11 : Secteur Boumahra Ahmed, P12, P13 et P14 : Secteur Bouchegouf,

S15: Secteur Cherf (Oued Cherf).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Identification des faciès chimiques des eaux selon le diagramme de Piper

Après vérification de la balance ionique qui a été satisfaisante (< 5%), les résultats des analyses chimiques ont été reportés sur le diagramme de Piper, qui montre que les faciès chimiques sont le sulfaté- chloruré - calcique et le Sulfaté -Calcique avec une légère tendance de migration vers le pôle chloruré- sulfaté - sodique (Fig. 3) [5], [6].

La prédominance des sulfates dans les eaux de la région s'explique géologiquement par l'existence dans le bassin de Guelma des dépôts évaporitiques, représentées essentiellement par du sel gemme et du gypse. [7].

En plus de l'origine naturelle géologique, on peut citer l'origine anthropique due à l'utilisation des engrais chimiques dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf [8], [9] et [10].

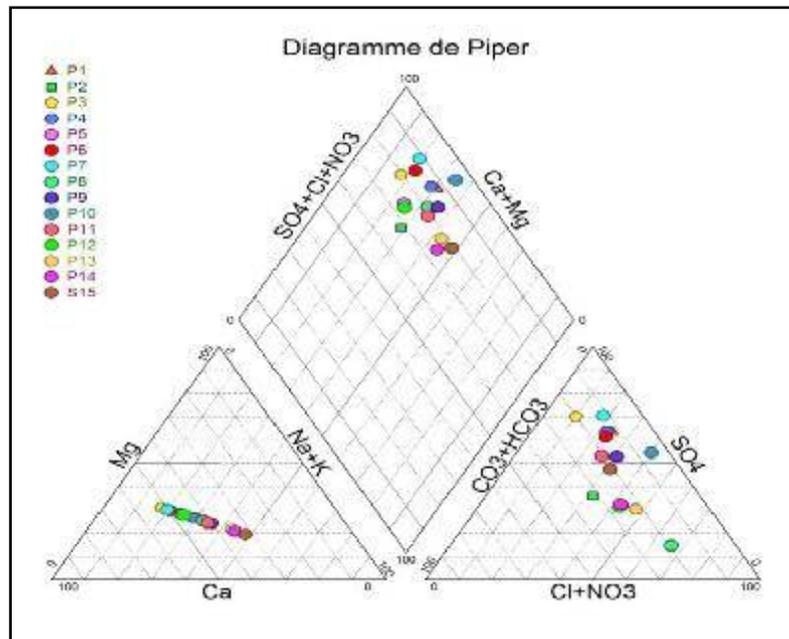


Figure 3 : Représentation graphique (diagramme de Piper)

4.2 Evolution des paramètres physico-chimiques

4.2.1. Température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques [4]. Dans la zone d'étude, la température varie entre 19.79 °C (P9) et 25 °C (P1) avec une moyenne de 21.94 °C (Fig. 4).

4.2.2. Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité, il est généralement compris entre 6,6 à 7,8. La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle provoquant des variations importantes du pH.

Les résultats des analyses des eaux de la région ont montré que le pH est proche de l'alcalinité dans la majorité des points analysés et varie entre 7,3 (P6) à 8,47 (P11), avec une moyenne de 8.08. (Fig. 5)

4.2.3. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution [11], [12].

Les valeurs des conductivités mesurées présentent des variations importantes par rapport aux normes préconisées par l'OMS, pour les eaux de boisson (1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$). [13]

Les valeurs varient de 1360 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P3) à 4610 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (P10).

Ces valeurs importantes seraient dues aux sels dissous d'une part et au lessivage des fertilisants par les eaux d'irrigation d'autre part. La zone d'étude étant un périmètre irrigué à activité agricole intense (Fig.6).

4.2.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre qui renseigne sur l'état de l'eau, il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique. En général les valeurs faibles favorisent le développement des germes pathogènes.

Les résultats des analyses de l'O₂ dissous dans la zone d'étude montrent que la valeur maximale est observée au niveau de P14 (9.05 mg/l), alors que la valeur minimale s'observe au niveau du puits (P5) avec 6 mg/l (Fig. 7).

Ces valeurs indiquent que vis-à-vis de ce paramètre, les valeurs sont dans les normes et il y'a une absence de pollution significative. [13]

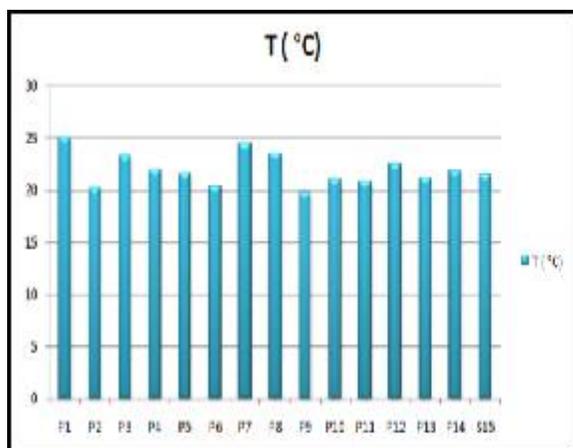


Figure. 4 : Variation de la température

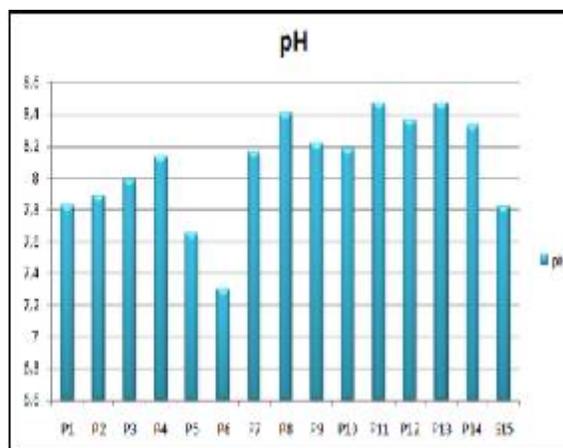


Figure. 5 : Variation du pH

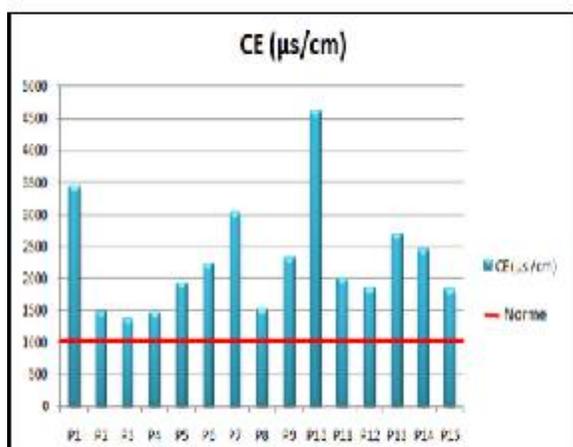


Figure. 6 : Variation de la Conductivité électrique

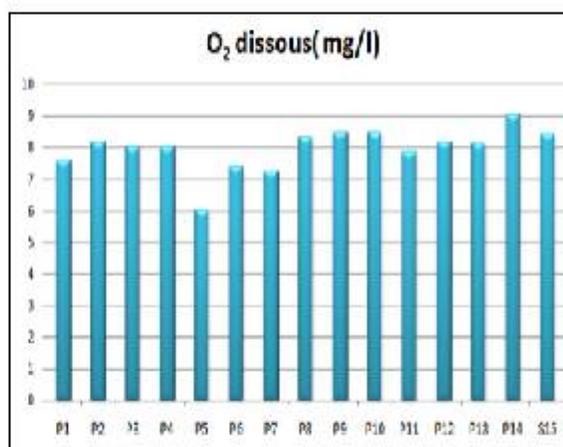


Figure. 7 : Variation des valeurs de l'Oxygène dissous

4.2.5. Les Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. Leur présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques [14].

Les points d'échantillonnage font partie du périmètre d'irrigation Guelma-Boucheouf, où la production de céréales, maraichages, maïs, etc..., utilise les fertilisants et les produits phytosanitaires.

L'histogramme des concentrations en nitrates montre une variation des valeurs, qui oscillent entre 25 mg/l (P 3) et 147 mg/l (P 14), avec une moyenne de 55.46 mg/l. (Fig. 8)

Les valeurs élevées en nitrate et qui dépassent la norme admissible par l'OMS (50 mg/l) se localisent au niveau des puits P4, P6, P12, P13, et P14 situés dans les secteurs du périmètre de Guelma centre et celui de Boucheouf.

Les activités agricoles étant annuelles, le recours aux engrais organiques pour l'amélioration des récoltes et l'irrigation par aspersion durant la période des basses eaux favorisent le transit des nitrates vers les eaux souterraines. Les points situés dans le secteur de Boucheouf du périmètre irrigué montrent des valeurs excessives en nitrates, dépassant de loin les normes admissibles. [13]

4.2.6. Les Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites représentent une forme moins oxygénée et moins stable dans le cycle de l'azote, ils représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique ayant pour origine l'agriculture où les rejets urbains et industriels.

Les valeurs en nitrites varient de 0,02 mg/l (P4, P11, et P12) à 1.14 mg/l (S15). La norme admissible selon l'OMS est fixée à 0,1mg/l. (Fig. 9)

Les valeurs maximales en nitrites se localisent dans P5 (0.9 mg/l) et S15 (0.14 mg/l), situés respectivement dans le secteur du périmètre de Guelma centre et le point dans l'oued Cherf.

La concentration des NO_2^- dans le puits (P5), témoigne de la contamination de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma.

4.2.7. L'ammonium (NH_4^+)

C'est la forme de l'azote la plus toxique. La valeur maximale de 4.38 mg/l s'observe au niveau du puits (P5) et la valeur minimale de 0.25 mg/l au puits (P4). La moyenne est de 0.9 mg/l. (Fig. 10)

Les puits présentant des valeurs dépassant la norme admissible fixée par l'OMS à 0.5 mg/l sont : P1, P5, P6, P12, et S15.

Ces puits sont situés respectivement dans les secteurs Guelma centre et Boucheouf du périmètre et le point situé dans l'oued Cherf.

4.2.8. Phosphates (PO_4^{3-})

L'origine des phosphates dans les eaux serait liée aux rejets urbains ou à la dissolution des engrais chimiques (NPK), ce qui est le cas pour la zone d'étude.

Les valeurs en phosphates dans tous les points de la zone d'étude sont supérieures à la valeur maximale admissible (0,5 mg/l) fixée par l'OMS.

Les valeurs en phosphates varient de 7.9 mg/l (P8) à 19.3 mg/l (P14). (Fig. 11)

Les valeurs excessives en phosphates indiquent une pollution engendrée par les pratiques agricoles dans le périmètre irrigué, suite à l'utilisation des phosphates sous forme d'engrais chimiques ou de pesticides. La valeur maximale s'observe dans le secteur de Boucheouf.

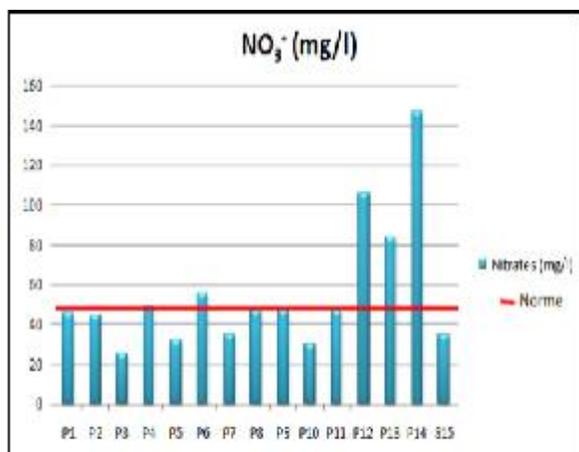


Figure. 8 : Variation des concentrations en Nitrates dans les eaux de la zone d'étude

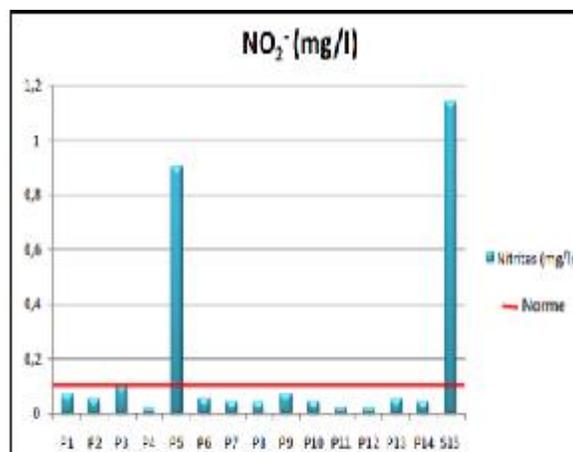


Figure. 9 : Variation des concentrations en Nitrites dans les eaux de la zone d'étude

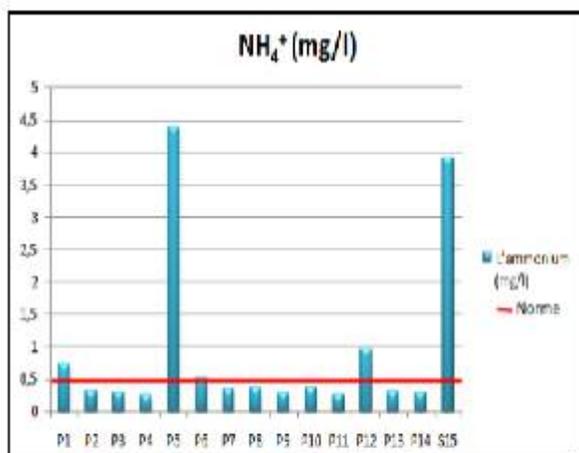


Figure. 10 : Variation des concentrations en Ammonium dans les eaux de la zone d'étude

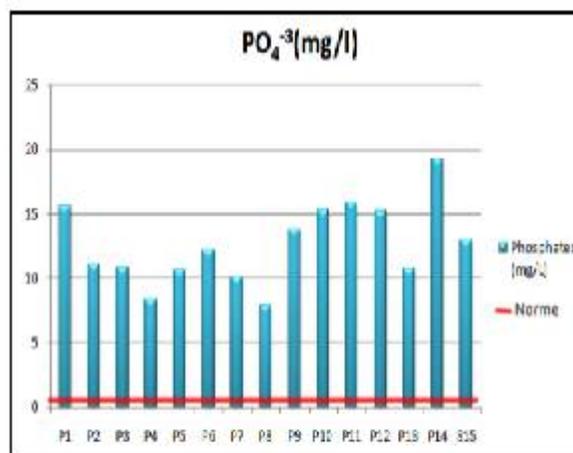


Figure. 11 : Variation des concentrations en Phosphates dans les eaux de la zone d'étude

4.3. Classification et interprétation de la qualité des eaux

La cartographie de la qualité générale de l'eau est définie selon quatre classes de qualité déterminées à partir d'une grille à double entrée (classe de qualité et paramètre mesuré). [15]

Pour l'évaluation de la qualité minérale des eaux, on définit quatre classes de qualité en fonction des valeurs de chacun des paramètres considéré et des normes requises :

Classe I : Eau de bonne qualité, utilisée sans exigence particulière, elle est représentée graphiquement par la couleur bleue.

Classe II : Eau de qualité moyenne, utilisée après un simple traitement, elle est représentée en vert.

Classe III : Eau de mauvaise qualité, ne peut être utilisée qu'après un traitement très poussé. Elle est représentée en jaune.

Classe IV : Pollution excessive, ne peut être utilisée qu'après traitements spécifiques et très onéreux. Elle est représentée en rouge.

Tableau 1 : Grille pour l'évaluation de la qualité minérale des eaux souterraines. (ANRH, 2012)

Qualité Paramètre	Classe I Situation normale	Classe II Pollution modérée	Classe III Pollution notable	Classe IV Pollution importante
Ca ²⁺ (mg/l)	40 – 100	100 – 200 (P2, P4, P8, P11, S15)	200 – 300 (P3, P5, P6, P9, P12, P13, P14)	> 300 (P1, P7, P10)
Mg ²⁺ (mg/l)	≤ 30	30 – 100 (P2, P3, P4, P5, P8, P9, P11, P12, P13, P14, S15)	100 – 150 (P1, P6, P7, P10)	≥ 150
Na ⁺ (mg/l)	10 – 100 (P3)	100 – 200 (P2, P4, P5, P6, P7, P8, P11, P12)	200 – 500 (P1, P9, P10, P13, P14, S15)	> 500
Cl ⁻ (mg/l)	10 – 150 (P3)	150 – 300 (P2, P4, P6, P11)	300 – 500 (P5, P7, P8, P9, P12, P14, S15)	> 500 (P1, P10, P13)
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	50 – 200 (P8)	200 – 300	300 – 400 (P5, P12)	> 400 (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P9, P10, P11, P13, P14, S15)

L'interprétation de la qualité minérale des eaux souterraines de la région d'étude montre que le Ca²⁺, les Cl⁻ et les SO₄²⁻ présentent une pollution notable à importante, le Na⁺ et le Mg²⁺ présentent une pollution modérée à notable. Ces résultats sont en étroite corrélation avec les faciès chimiques dominant le sulfaté-chloruré-calcique et les valeurs excessives des conductivités électriques mesurées, traduisant une minéralisation excessive (Tab. 1).

4.3.1 Pollution vis-à-vis des nitrates, nitrites et de l'ammonium

Tous les points de prélèvements présentent des valeurs excessives en nitrates, présentant ainsi une pollution notable à importante. Tous les secteurs du périmètre irrigué présentent des valeurs dépassant les normes tolérées, surtout dans les secteurs de Guelma centre et Bouchegouf.

Concernant les Nitrites, les points (P5, P3, S15), présentent une pollution notable, dépassant la norme tolérée de (0.1 mg/l).

Vis-à-vis de l'ammonium, 87 % des points de prélèvements présentent une pollution notable et 13 % une pollution importante (Tab. 2).

Tableau 2 : Grille pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines vis-à-vis de l'azote (ANRH)

Formes de l'Azote	Situation normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
NH ₄ ⁺ (mg/l)	≤ 0.01	0.01 - 0.1	0.1 – 3 (P1, P2, P3, P4, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14)	≥ 3 (P5, S15)
NO ₂ ⁻ (mg/l)	≤ 0.01	0.01 - 0.1 (P1, P2, P4, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14,)	0.1 – 3 (P5, P3, S15)	≥ 3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	≤ 10	10 - 20	20 – 40 (P3, P5, P7, P10 S15)	≥ 40 (P1, P2, P4, P6, P8, P9, P11, P12, P13, P14)

4.3.2 Qualité des eaux vis-à-vis des phosphates (PO_4^{3-})

Le tableau 3 illustre la qualité des eaux vis-à-vis du problème des Phosphates (ANRH, 2012).

Tableau 3 : qualité des eaux vis-à-vis du problème des Phosphates (ANRH, 2012).

Forme du Phosphore	Situation Normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
PO_4^{3-} (mg/l)	≤ 0.01	$0.01 - 0.1$	$0.1 - 3$	> 3 (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14 S15)

Concernant les phosphates sous la forme PO_4^{3-} , les eaux de la région d'étude présentent une pollution importante. Tous les points de prélèvements présentent des valeurs excessives (>3 mg/l) et dépassant de loin la norme admissible (Tab. 3).

5. CONCLUSION

Les faciès chimiques dominants sont le sulfaté- chloruré - calcique et le chloruré- sulfaté – sodique, la prédominance des sulfates dans les eaux de la région s'explique par l'origine naturelle géologique avec l'existence dans le bassin de Guelma des dépôts évaporitiques (sel gemme et gypse). Une deuxième origine se rapportant à l'origine anthropique, provenant de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans le périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

La qualité minérale des eaux souterraines de la région d'étude montre que le Ca^{2+} , les Cl^- et les SO_4^{2-} présentent une pollution notable à importante, le Na^+ et le Mg^{2+} présentent une pollution modérée à notable. Ces résultats sont en étroite corrélation avec les faciès chimiques dominant et les valeurs des conductivités électriques très élevées, traduisant une minéralisation excessive des eaux.

Les eaux de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma présentent des valeurs importantes en nitrates et nitrites.

Vis-à-vis de l'ammonium, la majeure partie des points prélevés présentent une pollution notable, à importante.

Concernant les ortho phosphates sous la forme de PO_4^{3-} , les eaux souterraines de la région d'étude présentent une pollution importante, avec le problème de l'eutrophisation envisageable avec des valeurs excessives en phosphates.

6. RECOMMANDATIONS

A l'issu de cette étude, les résultats montrent que la contamination de la nappe alluvionnaire de la région de Guelma, par les nitrates, nitrites et l'ammonium est indéniable.

Les valeurs excessives en phosphates dans la nappe alluvionnaire est le résultat de l'utilisation intensive des engrais chimiques et des pesticides dans les secteurs du périmètre irrigué Guelma-Boucheouf.

Nous recommandons le contrôle de l'utilisation des engrais chimiques, surtout avec le problème de l'eutrophisation, susceptible de se produire, avec les valeurs excessives en phosphates.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Kebieche A., 2007. Gestion rationnelle de l'eau d'irrigation au niveau d'un périmètre irrigué, enjeux et perspectives (Cas du périmètre de Guelma-Boucheouf). Thèse de magister en Sciences agronomiques, Institut national agronomique El-Harrach, Alger. 36p.
- [2] Costa J.L., Massone H., Martinez D., Suero E.E., Vidal C.M., Bedmar F. (2002): Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agriculture Water Management.*, vol. 57, 33–47.
- [3] Aissaoui M., Benhamza M., 2018. State of organic pollution in waters of the Seybouse Wadi, Region of Guelma (Northeast of Algeria). EMCEI: Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration, 839-842.
- [4] Aissaoui M., Benhamza M., 2017. Caractéristiques hydro chimiques des eaux de l'oued Seybouse - Cas de la région de Guelma (Nord est Algérien). *Rev. Sci. Technol., Synthèse.*, vol. 35, 178-186.
- [5] Charlot G. 1978. Dosages Absorptiométriques des éléments minéraux. Masson, Paris New York Barcelone Milan. 443p.
- [6] Rodier J., 1984. Analysis of water; natural water, waste water, sea water, 7eme édition, Ed Dunod, Paris. 1135p.
- [7] Boukhrouf F., 2010. Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma. Mémoire de magistère en géologie, Option : géologie des substances utiles, Université Mentouri, Constantine. 70p.
- [8] Chaoui W., 2007. Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Mellah sur les eaux Souterraine de la nappe alluviale de Boucheouf (Guelma). Mémoire de Magister en Hydrogéologie. Université Badji-Mokhtar Annaba Algérie. 74p.
- [9] Debeiche T.H. (2002): Evolution of Water Quality (Salinity, Nitrogen and Heavy Metals) as a Result of Salt Pollution, Agricultural and Industrial. Application to the Low Plain of Seybouse. [Ph.D. Thesis.] Besancon, University of Franche-Comté. 46p.
- [10] Guettaf M., 2015. Caractéristiques physico chimiques et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : Cas de l'oued Seybouse et ses affluents dans le sous-bassin de Guelma (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat d'état, université de Guelma, Algérie. 79p.
- [11] Kachi N., 2015. Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse. Thèse de doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
- [12] Schoeller H. (1962). Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Evaluation des Ressources, Edition Masson et Cie, Paris. 579 p.
- [13] WHO (2011): Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations. 4th Ed. Geneva, WHO.
- [14] Laraba A., Benhamza M., Khadri S., 2013. Qualité des eaux de l'oued Seybouse, région de Guelma (Nord est Algérien). Le deuxième Séminaire International sur l'Industrie Minérale et l'Environnement (2SIMINE13), Université d'Annaba.
- [15] Nisbet E.G., Verneau O., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes, discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Ann. Limn.*, vol. 6(2), 161-190.