

Etude de la pollution des eaux des oueds Seybouse et Mellah (Région de l'Est Algérien)

Widad Chaoui*¹, Houria Bousnoubra², Moussa Benhamza³ & Tidjani Bouchami⁴

¹ Laboratoire de Recherche en Mécanique des Matériaux et Maintenance Industrielle, (LR3MI), Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre.

² Laboratoire de Géologie, Département d'Hydraulique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur.

³ Laboratoire de Géodynamique et Ressources Naturelles, Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre.

⁴ LR3MI, Département de Génies des Procédés, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Révisé le 24/01/2012

Accepté le 14/11/2012

ملخص

تهدف هذه الدراسة لإرساء برنامج عمل يعتمد على كمية عينات، سطحية وجوفية لتحديد نوعية المياه لدعم قاعدة بيانات تؤرخ للتلوث المائي بالجزائر. نتائج التحليل الكيميائي لمياه المجريين أثبتت أن التركيبة يغطي عليها النوع الكلوري-الكبريتي-الصودي الناتج عن النفايات الصناعية والمنزلية وبالطبع غسل الطبقات الجيولوجية. بيان الامونيوم- نترات يؤكد أن النسبة تقل كلما اتجهنا شمالا ويعزى ذلك لتحول النترات إلى أزوت خلال الفترة من جانفي إلى جوان 2007. تم رصد تراكيز عالية من الفوسفات في واد ملاح مقارنة بواد سييوس مما يؤدي إلى اضمحلال كمية الأوكسجين المنحلة وتقلص الحياة البيولوجية المائية. تغيرات الطلب البيولوجي للأوكسجين المستهلك خلال 5 أيام و الطلب الكيميائي للأوكسجين يتطوران حسب قيم مقبولة في المجريين. أما سبب التركيز العالي من الكلورين (>600 ملغ/ل) في واد ملاح فيعود للنفايات بنوعها وغسل الطبقات الجيولوجية القابلة للذوبان ثم الترسيب. بينت المحاكاة الحسابية أن الامونياك والأوكسجين يوجدان في حالة تحت-التشبع وخاصة في الرافد واد ملاح مما يعزز فرضية التقلص الحاد في كمية الأوكسجين المنحل.

الكلمات المفتاحية: واد سييوس - واد ملاح - نوعية المياه - التلوث - مياه سطحية - بئر - المحاكاة الحسابية.

Résumé

L'objet de cette étude est d'expérimenter un protocole de travail basé sur des prélèvements de surface et de puits de particuliers en vue d'établir la qualité des eaux et d'assoir des bases de données relatives à la pollution hydrique en Algérie. Les résultats des analyses chimiques montrent pour les deux oueds un faciès chimique dominant et caractérisé par le chloruré sulfaté sodique, en relation avec des rejets industriels, domestiques et le lessivage des formations géologiques. L'établissement du diagramme ammonium-nitrate montre que le rapport $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ diminue d'amont en aval et s'explique par la transformation de l'ammonium en azote au cours de la période d'observation s'étalant de janvier à juin 2007. Des teneurs excessives en PO_4^{3-} dans l'oued Mellah ont été observées comparativement à l'oued Seybouse, ce qui conduit à une eutrophisation. Les variations de la DBO_5 et de la DCO évoluent suivant des valeurs acceptables dans les deux oueds. Les teneurs excessives en chlorure (>600 mg/l) dans l'oued Mellah s'expliquent par les rejets domestiques, industriels et au lessivage des formations sédimentaires évaporitiques. La simulation montre que le NH_3 et l'oxygène sont en sous-saturation dans les eaux surtout au niveau de l'oued Mellah témoignant ainsi d'une eutrophisation avancée

Mots clés : Oued Seybouse - Oued Mellah - Qualité des eaux - Pollution, Eau de surface – Puits - simulation

Abstract

The purpose of this study is to test a working protocol based on sampling from surface and belonging to individual wells to establish water quality and to set a database on the extent of water pollution in Algeria. Chemical analysis results indicate that the dominant chemical compounds are characterized by sodium and chloride-sulfate as a result of domestic and industrial discharges, and geological formations leaching. The construction of ammonium-nitrate diagram shows that the ratio $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ decreases from upstream to downstream and is explained by the conversion of ammonium into nitrogen during the observation period ranging from January to June 2007. Excessive levels of PO_4^{3-} in the Mellah river were observed compared to the Seybouse, which leads to eutrophication. Changes in DBO_5 and DCO evolve following acceptable levels in both rivers. Excessive chloride concentrations (>600 mg/l) in the Mellah river may be explained by domestic waste, industrial and evaporitic formations leaching. The simulation shows that NH_3 and oxygen are under-saturation in the water especially in the Mellah river reflecting an advanced eutrophication.

Key words: Seybouse river- Mellah river- Water quality- Pollution- Surface water- Water wells- Simulation.

*Auteur correspondant : widad.chaoui@univ-annaba.org

1. INTRODUCTION

La pollution hydrique est un phénomène courant en Algérie vu l'évolution socio-économique du pays qui compte 17 bassins versants alimentés à la fois par des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et parfois non renouvelables. Aussi, faut-il indiquer que les ressources hydriques sont très changeantes notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des conditions climatiques et surtout de l'exposition aux sources polluantes. En Algérie, une partie des bassins versants est dépendante de la Méditerranée avec un apport moyen annuel estimé à 11 milliards de m³ et une pluviométrie dépassant les 500 mm/an.

Dans le Nord-Est Algérien, l'oued Seybouse traverse les régions de Guelma et d'Annaba pour se déverser dans la mer Méditerranée et participe en tant que source hydrique dans les activités économiques (agriculture, industrie et d'alimentation en eau potable). Quant à l'oued Mellah, un affluent majeur de la Seybouse, irrigue la plaine de Bouchegouf (sud d'Annaba) et longe la région d'étude du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Les deux cours d'eau reçoivent les eaux usées domestiques et industrielles des régions avoisinantes et les eaux d'infiltration des plaines agricoles.

La région est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : l'une humide et l'autre sèche. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 623.9 mm et la température moyenne est de 18.6°C. D'après le bilan de Thornthwaite [1], l'évapotranspiration (ETR) réelle est de l'ordre de 460.2 mm/an représentant 73.75% des précipitations et traduisant une valeur du déficit agricole de 496 mm/an. Le ruissellement est de l'ordre de 80.9 mm/an (13%) alors que l'infiltration (I) est de 82.8 mm/an (13.2%). Les deux derniers paramètres ont été calculés par les relations de Tixeront-Berkaloff [2] et du bilan global. La géologie de la région est représentée par trois formations principales : les dépôts alluvionnaires perméables du Quaternaire ayant une importance capitale pour l'hydrogéologie de la région et les deux formations imperméables ou semi-perméables qui constituent les frontières des réservoirs naturels. Ces formations sont représentées par les grès Numidiens et les formations Triasiques [3]. Les dépôts alluvionnaires constituent des réservoirs d'eau

souterraine qui sont drainés par l'oued Seybouse et l'oued Mellah (Fig.1).

Plusieurs études ont été consacrées à la pollution hydrique dans l'Est Algérien mais qui concernent beaucoup plus la région nord (Annaba). Il en ressort que les eaux des deux principaux oueds (Seybouse et Meboudja, région d'Annaba) sont soumises à une pollution minérale intensifiée par les rejets industriels [4-7]. Dans un autre travail, la surveillance des rejets vers la Meboudja, a montré une pollution inorganique caractérisée par une forte concentration de métaux lourds. Ceci montre clairement que ces régions sont menacées par des pollutions croissantes, de différentes sources et une évaluation précise de ces risques doit être établie pour des raisons de prévention [7] et de suivi de la nature de la pollution.

L'objet de cette étude est de présenter un protocole de travail basé sur des prélèvements de surface et de puits de particuliers en vue d'établir la qualité des eaux et d'asseoir des bases de données relatives à la pollution hydrique en Algérie. Ceci consiste à comparer le chimisme des eaux dans les deux oueds par l'étude du faciès chimique, l'établissement du diagramme Ammonium-Nitrates, la concentration des polluants et le calcul de l'indice de saturation.

2. MATERIELS ET METHODES

Des flacons neufs ont été utilisés pour l'échantillonnage. Ils ont été rincés trois fois avec l'eau à analyser afin qu'ils gardent les mêmes caractéristiques des eaux. Ils ont ensuite été remplis d'eau jusqu'au débordement pour éviter toute éventuelle réaction chimique. Enfin, après bouchage, chacun des flacons a été étiqueté et numéroté soigneusement avec la date, les coordonnées et le numéro d'échantillonnage.

Certains paramètres physico-chimiques ont été déterminés par lecture directe en utilisant les instruments nécessaires. Un multi paramètre (Type : WTW pH/ Cond 340i/SET) a été utilisé pour la mesure du pH, de la conductivité électrique, de la température du milieu et de la salinité. Les analyses chimiques ont été réalisées au niveau du laboratoire de chimie des eaux du département de Génie des Procédés de l'UBM d'Annaba : DCO, DBO₅, Cl⁻, HCO₃⁻. Les analyses de la DBO₅ et de la DCO ont été effectuées respectivement selon les normes

AFNOR F90-10 et T90-101 [8-9].

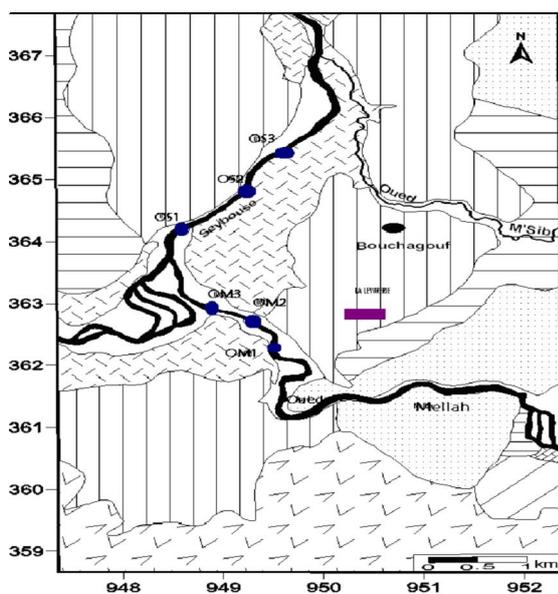
Les autres analyses telles que les concentrations en $[NH_4^+]$, $[NO_3^-]$, $[PO_4^{3-}]$, elles ont été réalisées au niveau du Laboratoire Central de SEATA d'Annaba), suivant les normes admissibles [10].

Les analyses chimiques ont concernés six (06) points de prélèvement. L'erreur de la balance ionique pour les points analysés était inférieure à 10%.

Les points de prélèvements au niveau des deux oueds sont répartis comme suit (Fig.1) :

- Oued Seybouse : OS1, OS2, OS3.
- Oued Mellah : OM1, OM2, OM3.

Les prélèvements ont été effectués durant les périodes de janvier et juin 2007.



Légende

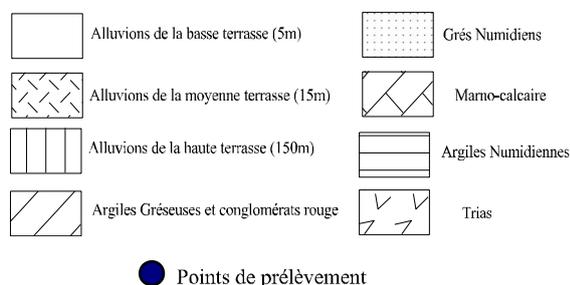


Figure 1. Carte géologique schématique et réseau hydrographique de la zone d'étude.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Faciès chimique

En ce qui concerne le faciès chimique, l'allure générale du diagramme de Piper montre un faciès chloruré-sodique au niveau de l'oued

Seybouse (Fig. 2). Les teneurs en chlorure et sodium ont atteint respectivement 383 mg/l et 278 mg/l. Les valeurs excessives en chlorure sont probablement dues à la forte évaporation des eaux, à la nature argileuse du sol et la probable contamination induite par l'oued Mellah [11].

Pour l'oued Mellah l'interprétation du diagramme de Piper montre un faciès chloruré-sodique dominant avec une teneur en chlorure de l'ordre de 667 mg/l et 800 mg/l pour le Sodium. Il est à noter que les chlorures sont dominants suite à leur provenance géologique, précisément au Trias gypsifère de Nador et à la forte évaporation des eaux.

Le faciès sulfaté-sodique observé au niveau des points OS₃ et OM₁ a pour origine les formations géologiques caractérisant le terrain d'étude.

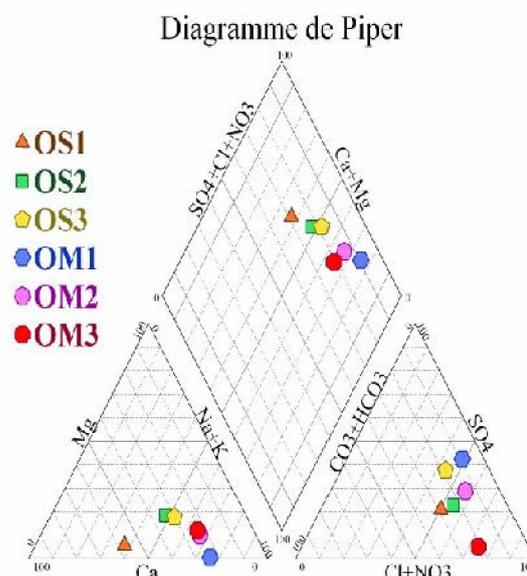


Figure 2. Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de Piper (Janvier 2007).

3.2 Diagramme ammonium-nitrates

L'établissement du diagramme Ammonium-Nitrates permet de donner une explication sur la variation des concentrations de l'ammonium et des nitrates et leurs origines dans les eaux pendant deux périodes [12]. Le schéma retraçant les différentes formes de pollution suivant l'orientation des axes dans le diagramme Ammonium-Nitrates est présentée dans la figure 3.

D'après le diagramme Ammonium-Nitrates (Fig. 4) l'ammonium diminue de janvier à juin au niveau des points : OM₁, OM₂, OM₃ et OS₁, cette diminution est en fonction de la transformation de l'ammonium en azote.

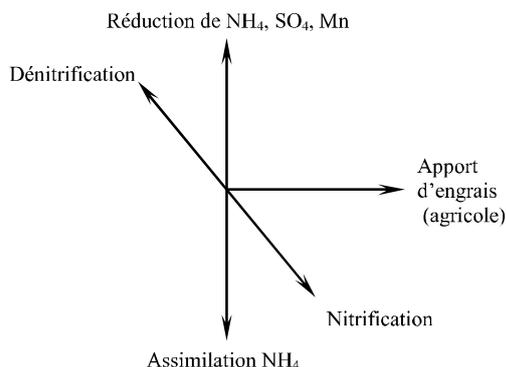


Figure 3. Schéma des différentes formes de pollution suivant l'orientation dans le diagramme Ammonium-Nitrates.

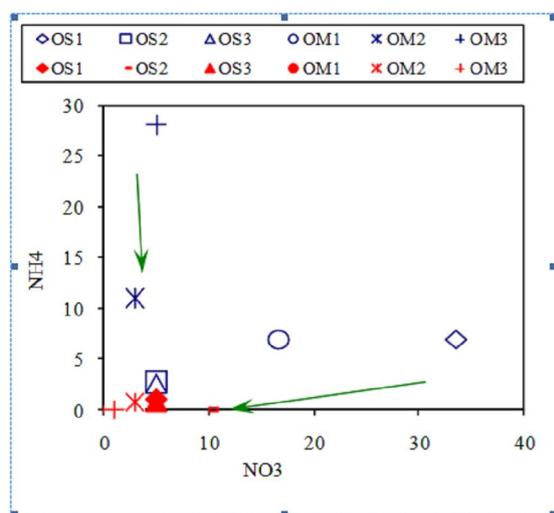


Figure 4. Diagramme Ammonium-Nitrates (eaux superficielles). En bleu, haut : période de janvier 2007; En rouge, bas : période de Juin 2007.

3.3 Evolution des polluants

Les figures 5 et 6 indiquent la variation des concentrations des polluants pendant le mois de janvier 2007. Les concentrations en matières organiques biodégradables dans les eaux sont relativement faibles. Elles oscillent entre 0 et 0.6 mg/l pour la DBO₅ et 1.97 et 9.85 mg/l pour la DCO (Fig. 5).

Les faibles quantités de NH₄⁺ (< 8 mg/l) indiquant un milieu assez oxydé. La présence de NH₄⁺ est due à la diminution des nitrates

(NO₃⁻ < 50 mg/l) pour se transformer en nitrites (NO₂⁻ < 0.1mg/l) et enfin, la réduction qui donne NH₄⁺ pour boucler le cycle de l'azote. La dénitrification est probablement due à la consommation de l'oxygène dissous par les micro-organismes présents dans les oueds [13].

Les teneurs en oxygène (déduits de DBO₅ et DCO) et en ions NH₄⁺, NO₃⁻ et NO₂⁻ sont le résultat des apports d'engrais et des rejets domestiques ou industriels. Les fortes teneurs en chlorures (Cl⁻ > 650 mg/l) et en minéralisation (TDS > 2500 mg/l) (Fig. 6) expliquent l'influence de l'oued Mellah, en tant qu'effluent salé traversant la formation triasique, sur l'eau la Seybouse.

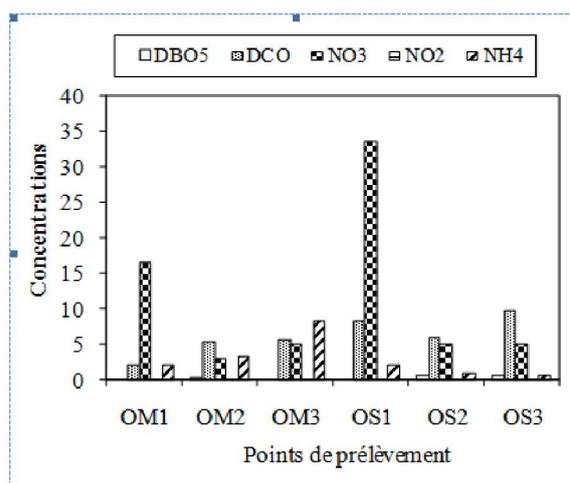


Figure 5. Variation des concentrations en NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ DBO₅, DCO dans les oueds Seybouse et Mellah (2007).

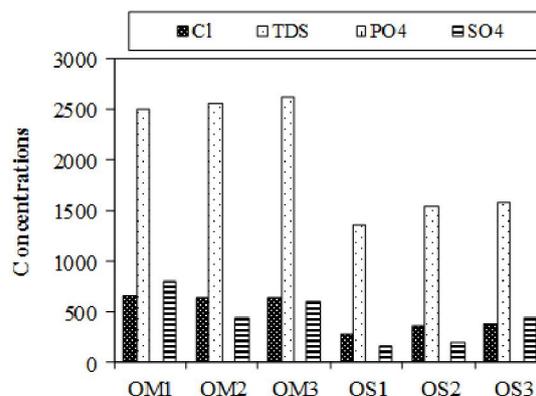


Figure 6. Variation des Cl⁻, TDS, PO₄³⁻ et SO₄²⁻ dans les oueds Seybouse et Mellah (2007).

Enfin, les faibles concentrations en NO₃⁻, NO₂⁻ et les concentrations plus ou moins élevées pour PO₄³⁻ (< 8 mg/l) indiquent une eutrophisation des deux oueds.

3.4 Indice de saturation

Dans le but d'apprécier la saturation des eaux vis-à-vis des minéraux [14], le calcul de l'indice de saturation montre que l'Anhydrite et le Gypse sont en sur-saturation ($IS > 0$). Par conséquent, ceci provoque la sédimentation de ces éléments en séries évaporitiques.

La Halite est en sous-saturation ($IS < 0$) ce qui entraîne sa dissolution et l'enrichissement des eaux en sodium et en chlorures (Fig.7)

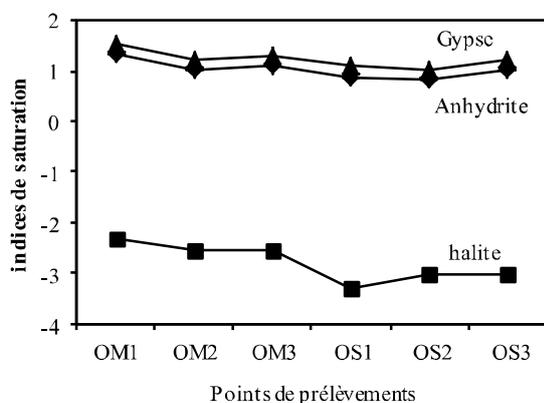


Figure 7. Variation des éléments évaporitiques dans les eaux des oueds Seybouse et Mellah d'amont en aval (2007).

La Calcite, l'Aragonite et la Dolomie sont en sur-saturation ($IS > 0$), entraînant ainsi une sédimentation des éléments carbonatés et surtout sous la forme de Dolomie ($IS > 5$) (Fig. 8).

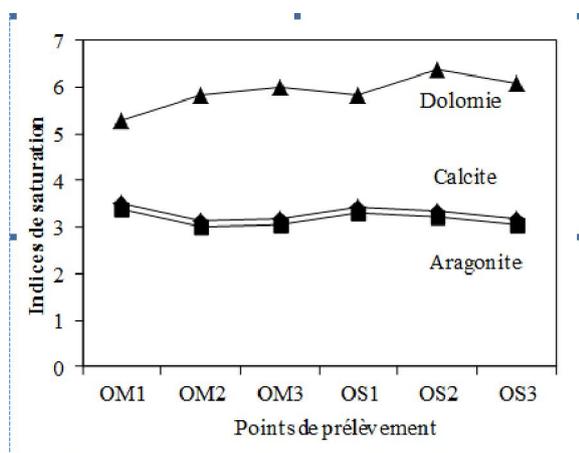


Figure 8. Variation des éléments carbonatés dans les eaux des oueds Seybouse et Mellah d'amont en aval (2007).

La simulation par le logiciel thermodynamique « Phreeq C » montre que le NH_3 et l'oxygène sont en sous-saturation ($IS < 0$) dans les eaux surtout au niveau de l'oued Mellah témoignant

ainsi d'une eutrophisation avancée car ($IS < -30$ pour O_2) comme illustré dans la figure 9.

Cette étude a montré que le protocole mis au point pour établir le niveau de pollution dans une zone témoin est acceptable pour déduire des conclusions sur l'évolution de la pollution inorganique des eaux de surface ou souterraines d'une région donnée.

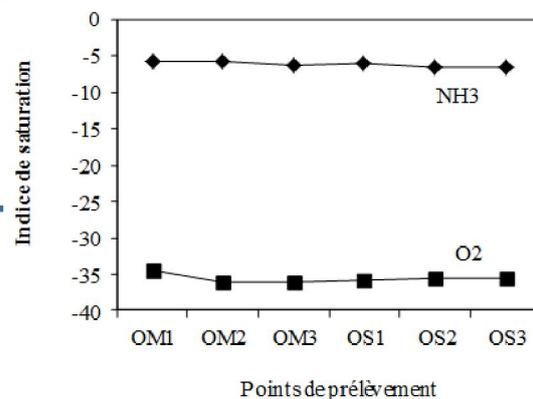


Figure 9. Variation de NH_3 et O_2 dans les eaux des oueds Seybouse et Mellah d'amont en aval (2007).

La compilation des données obtenues dans les différentes études est en mesure d'orienter les décisions futures afin de tracer une carte de la pollution avec la nature des polluants et leurs concentrations pour une période donnée. Ce type de compilation permet de comparer et valider les résultats des différentes études et sera aussi la base de travail pour tout acte de prospection.

4. CONCLUSION

1. Les niveaux de pollution des eaux des oueds Seybouse et Mellah tendent vers un état alarmant surtout avec la poursuite du déversement de rejets et l'utilisation excessive d'engrais en agriculture. Cette situation est encore aggravée par la nature gypsifère de la partie sud de la zone d'étude.
2. Le faciès chimique dominant pour les eaux des oueds Seybouse et Mellah est le chloruré sodique.
3. Le diagramme Ammonium-Nitrates obtenu montre que l'ammonium diminue de janvier à juin au niveau de la majorité des points analysés suite au cycle de l'azote.
4. Les analyses (DBO_5 , DCO) indiquent aussi que les eaux des deux oueds présentent une eutrophisation.

5. Le calcul de l'indice de saturation a montré que l'anhydrite, le gypse, la calcite, l'aragonite et la dolomie sont en sur-saturation alors que l'halite est en sous-saturation.

6. Cette étude ouvre la voie sur d'autres aspects de l'impact des polluants organiques et chimiques des eaux des différents oueds du Nord-Est-Algérien.

Les points les plus critiques à notre avis et qui sont à réaliser sont

- l'étude pédologique pour déterminer exactement les constituants des sols et leur interaction avec les eaux (Surface et souterraines)
- le diagnostic de l'état des stations de traitement des eaux et la possibilité d'augmenter les charges traitées
- Prévoir des études de qualité d'eau pour chaque période de 3 années et alimenter une base de données pour permettre une analyse périodique des niveaux de pollution.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les Services de la Direction de l'Hydraulique des Daïra d'El-Hadjar (Wilaya d'Annaba) et de Bouchegouf (Wilaya de Guelma) pour leur aide, leur disponibilité et l'autorisation d'accès aux points de prélèvement. L'aide fournie par Pr O. Hamdaoui du Département de Génie des Procédés et les discussions avec les membres de l'équipe de recherche (Thermique, Interfaces et Environnement) du LR3MI (UBMA) sous la direction de Pr T. Bouchami sont très appréciées.

REFERENCES

- [1] Thornthwaite, C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate: *Geographical Review* 38, 55-94.
- [2] Tixeront J., Berkaloff E., Caine A., Mauduech E., 1951, Bilan d'eau des massifs calcaire en Tunisie, C.R. Association internationale d'hydrologie scientifique, assemblée de Bruxelles, Tome IV, 47-53.
- [3] Chouabbi A., 1987, Etude géologique de la région de Hammam N'Bail (SE Guelma, Constantine, Algérie), Thèse de doctorat de 3^{ème} Cycle, Université de Paul Sabatier, Toulouse, 123p.
- [4] Djabri L., Hani A., Laouar R., Mania J., Mudry J., Louhi A., 2003, Potential pollution of

groundwater in the valley of the Seybouse river, north-eastern Algeria, *Environmental Geology*, Vol. 44 (6), 738-744.

[5] Messadi D., Louhi A., Ali-Mokhnache S., Zenati N., 2001, Utilisation des spectroscopies d'absorption et d'émission atomique pour le contrôle de la pollution minérale des oueds Meboudja et Seybouse dans la zone industrielle d'Annaba (Nord-Est Algérien), *COST*, Vol. 6(1), 41-48.

[6] Bendjama A., Chouchane T., Boukari O., Morakchi K., Meradi H., 2010, Caractérisation d'une pollution organique et inorganique des eaux superficielles oued Meboudja situé au Nord Est de l'Algérie, *Conférence Internationale sur le soudage, le CND et l'industrie des métaux, IC-WNDT-MI'10*, Oran, 27-28.

[7] Hazourli S., Boudiba L., Ziati M., 2007, caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar, *LARHYSS Journal*, N° 6, 45-55.

[8] Norme Afnor NF T90-101, Octobre 1988, Détermination de la demande chimique en oxygène.

[9] Norme Afnor NF T90-10, Décembre 1975, Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO).

[10] Rodier J., 1989, L'analyse de l'eau, Degrément, 9^{ème} Edition, Paris.

[11] Djabri L., 1996, Mécanisme de pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse: Origine géologique, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de Doctorat d'Etat, UBM Annaba, 259p.

[12] Bousnoubra H., 2002, Ressources en eaux des régions de Skikda, Annaba, El-Tarf, Guelma, Souk-Ahras (Nord-Est Algérien): Evaluation, gestion et perspective, vulnérabilité et protection, Thèse de Doctorat d'Etat, UBM Annaba, 159p.

[13] 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, *Revue Sécheresse*, Vol. 18 (1), 23-27.

[14] Benhamza M., 2007, Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologie de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), Nord-Est Algérie - Conséquences de l'exploitation des gisements de mercure sur l'environnement, Thèse de Doctorat d'Etat, UBM Annaba, 147p.

Nomenclature :

Cl :	Chlorure (mg/l)
DBO ₅ :	Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (mg/l).
DCO :	Demande chimique en oxygène (mg/l).

<i>ETR</i>	Evapotranspiration (<i>mm/an</i>).	réelle
<i>I</i> :	Infiltration (<i>mm/an</i>)	
<i>IS</i> :	Indice de saturation	
<i>NO₂⁻</i> :	Nitrite (<i>mg/l</i>)	
<i>NO₃⁻</i> :	Nitrate (<i>mg/l</i>)	
<i>NH₄⁺</i> :	Ammonium (<i>mg/l</i>)	
<i>OM₁, OM₂, OM₃</i> :	Points de prélèvement sur l'Oued Mellah.	
<i>OS₁, OS₂, OS₃</i> :	Points de prélèvement sur l'Oued Seybouse.	
<i>PO₄³⁻</i> :	Phosphate (<i>mg/l</i>)	
<i>P</i> :	Précipitation (<i>mmH₂O</i>)	
<i>R</i> :	Ruissellement (<i>mm/an</i>)	
<i>T</i> :	Température (°C)	
<i>TDS</i> :	Taux de salinité (<i>mg/l</i>)	