
Soumis le : 31 Octobre 2011
 Forme révisée acceptée le : 17 Mars 2012
 Email de l'auteur correspondant :
 chaoui_w@yahoo.fr

Étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Nord-Est Algérien)

Widad CHAOUI¹, Houria BOUSNOUBRA², Kamel CHAOUI³

1Département de Géologie, 2Département d'Hydraulique, 3Département de Génie Mécanique

Université de Badji Mokhtar, BP 12, Annaba 23000, Algérie.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est l'étude de la qualité des eaux superficielles et souterraines de la région de Bouchegouf (Guelma, Algérie) à partir du calcul des indices de pollution. Deux cartes illustrant la qualité des eaux ont été élaborées en se basant sur 10 points de prélèvements couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Elles concernent les 2 périodes de basses et hautes eaux pour l'année 2007. Les résultats indiquent que la pollution n'est pas verticale. La qualité des eaux est bonne à très bonne ($4 < \text{Lisec-Index} < 6$) pour l'oued Seybouse et l'oued Mellah en période des hautes eaux. Par contre, en période des basses eaux, la qualité devient mauvaise avec des $\text{IPO} < 2$.

Mots clés : Région de Bouchegouf, Nord-Est Algérien, eau superficielle, eau souterraine, qualité, indices de pollution, vulnérabilité;

Abstract

The main objective of this work is the study of the quality of surface and underground waters of the Bouchegouf region (Guelma, Algeria) based on pollution indices calculation. Two charts illustrating water quality were elaborated taking into account 10 intake water points covering the whole studied zone. Both charts relate to the periods of low and high waters for the year 2007. The results indicate that pollution is not vertical. In period of high waters, water quality is from good to very good ($4 < \text{Lisec-Index} < 6$) for Seybouse and Mellah rivers. On the other hand, in period of low waters, quality becomes bad with $\text{IPO} < 2$.

Keywords: Bouchegouf region, the Algerian North-East, surface water, underground water, quality, pollution indices, vulnerability;

1. Introduction

Le climat en Algérie est caractérisé par d'importantes fluctuations pluviométriques qui peuvent se traduire par de fortes irrégularités saisonnières des écoulements. Ces anomalies sont soutenues par de longues périodes de sécheresse, de crues rapides et parfois violentes associées à une érosion intensive [1]. 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 [2]. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains est matérialisée par une contamination sous la forme d'affluents qui se jettent dans les cours d'eau, comme c'est le cas de plusieurs villes de l'Est Algérien. Sachant qu'il y a une relation étroite entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement

étendue vers les eaux souterraines et superficielles à travers le phénomène de drainage.

Plusieurs études ont été consacrées à la pollution hydrique dans l'Est Algérien [3-9]. Il ressort que les taux d'infiltration les plus élevés sont observés dans les zones à grandes activités agricole et industrielles (Meboudja, Bouchegouf et Guelma) [3,4]. Les oueds Meboudja et Seybouse sont soumis à une pollution minérale intensifiée par les rejets industriels [4, 6, 9]. Sur une période de 12 mois, la surveillance des rejets vers la Meboudja par exemple, a montré une pollution inorganique caractérisée par une forte concentration de métaux lourds. Dans un autre travail sur la plaine d'El-Ma El-Abiod (Télessa), située au sud de notre région d'étude (Bouchegouf), il a été montré que la zone à forte vulnérabilité occupe environ 25% de la surface totale [8]. Ceci montre clairement que ces régions sont menacées par des pollutions croissantes, de différentes sources et des évaluations précises de ces risques doivent être établies pour des raisons de prévention.

L'objectif de ce travail vise 3 aspects en relation avec la qualité des eaux de la région de Bouchegouf. En premier lieu, l'étude s'intéresse au chimisme des eaux qui est fonction des formations géologiques présentes. En second lieu, la vulnérabilité de la nappe est approchée par le calcul du pouvoir épurateur pour enfin déterminer la qualité des eaux de surfaces des oueds Seybouse et Mellah. Ces résultats sont utilisés pour établir la relation avec les eaux souterraines de la plaine alluviale

2. Caractéristiques de la région d'étude

La plaine en question est située dans la partie Nord-Est de l'Algérie et elle fait partie de la zone Est de la wilaya de Guelma (Fig.1). Cette région est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : l'une humide et l'autre sèche. Cette plaine est drainée par l'oued Seybouse et son effluent principal l'oued Mellah. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 623.9 mm (Fig.2) et la température moyenne est de 18.6°C (Fig.3). D'après le bilan de Thornthwaite, l'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 460.2 mm/an représentant 73.75% des précipitations, ce qui fait une valeur du déficit agricole de 496 mm/an. Le ruissellement (eq.1) et l'infiltration (eq.2) sont calculés par la relation de Tixeront-Berkaloff et celle du bilan global respectivement:

$$R = \frac{1}{3} P^3 \quad (1)$$

$$I = P - ETR - R \quad (2)$$

Le ruissellement est de l'ordre de 80.9 mm/an (13%) d'où l'infiltration est égale à 82.8 mm/an (13.2%) [10].

La géologie de la région est représentée par trois formations principales (Fig.4), les dépôts alluvionnaires du Quaternaire qui ont une importance capitale pour l'hydrogéologie de la région avec leur perméabilité et les deux formations imperméables ou semi-perméables restantes constituent les frontières des réservoirs naturels. Ces formations sont représentées par les grès Numidiens et les formations Triasique [11]. Les dépôts alluvionnaires constituent des réservoirs d'eau souterraine qui sont drainés par l'oued Seybouse et son affluent oued Mellah (Fig.5).



Fig. 1 : Situation géographique de la zone d'étude (Bouchegouf, Wilaya de Guelma, Algérie).

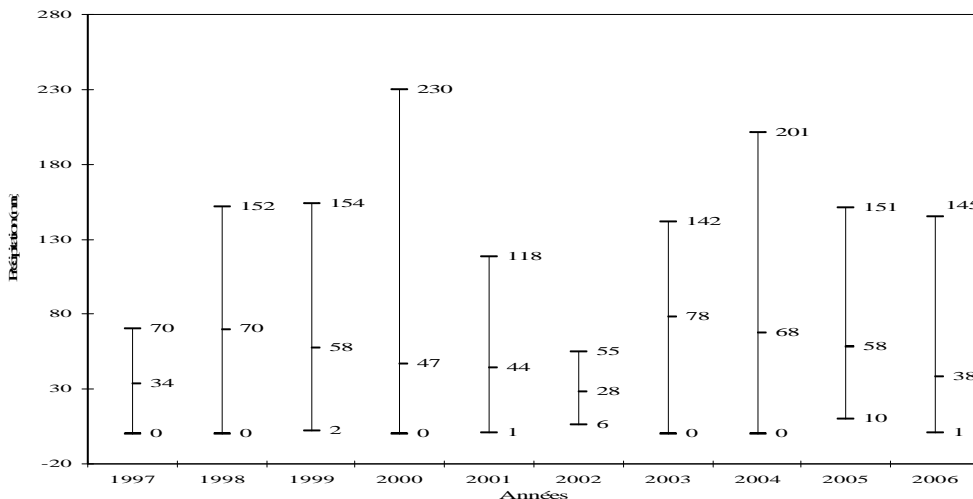


Fig. 2 : Précipitations moyenne annuelles (1997/2006).

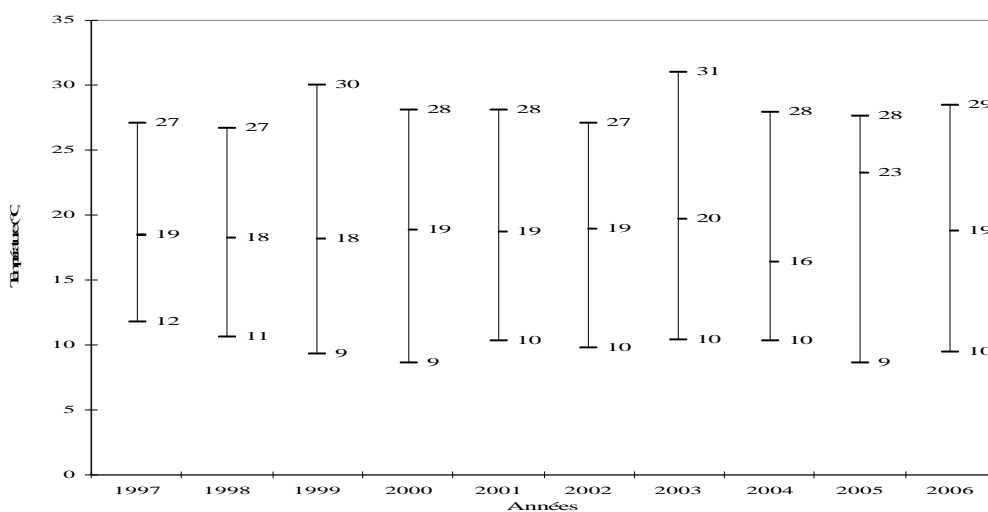
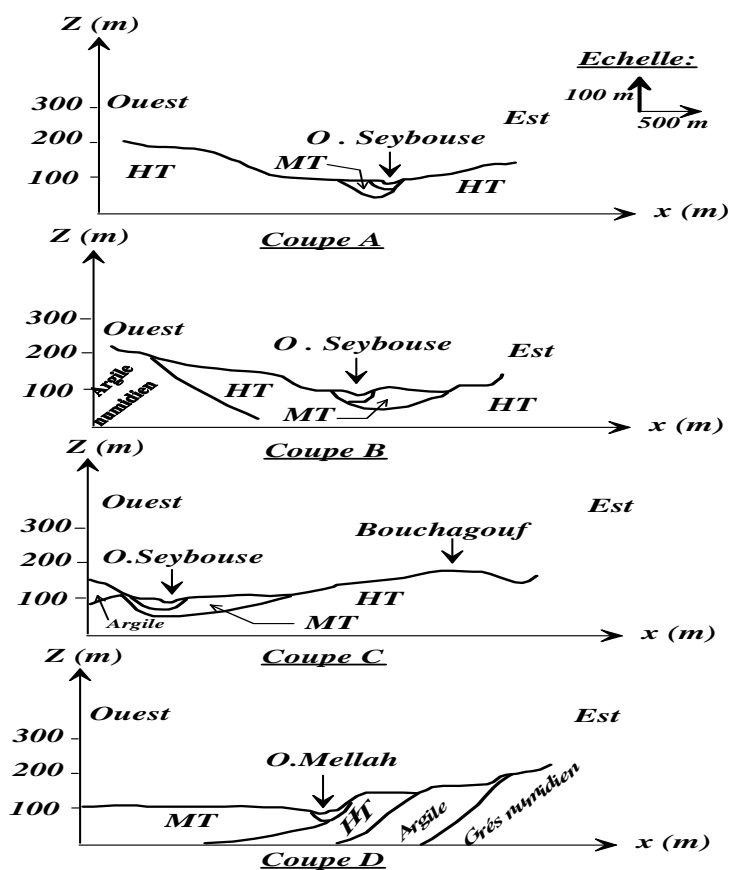


Fig. 3 : Températures moyenne annuelles (1997/2006).



Légende:

- BT:** Alluvions de la basse terrasse (5m)
- MT:** Alluvions de la moyenne terrasse (15m)
- HT:** Alluvions de la haute terrasse (150m)

Fig. 4 : Coupes Géologiques de la plaine de Bouchegouf [10].

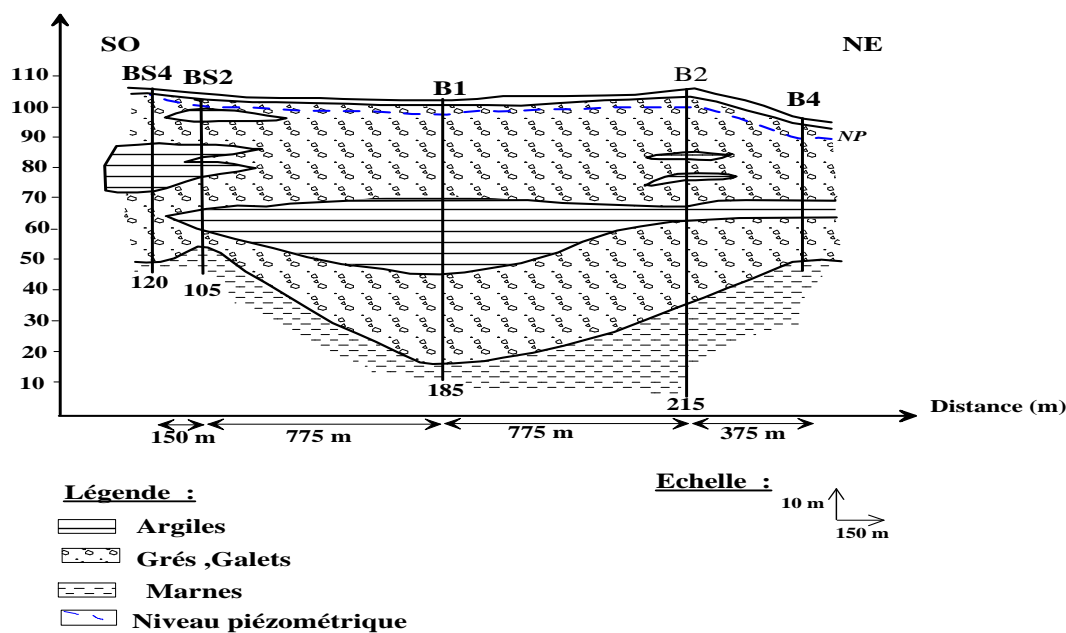


Fig. 5 : Coupe hydrogéologique de la région de Bouchegouf [10].

3. Matériel et méthodes

Les mesures physico-chimiques ont été réalisées au laboratoire de chimie des eaux du département de Génie des Procédés (UBM Annaba); (DCO, DBO5, [Cl⁻], [HCO₃⁻], conductivité électrique, salinité...) et au laboratoire central de l'Algérienne des Eaux (ADE) ([NH₄⁺], [NO₃⁻], [PO₄²⁻],...) suivant des normes connues [12].

L'analyse chimique pour l'étude de la pollution souterraine et de surface est basée sur 10 points de prélèvement dont la balance ionique présente une erreur inférieure à 10%. Les points de mesures sont répartis comme suit :

- Trois points au niveau de l'oued Seybouse
- Trois points au niveau de l'oued Mellah
- Quatre points au niveau de la nappe (1 puits, 1 source et 2 forages).

Dans le but d'avoir une description et un suivi réalistes des pollutions qui ont eu lieu dans la région, les échantillons sont prélevés au milieu du lit du cours d'eau durant les périodes de basses eaux (Janvier) et de hautes eaux (Juin) durant l'année 2007.

4. Résultats et discussion

Avec l'augmentation des opportunités industrielles et agricoles de la région de Bouchegouf, il est attendu que des altérations des eaux superficielles et souterraines aient lieu. Pour des raisons purement naturelles, les processus

de contamination sont évolutifs en fonction des facteurs propres à l'environnement économique. Dans cette étape, il est normal d'établir le faciès chimique, l'indice de contamination et enfin la qualité des eaux en périodes basses et hautes de la saison.

4.1. Faciès chimique

Pour la détermination du faciès chimique, le logiciel Diagrammes est utilisé afin d'établir le diagramme de Piper. Dans le cas de l'oued Seybouse, l'allure générale du diagramme de Piper montre un faciès chimique chloruré-sodique. Les teneurs en chlorure et sodium peuvent atteindre 383 mg/l et 278 mg/l respectivement.

La forte teneur en chlorure est probablement due à la forte évaporation des eaux (Fig.6). Aussi, la nature argileuse du sol et la probable contamination induite par l'oued Mellah [13] contribuent de manière significative à cette situation. Alternativement, pour l'oued Mellah l'analyse conduit à un faciès chloruré-sodique avec une teneur en chlorure de l'ordre de 667 mg/l, alors que celle du sodium atteint 800 mg/l. Il est observé que les chlorures sont dominants par leur origine géologique, précisément au Trias gypsifère de Nador et à la forte évaporation des eaux.

Les résultats qui diffèrent du faciès chimique chloruré-sodique indiquent un faciès sulfaté-sodique au niveau des points OS3 et OM1. Les sulfates auraient pour origine la pollution des deux oueds à cause des rejets industriels déversés par les usines (pollution industrielle) [13].

Concernant les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf, les résultats mettent en évidence deux familles d'eaux bien distinctes dont les faciès chimiques

sont : (1) chloruré-sodique et (2) chloruré-calcique avec des teneurs en chlorure pouvant atteindre 976 mg/l

. Les teneurs en sodium et en calcium sont 299 mg/l et 329 mg/l respectivement. Le faciès chloruré-calcique est dû probablement aux formations géologiques de la région où sont observés les grès Numidiens, les sables et les graviers.

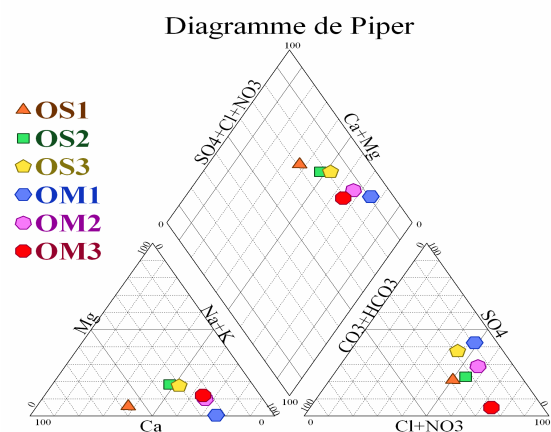


Fig. 6 : Faciès chimique des eaux d'après le diagramme de Piper (Janvier 2007).

4.2. Vulnérabilité de la nappe à la pollution

A l'échelle des mesures, la migration d'un polluant est régie par deux parcours : l'un vertical, traversant les couches superficielles de la nappe (zone non saturée), l'autre horizontal suivant le sens d'écoulement de la nappe (zone saturée). Une méthode simple d'identification prévisionnelle a été utilisée pour délimiter les périmètres de protection rapprochée ou éloignée des points d'eau (champs de captage) [15]. Dans la pratique la détermination de ces périmètres concerne beaucoup plus les nappes superficielles. La vulnérabilité des nappes à ces diverses pollutions est conditionnée par plusieurs facteurs, parmi lesquels il y a le pouvoir filtrant, l'épaisseur de la zone non saturée et la nature du réservoir (captif ou libre). La vitesse d'écoulement des eaux souterraines joue aussi un certain rôle en favorisant cette vulnérabilité. Les terrains recouvrant les zones aquifères constituent un réacteur qui contribue à épurer les eaux d'infiltration. Il convient de connaître les fonctions et les limites de ce filtre naturel. Pour cela, le pouvoir épurateur du sol, surtout dans la zone non saturée, est important à déterminer pour éviter la propagation d'une pollution directe vers les nappes. Sur ces bases, Rehse [14] a proposé une méthode empirique pour l'évaluation du pouvoir épurateur des terrains, lors du transfert d'un polluant de la surface du sol jusqu'à l'aquifère par circulation verticale, puis en circulation horizontale au sein de la nappe. Cette approche donne une indication sur le périmètre à protéger.

Le pouvoir épurateur sur le trajet vertical Md est calculé par la relation :

$$M_d = \sum_{j=1}^n h_j i_j \quad (3)$$

Avec **h** : hauteur non mouillée des différentes catégories des terrains rencontrés (zone non saturée de la nappe) et **i** : index caractéristique associé à chaque type de terrain. Deux cas peuvent se présenter :

Md > 1, l'épuration est totale dans les couches de couverture et que la délimitation d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire.

Md < 1, la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans l'aquifère lors du transfert horizontal. Dans ce cas, le calcul de périmètre de protections s'impose. Par conséquent, la partie importante de la pollution est caractérisée par un transfert plutôt horizontal (Tableau 1).

Ces résultats indiquent l'existence d'une couche argileuse qui joue le rôle de protecteur. Par conséquent, la détermination d'un périmètre de protection n'est pas nécessaire. Comme l'hypothèse du transfert d'un polluant, de la surface du sol jusqu'à l'aquifère par circulation verticale est rejetée, la vérification de la contamination de ces eaux est alors faite par l'évaluation de la qualité. Parmi les méthodes souvent utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles et souterraines il y a (1) l'indice de contamination, (2) l'indice de pollution organique (IPO), (3) Lisec-Index et (4) l'indice d'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (IHE) [16].

4.3. Indice de contamination

En vue d'apprécier la contamination des eaux de la nappe et des eaux de surface, la classe de chacun des éléments chimiques (Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- ...) est déterminée pour chaque point de prélèvement. La somme des classes donne l'indice représentant la contamination (IC). Ainsi, plus la valeur de l'indice de contamination est élevée et plus les points d'eau sont contaminés.

Les eaux des oueds Seybouse et Mellah dont l'indice de contamination est inférieur à 12 sont moins contaminées que les eaux de la nappe alluviale de Bouchegouf (Tab. 2). Les indices les plus grands ont été calculés pour les points AZ et PS (Tab 3).

4.4. Qualité des eaux superficielles et souterraines

La qualité des eaux dans la zone d'étude 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 a contribué à aggraver la situation environnementale. En comparant les 3 indices, une idée sur la qualité des eaux de la région d'étude peut être déduite :

Durant la période des basses eaux, les indices calculés indiquent que les eaux souterraines sont de qualité moyenne à bonne. Par contre, les eaux de surfaces sont de moyenne qualité (Fig.6 a et b). Alternativement, en périodes des hautes eaux, il est noté de manière générale, que les eaux souterraines sont aussi de qualité moyenne à bonne. A l'opposé, les eaux de surfaces sont de bonne qualité (Fig.7 a et b).

Tableau 1
Pouvoir épurateur dans la nappe alluvial de Bouchegouf

Forage	Lithologie de couverture	E (m)	ENS(m)	NP (m)	Md
B1	-Argile plastique	4	10.56	10.56	2.13
	-Cailloux+ galets de calcaire	6.56			
B2	-Argile plastique rouge	6	11.7	11.7	3.11
	-Graviers galet	5.7			
B3	-Terre végétale	4	12.3	12.3	2.16
	-Galets graviers	8.3			
B4	-Terre végétale	4	12.9	12.9	2.18

	-Galets + graviers	8.9			
BS2	-Sable + galets	2	8.48	8.48	2.57
	-Argile plastique rouge	5			
BS4	-Galets + graviers	1.48			
	-Terre végétale	2	4	4	1.04
	-Galets + graviers	2			

Table 2
Indice de contamination des eaux de surface 2007

Points d'eau	OS1	OS2	OS3	OM1	OM2	OM3
IC (Janvier 2007)	12	9	8	11	8	9
IC (Juin 2007)	8	8	8	11	11	10

Table 3
Indice de contamination des eaux souterraines 2007

Points d'eau	PS	AZ	B4	BS4
IC (Janvier 2007)	18	16	14	12
IC (Juin 2007)	12	15	11	8

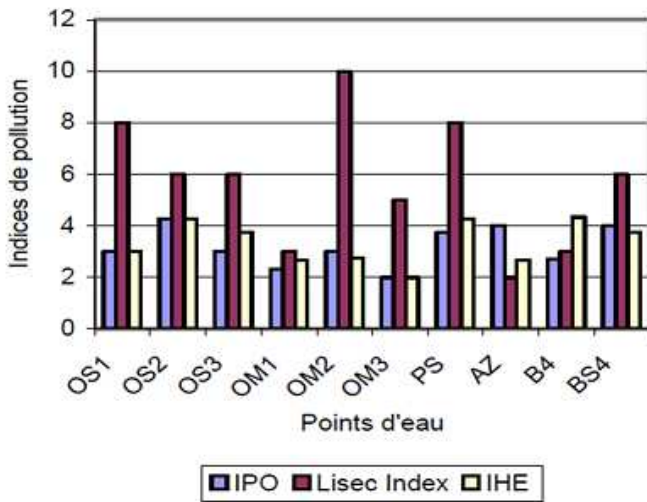


Fig. 7.a : Comparaison des trois indices de pollution organique calculés dans la nappe de Bouchegouf, oued Seybouse et oued Mellah en janvier 2007.

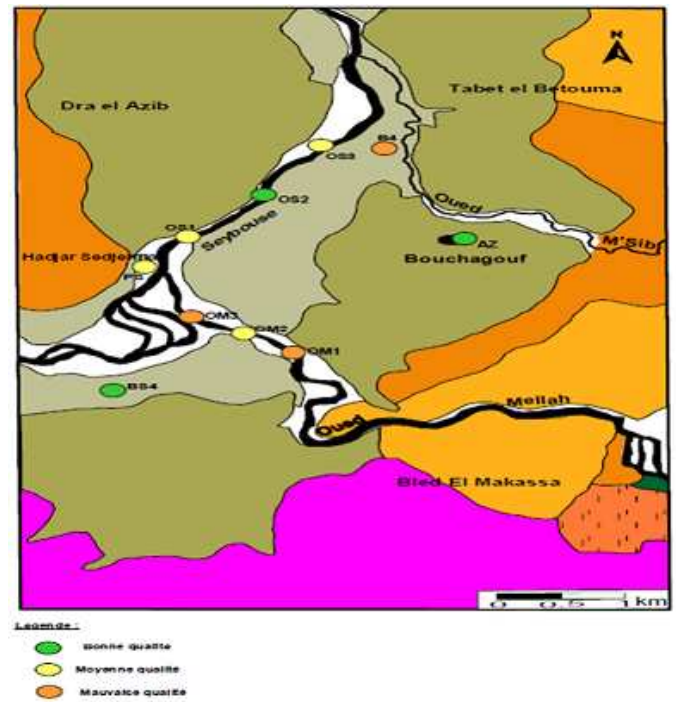


Fig. 7. b : Indice de qualité d'eau pour janvier 2007.

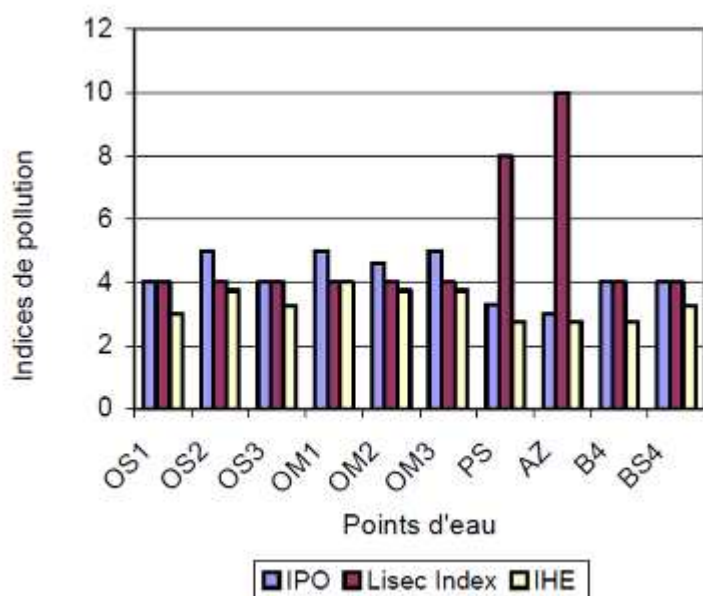


Fig. 8.a : Comparaison des trois indices de pollution organique calculés dans la nappe de Bouchegouf, oued Seybouse et oued Mellah en juin 2007.

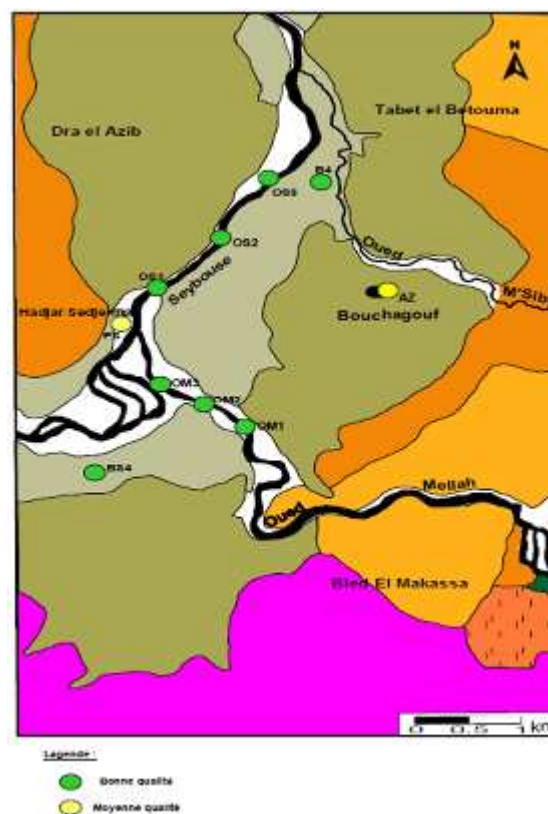


Fig. 8.b : Indice de qualité d'eau pour juin 2007.

5. Conclusion

L'étude hydrochimique réalisée a permis de caractériser le mécanisme de la pollution hydrique qui présente une influence directe sur l'environnement et la santé. Les causes essentielles sont imputées aux divers rejets dans les oueds Seybouse et Mellah en plus de l'utilisation excessive des engrais en agriculture. La nature gypsifère de la partie sud de la zone d'étude joue un rôle dans l'augmentation de la salinité. La cartographie du niveau de pollution a mis en évidence la relation mixte qui existe entre la nappe et les deux oueds par l'appréciation de la répartition des concentrations des polluants chimiques et leur évolution temporelle et spatiale. Il est clair que la situation risque de s'aggraver dans le temps si des stations de traitement des rejets industriels ne sont pas installées et si l'utilisation des engrais pour l'agriculture n'est pas contrôlée.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement les Services de la Direction de l'Hydraulique de la Daïra de Bouchegouf (Wilaya de Guelma) pour leur disponibilité et l'autorisation d'accès aux points de prélèvement. Aussi, l'aide fournie par le laboratoire de chimie des eaux du département du Génie des Procédés de l'UBM Annaba est bien appréciée.

References

- [1] A. Kadi, La gestion de l'eau en Algérie, Journal des Sciences Hydrologiques, avril 1997, pp. 191-197.
- [2] B.Dezert, L'utilisation des eaux continentales dans les pays en voie de développement. I.G, 1976.
- [3] L. Djabri, A. Hani, R. Laouar, J. Mania, J. Mudry and A. Louhi, Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, North-Eastern Algeria, Environmental Geology, Vol 44, N 6, 2003, pp738-744 .
- [4] D. Messadi, A. Louhi, S. Ali-Mokhnache, N. Zenati, 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, n°1, 2001, pp41-48.
- [5] N. Zenati, D. Messadi, Utilisation de la géostatistique dans l'établissement de la carte de vulnérabilité intrinsèque d'une nappe superficielle a un polluant par infiltration verticale. as de la nappe superficielle de la plaine ouest d'El-Hadjar, Annaba. Algérie, Revue COST, vol. 6, N°1, 2001, pp. 41-48
- [6] A. Bendjama, T. Chouchane, O. Boukari, K. Morakchi, H. Meradi, 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 novembre 2010.
- [7] I. Guasmi, L. Djabri, A. Hani, C. Lamouroux, Pollution des eaux de l'oued Medjerda par les nutriments, J. Larhyss, N° 5, Juin 2006, pp.113-119.
- [8] A. Rouabhia, F. Baali, N. Kherici, L. Djabri, Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El-Ma El-Abiod (Algérie), Sécheresse. Vol 15, N 4, octobre-novembre-décembre 2004, pp.47-52.
- [9] S.Hazourli, L.Boudiba, M.Ziati, caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar, J. Larhyss, N° 6, Décembre 2007, pp. 45-55.
- [10] W. Chaoui, Impact de la pollution organique et chimique des eaux de oued Seybouse et oued Mellah sur la nappe alluviale de Boucheougouf, Mémoire de Magister en hydrogéologie, UBM d'Annaba, 2007.
- [11] A. Chouabbi, Etude géologique de la région de Hammam N'Bails (SE de Guelma, Constantinois, Algérie), Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, 1987, 123p.
- [12] J. Rodier, L'analyse de l'eau, Degrément, 9^{ème} Edition, Dunod. Paris, 2009. 1579 p.
- [13] L. Djabri, Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse: Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Doctorat d'Etat, UBM Annaba, 176 p.
- [14] Rehse, W.; (1977). Elimination und Abbau von organischen Fremdstoffen, pathogenen Keimen und Viren im Lockergestein. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft* 128: 319-329.
- [15] N. Kherici, Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba La Mafragh Nord-Est Algérien). Doctorat d'Etat, UBM Annaba, 2003, 170p.
- [16] www.inforef.be/expeda/eureau/brochure/partie1/introduction.htm.
- [17] J. Flandrin, Carte géologique de la région de Boucheougouf, (ex Duvivier), 1939.

Nomenclature

T: Température (°C)

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 j. (mg/l)

DCO : Demande chimique en oxygène (mg/l)

E : Épaisseur de la couche (m)

ENS : Épaisseur de la zone non saturée (m)

ETR: Évapotranspiration réelle (mm)

I : Infiltration (mm)

IC : Indice de contamination

Md : Pouvoir épurateur sur le trajet vertical

IPO : Indice de pollution organique

NP : Niveau piézométrique (m)

P: Précipitation (mm d'eau)

R: Ruissellement (mm/an)

Abbreviations

AZ : Source d'Ain Zaghouche

B1, B2, B3, B4 : Forages (Centre et Nord)

BS2, BS4 : Forages (Sud)

IHE : Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie

OM1, OM2, OM3 : Points de prélèvement sur l'oued Mellah

OS1, OS2, OS3 : Points de prélèvement sur l'oued Seybouse

PS: Puits de Hadjar Sadjerman