

## Impacts des rejets industriels sur les eaux de la région de Berrahal (Nord Est Algérien)

Hakim Khelfaoui<sup>1</sup>, Hicham Chaffai<sup>1</sup>, Azzedine Hani<sup>1</sup> et Rabah Laouar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Resource en Eau et Développement Durable (REDD), Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12, 23000 Annaba, Algérie.

<sup>2</sup>Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12, 23000, Annaba, Algérie. Laboratoire de Géodynamique, Géologie de l'Ingénieur et Planétologie, FSTSAT, USTHB, BP 32, El-Alia Bab-Ezzouar, Alger.

Révisé le 15/03/2012

Accepté le 09/04/2012

### ملخص

إن التطور الصناعي الكبير في منطقة بالرحال (عنابة، شمال شرق الجزائر) نتج عنه زيادة في النفايات الصناعية و تحديدا في تركيز المعادن الثقيلة التي تشكل خطرا على الصحة ، مما أدى إلى تدهور المحيط و المياه الجوفية. التحليل الإحصائي للمعطيات المتوفرة حول انتقال الملوثات، سمحت لنا بوضع مخطط تحول هذه الملوثات و تحديد أهم العوامل المسؤولة عن اكتساب هذه المياه لتلك الخصائص الفيزيائية و الكيميائية. النتائج المحصل عليها تظهر بأن الأوساط المستقبلية (السكان، بحيرة فetzara، المياه الجوفية ) سوف تتأثر بالآليات التي تنتقل بها الملوثات . مياه النفايات الصناعية النافذة عبر طبقات الأرض، تشكل عندئذ خطرا على السكان و الحياة الحيوانية المحيطة . من جهة أخرى ، فإن المياه الجوفية تشكل تهديدا كبيرا بالخصوص على الحياة البيئية لبحيرة فetzara و على الآبار المستغلة في التزود بالمياه الصالحة للشرب و السقي و تربية المواشي.

**الكلمات المفتاحية:** نفايات صناعية - معادن ثقيلة - تلوث، بحيرة فetzara - بالرحال.

### Résumé

L'important développement industriel dans la région de Berrahal (Nord-Est de l'Algérie) s'est traduit par un accroissement des rejets concentrés en métaux lourds considérés comme toxiques pour la faune et la flore, induisant une dégradation de l'environnement et de la qualité des eaux des aquifères. L'analyse statistique des données acquises a permis d'élaborer le schéma de transfert des polluants et d'identifier les principaux facteurs responsables de l'acquisition du contenu physico-chimique des eaux. Les résultats obtenus montrent que les milieux récepteurs (les habitants, le lac Fetzara et la nappe phréatique) seront touchés par les différents rejets de la zone industrielle. L'infiltration des eaux des rejets constitue par conséquent, une menace pour les populations et la faune environnante. Par ailleurs, les eaux souterraines présentent également un risque potentiel particulièrement pour l'écosystème du lac Fetzara et pour les captages d'eau (AEP, irrigation et alimentation du bétail).

**Mots clés :** Rejets industriels - Métaux lourds - Pollution - Lac Fetzara - Berrahal.

### Abstract

The continuous increase of industrial activities in the Berrahal region (NE of Algeria) has resulted in an increase in waste disposal rate, practically the increase of heavy metals in these wastes that are considered toxic for wildlife, inducing both environmental and groundwater pollution. The available data on soil and groundwater contamination was used to identify the different scenarios to pollution and transfer of the pollutants. The obtained results highlight that the receptor (humans, Fetzara Lake, alluvial aquifer) were linked to primary and secondary transport mechanisms. The considered exposure pathways were the inhalation of volatile substances and the direct contact with soil (ingestion and dermal contact) that could threaten both humans and wildlife, on-site or off-site. In addition, the groundwater was considered to be a potential risk pathway, especially for the ecosystem of Fetzara Lake, and for the alluvial aquifer (irrigation, drinking water).

**Keywords:** Industrial wastes - Heavy metals - Pollution - Fetzara Lake - Berrahal.

Auteur correspondant : [hichamchaffai@yahoo.fr](mailto:hichamchaffai@yahoo.fr)

## 1. INTRODUCTION

L'industrie moderne est apparue dans le monde il y a deux siècles environ. L'accroissement des déchets solides et liquides est étroitement lié à ce développement économique. En effet, ce dernier entraîne des impacts négatifs sur l'environnement et l'économie de beaucoup de pays. La biodisponibilité, toxicité et mobilité de métaux lourds dans les sols sont en grande partie déterminées par leur distribution cinétique entre phase liquide et solide et entre autres les composants de la phase solide [1]. Les métaux lourds dans les sols existent dans plusieurs fractions de la phase solide, qui peuvent être mesurées par dissolution séquentielle sélective [2]. Les activités humaines telles que les effluents industriels et municipaux ont alors augmenté le flux de métaux lourds dans les eaux souterraines et de surface [3- 5].

Aujourd'hui, la mauvaise gestion des sites industriels a pour conséquences des problèmes de santé publique et d'aménagement du territoire [6]. En Algérie, la prise de conscience de l'importance des ressources naturelles ne date que de quelques années. La décision d'investir dans le développement durable constitue le principe fondamental de la stratégie de l'environnement et signifie que l'Etat Algérien entend donner une place prépondérante aux aspects sociaux et écologiques dans ses choix de modèles de société et de développement économique et rompre, par conséquent, de manière irréversible

avec les politiques et méthodes des trois dernières décennies. Dans la région d'Annaba (extrême Est de l'Algérie), au niveau de Berrahal (Fig. 1), les unités industrielles implantées sont des points potentiels de pollution et sont nombreuses, notamment les usines sidérurgiques, métalliques et pétrochimiques. Leurs rejets ont des effets néfastes sur les eaux de la région.

Actuellement, les effluents industriels situés dans la région de Berrahal, contiennent d'importantes quantités de produits chimiques organiques et inorganiques et autres substances polluantes [7, 8]. La plupart des industries ne sont pas raccordées à un quelconque réseau d'assainissement et même s'il existe, ce dernier ne fonctionne pas d'une manière appropriée. Par conséquent, les effluents chimiques fortement colorés et toxiques rejoignent le lac Fetzara, polluant de ce fait les eaux de surface et les eaux souterraines.

Autour de la zone industrielle de Berrahal, le degré de contamination a été intense. Les teneurs en éléments toxiques dans les eaux dépassent largement les limites autorisées et la vie aquatique dans le lac Fetzara, devenue fortement polluée [9].

L'objectif principal de cette étude est, d'une part, l'évaluation de l'impact de ces rejets industriels sur le milieu et, d'autre part, l'appréhension des différentes causes de la pollution des eaux qui les régissent.

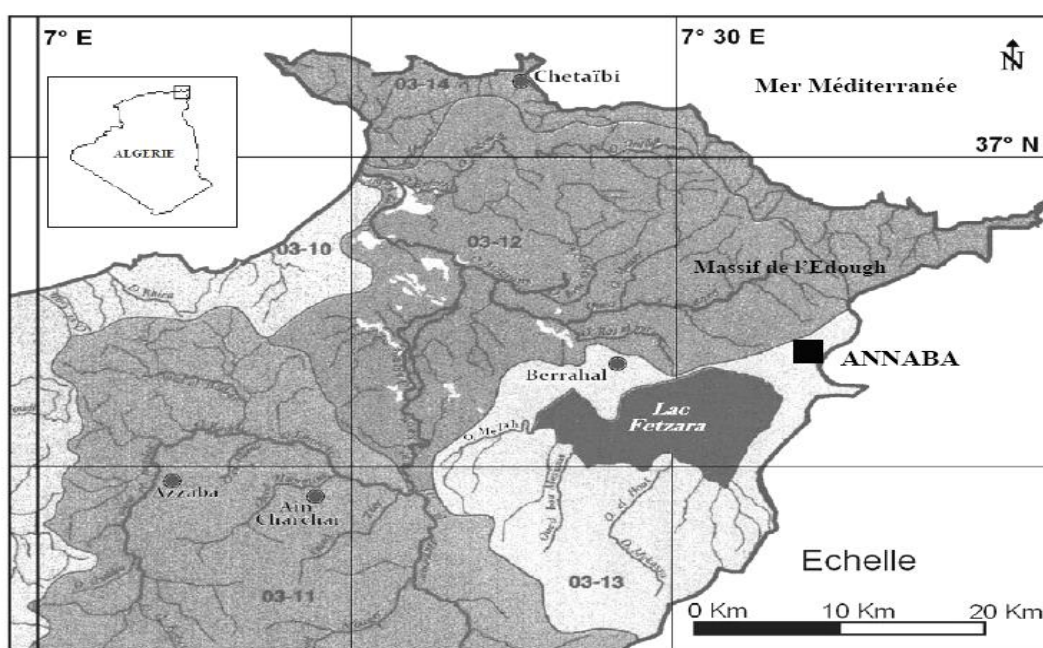


Figure 1. Localisation du sous bassin versant du lac Fetzara

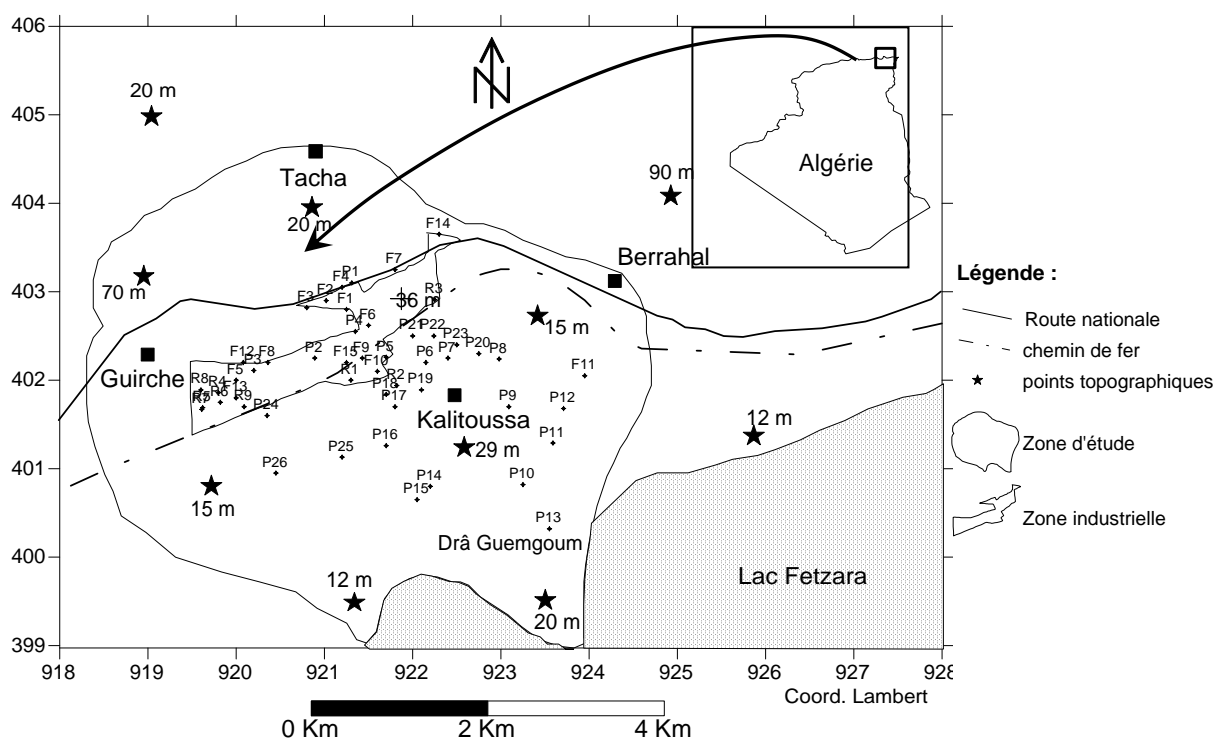
## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1 Site étudié

La région de Berrahal est située à environ 30 km vers l'Ouest de la ville d'Annaba (extrême Nord-Est Algérien). Elle s'étend sur une superficie de 180.15 km<sup>2</sup> et est limitée au Sud par la dépression du lac Fetzara (Fig. 1). Les deux branches d'activité dominantes dans cette zone industrielle sont l'agro-alimentaire et les travaux publics, ensuite vient la construction métalliques et le stockage de fer. Dans l'ensemble, les basses collines de Berrahal forment la retombée Sud du massif cristallophyllien de l'Edough donnant naissance au petit massif de Berrahal. Ce socle métamorphique est composé d'une variété de roches d'âge Précambrien à Paléozoïque. L'ensemble de ces roches forment un antiforme d'axe NE-SW. Les gneiss qui forment la base du socle ont été daté à  $606 \pm 55$  Ma [10], et ils ont donc été considérés comme des roches granitiques mises en place durant l'Orogène pan-africain. Les métapélites qui viennent juste au-dessus des gneiss consistent en deux unités principales : des micaschistes à grenat et

souvent à disthène en alternance avec des niveaux de marbre et de skarns d'épaisseur métrique, et une unité supérieure d'âge Paléozoïque [11] constituée de schistes alumineux à andalousite et staurotide en alternance avec des quartzites feldspathiques. Les dépôts du Quaternaire qui recouvrent largement la région d'étude (Berrahal) sont caractérisés par des formations alluvionnaires. La zone industrielle de Berrahal, répartie sur trois agglomérations secondaires (Kalitoussa, Guirch et Tacha), a une superficie de 121 ha et comporte 82 lots et 28 entreprises actuellement actives (Fig. 2). Elle est localisée dans le sous bassin versant du lac Fetzara. Cette zone est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par deux saisons, l'une humide et douce et l'autre chaude et sèche.

Le réseau hydrographique est constitué de quatre oueds qui sont : l'oued Mellah, d'une longueur de près de 8 km, l'oued El Hout, avec une longueur de 10 km, l'oued Zied, d'une longueur d'environ 10.5 km et enfin l'oued Bou Messous qui présente une longueur de 9 Km. Tous ces oueds se jettent dans le lac Fetzara avec un régime très irrégulier ; torrentiel en hiver et sec en été.



L'étude climatique est basée essentiellement sur l'analyse des précipitations et des températures. Les données sont recueillies sous forme de moyennes mensuelles de température et de hauteur de pluie pour une période de 25 ans (1981-1982 à 2005-2006) (Fig. 3).

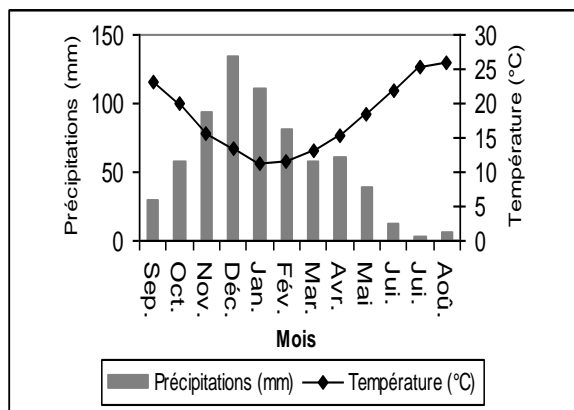


Figure 3: Variations des précipitations et des températures moyennes mensuelles pour la station de Berrahal (1981/82 - 2005/06).

A partir des colonnes stratigraphiques des forages BH1, BH3 et Guirch implantés dans la plaine de Berrahal (Fig. 4), deux nappes principales peuvent être distinguées:

- Une nappe libre qui couvre toute la plaine de Berrahal et elle est constituée par des sables fins et graviers.

L'épaisseur de cette nappe ne dépasse pas 10 m dans la partie Est de la zone d'étude mais elle peut atteindre 20 m dans la partie Ouest. Son alimentation s'effectue principalement à partir des précipitations. La nappe superficielle est fortement exploitée par des forages et des puits pour l'alimentation des agglomérations de la région.

- Une nappe semi-captive des cipolins qui se localise au niveau des calcaires métamorphiques fissurés. Elle est séparée de la nappe libre par une mince couche (3m) d'argiles graveleuses observée à l'Est de la zone d'étude. Elle a une épaisseur de l'ordre de 2 m et se trouve donc à une faible profondeur de 13 m environ.

Les formations de gneiss et de micaschistes constituent le substratum de cet aquifère. Dans la partie Ouest de la zone d'étude, cette nappe devient franchement captive (cipolins fissurés). Elle est localisée à une grande profondeur (75m), d'une épaisseur de l'ordre de 5m, séparée de la nappe libre par une épaisse couche (environ 60m) de micaschistes avec des passées de marbre. Le substratum gneissique n'est pas atteint lors de la réalisation du forage de Guirch.

Cette nappe est moins exploitée par rapport à la partie Est et à la nappe libre, à cause de sa grande profondeur.

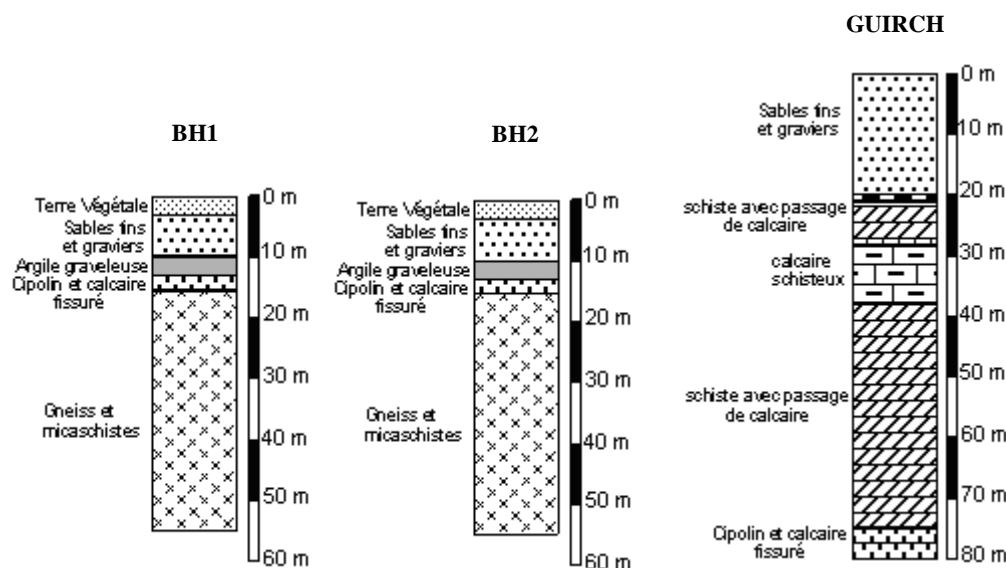


Figure 4. Colonnes stratigraphiques des forages implantés dans la zone d'étude.

L'observation des cartes piézométriques de la nappe superficielle réalisées en novembre 2006 et mai 2007, montre qu'elles présentent la même allure avec une ligne de partage des eaux qui s'étend de l'Ouest de Guirch jusqu'au Sud-Est de Kalitoussa (Fig. 5 et 6). Le sens d'écoulement des eaux souterraines se fait : (1) du Nord vers le Sud dans la partie Est de la zone d'étude (ville de Berrahal). Le lac Fetzara constitue donc le point d'accumulation de l'ensemble des eaux souterraines ; (2) du Sud vers le Nord, au Nord de la ligne de partage des eaux (dépression de Douar Tacha) ; (3) du Nord vers le Sud, au Sud de la ligne de partage des eaux (vers le lac Fetzara) et (4) du Nord-Ouest vers le Sud-Est au niveau de Drâ Guegoum (Sud-Est de Kalitoussa), les eaux souterraines arrivent à s'accumuler au lac Fetzara.

## 2.2 Méthodes

Afin d'étudier l'impact des rejets de la zone industrielle sur la qualité des eaux, trois campagnes d'échantillonnage pour des analyses physico-chimiques ont été effectuées. Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés avec de l'eau distillée, puis avec l'eau à échantillonner puis bouchonnés. Pour l'analyse des métaux lourds, quelques gouttes d'acide nitrique ont été ajoutées à l'échantillon pour assurer une conservation dans un milieu acide, et immédiatement mis dans une glacière. Chaque campagne comprend 50 échantillons (Tab. 1), dans 15 forages, 26 puits et 9 rejets (Fig. 2). La première campagne a été effectuée au mois de novembre 2006, la deuxième en mars 2007 et la troisième au mois de mai 2007.

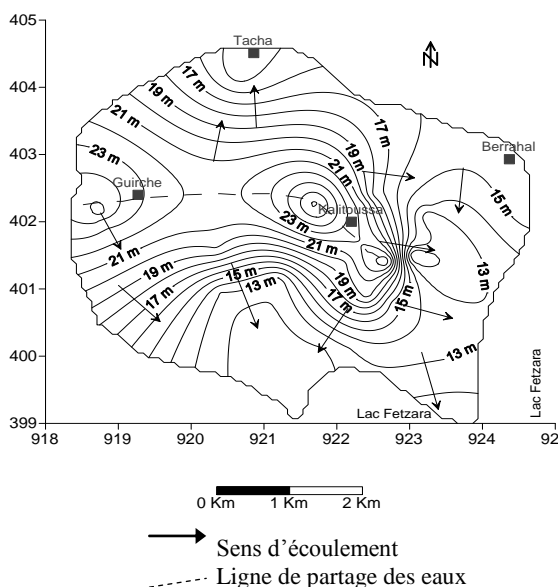


Figure 5. Piézométrie Novembre 2006

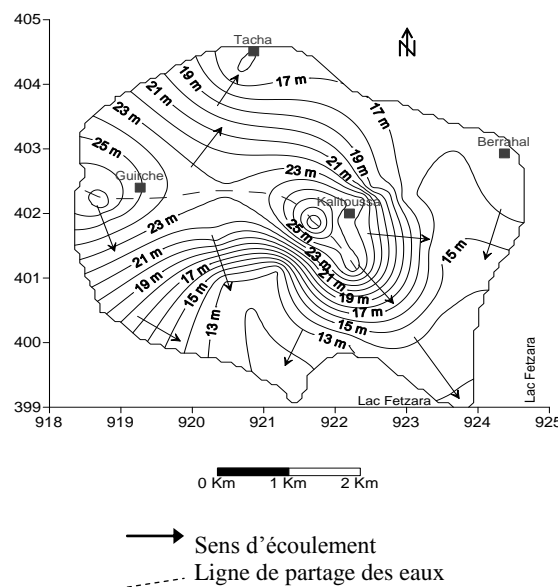


Figure 6. Piézométrie Mai 2007

Tableau 1. Points d'échantillonnage pour les analyses physicochimiques

Points d'eau	Entreprise/autres	Type d'activité économique
P1 à P26	Puits	Non définie
F1 à F15	Forages	Non définie
R1	Rejet Entreprise Protuil	Tuile et galvanisation à chaud
R2	Rejet Entreprises Protuil et Moulin Semoule Beldi	Tuile, galvanisation à chaud, Farine et Semoule
R3	Rejet Société Naftal	Stockage et distribution de produits pétroliers
R4	Rejet Entreprise Savonnerie Nozha	Fabrication de savon
R5	Rejet Entreprises Bona et El Annabia	Production de boissons gazeuses et d'huiles
R6	Rejet Entreprise El Meida	Laiterie
R7	Rejet Entreprises Nozha+Bona	Fabrication de savon et de boissons gazeuses
R8	Rejet Entreprise Bona	Production de boissons gazeuses
R9	Rejet Entreprise Fetzara	Laiterie et fromagerie

Le pH et la conductivité électrique sont mesurés in situ à l'aide d'un conductimètre-pH-mètre. Les métaux lourds (Fe, Pb, Cu, Ni et Mn) sont dosés au niveau du Laboratoire d'Hydrogéologie (Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri-Constantine) et analysés au Spectrophotomètre à absorption atomique (SAA), type PYE UNICAM, Philips. Les résultats sont représentés sous forme de graphiques en courbes spatio-temporels afin de déterminer les facteurs régissant l'évolution des teneurs (Fig. 7 à 13).

Pour identifier le taux de contamination des eaux, les valeurs obtenues sont comparées aux normes de potabilité fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé [12] (Tab. 2) et aux normes algériennes concernant les rejets industriels [13] (Tab. 3).

### 3. RESULTATS ET ANALYSE

#### 3.1 Le pH

La plupart des échantillons ont un pH qui ne dépasse pas les normes, il varie entre 6.5 et 8.5 (Fig. 7). On remarque, par contre, une diminution de l'acidité des eaux dans la région à partir de la première campagne surtout au niveau des puits et des forages. Cela est dû au phénomène de dilution et de lessivage des sels minéraux du sol, alors que les rejets gardent presque les mêmes concentrations et ceci pour les rejets acides ou basiques

Tableau 2. Les lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/formule	Lignes directrices fixées par l'OMS des eaux potables
Conductivité	CE	Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Cuivre	Cu	2mg/l
Fer	Fe	0.2 mg/l
Plomb	Pb	0.01 mg/l
Manganèse	Mn	0.4 mg/l
Nickel	Ni	0.02 mg/l
Potentiel hydrogène	PH	Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5

Tableau 3. Normes Algériennes des rejets.

Paramètres	Unités	Valeurs limites
pH	/	5.5-8.5
Pb <sub>total</sub>	mg/l	0.5
Cu <sub>total</sub>	mg/l	0.5
Ni <sub>total</sub>	mg/l	0.5
Fe	mg/l	3
Mn	mg/l	1

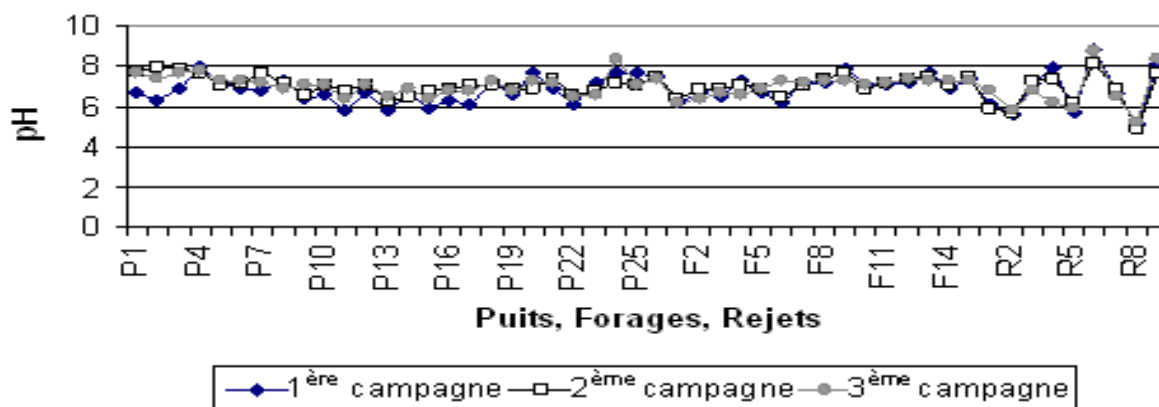


Figure 7. Variations du pH au cours des trois campagnes.

### 3.2 La conductivité électrique

Les mesures de la conductivité électrique permettent d'avoir une idée de la salinité de l'eau. Les conductivités de tous les échantillons dépassent la norme de l'eau potable (Fig. 8) qui est de 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les eaux de la région de Berrahal sont donc très minéralisées. Cette minéralisation indique un fort lessivage des minéraux soit au niveau des couches aquifères superficielles (argiles, sables et graviers) captées par les puits, soit au niveau de l'aquifère relativement profond (cipolins) capté par les forages. Les valeurs les plus élevées sont observées à l'Ouest, où se concentrent les rejets des industries agro-alimentaires et de détergents (R6, R9, R5, R4, R8, et R7) et au niveau de Kalitoussa (rejets des industries de transformations des métaux et de la raffinerie : R1, R2, R3). Les conductivités les plus élevées sont celles de la première campagne, ensuite elles diminuent à partir de la deuxième à cause des fortes précipitations enregistrées surtout durant cette période.

### 3.3 Le fer total

Les rejets, surtout de l'entreprise de galvanisation à chaud (Protuil) et des Moulins semoule Beldi (R1 et R2) ainsi que les rejets des entreprises agro-alimentaires (R7, R8 et R9) constituent la principale cause de cette pollution. Même si la norme algérienne est de 3 mg/l, le caractère diffus et l'absence de station de traitement rendent cette pollution inquiétante (Fig. 9). La nature géologique de la région (forte minéralisation, existence de quelques anciens gisements de fer à proximité) contribue également à accentuer cette pollution, car ces rejets liquides, sont évacués dans des cours d'eau superficiels à l'air libre et traversent la région contaminant par conséquent la nappe superficielle et le lac Fetzara. Les points de la première campagne présentent les concentrations les plus élevées en fer (période des basses eaux), ensuite et à cause de la dilution durant la deuxième et la troisième campagne, les teneurs diminuent progressivement, mais restent néanmoins supérieures à la norme de potabilité (supérieures à 0.2 mg/l).

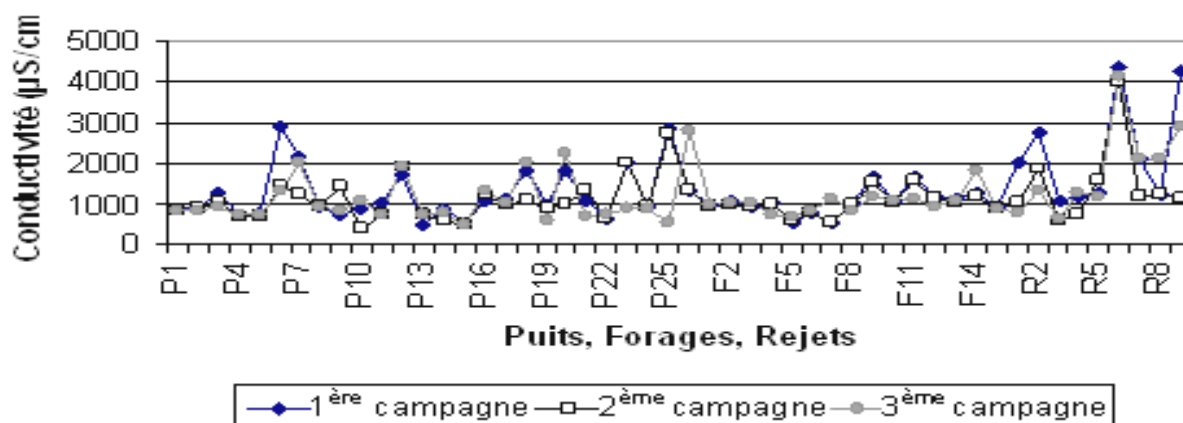


Figure 8. Variations des conductivités électriques au cours des trois campagnes.

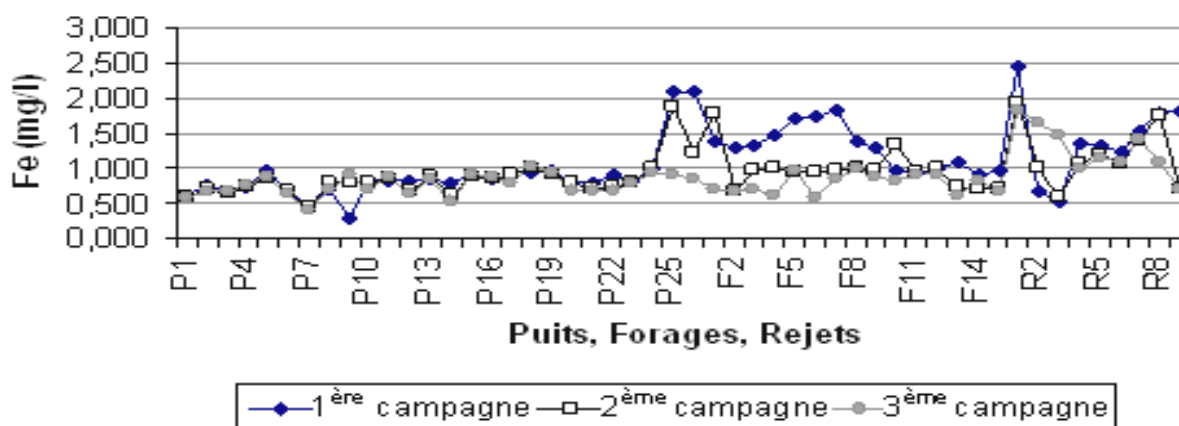


Figure 9. Variations de la teneur en fer total au cours des trois campagnes

Les travaux de Descotes [14] montrent qu'en milieu alcalin, la faible solubilité du fer entraîne la disparition du fer sous forme aqueuse au-delà d'un pH de 6 au profit de la sidérite ( $\text{FeCO}_3$ ) et de la goéthite ( $\text{FeOOH}$ ). Seuls les ions sulfates sont encore en solution. En milieu plus alcalin, le fer est complexé à la fois par les carbonates et les hydroxydes et reste sous forme aqueuse. On remarque aussi, que les eaux de forages contiennent des teneurs en fer supérieures à celles des eaux de puits. Cela est dû à la nature géologique (les forages sont plus profonds que les puits) ainsi qu'à la corrosion des tubages (équipements de forage).

### 3.4 Le plomb

On remarquera que tous les échantillons possèdent des teneurs très élevées (Fig. 10), qui dépassent largement la norme de potabilité de l'eau qui est de 0.01 mg/l. Concernant les eaux des rejets, elles dépassent largement les

normes algériennes (0.5 mg/l) dans la majorité des points. La teneur minimale est de 0.027 mg/l au point F8 et la teneur maximale est de 1.83 mg/l au rejet R2 (rejet entreprise Protuil et entreprise de Semoule) de la troisième campagne. Pour les puits et forages, la teneur maximale est de 1.1 mg/l au point P3 de la première campagne. Les fortes concentrations sont observées au niveau de Kalitoussa où on rencontre les rejets R1, R2, et R3 (galvanisation, raffinerie).

Dans des conditions réductrices, la solubilité du plomb est limitée par la précipitation de galène ( $\text{PbS}$ ) où est concentré dans les gisements de sulfures. En conditions oxydantes, il est nettement plus soluble et précipite sous forme de sulfates de plomb (anglésite) ou de carbonates de plomb, cérusite ( $\text{PbCO}_3$ ), en milieu carbonaté. Avec les ions carbonates, il forme des complexes, ce qui augmente sa solubilité aux pH élevés.

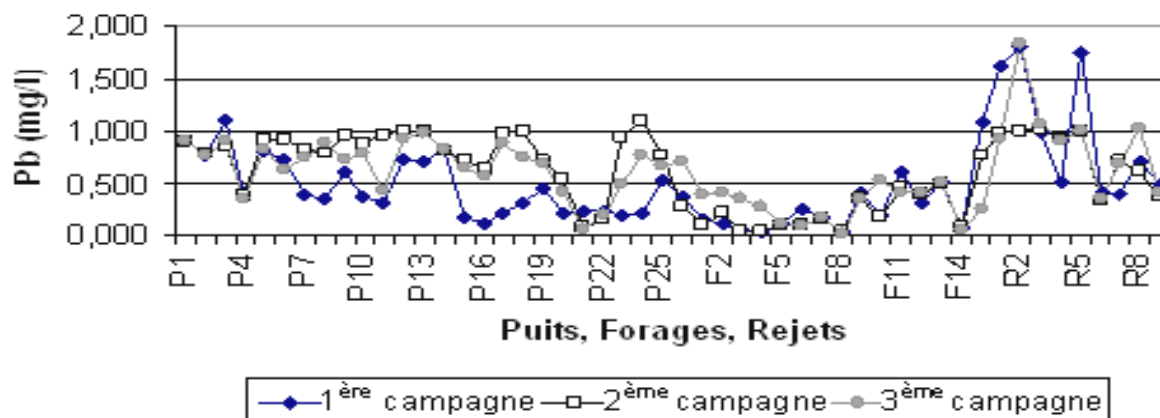


Figure 10. Variations de la teneur en plomb au cours des trois campagnes.

### 3.5 Le cuivre

Contrairement aux autres métaux lourds, le cuivre se trouve à des concentrations qui ne dépassent pas la norme de potabilité de l'OMS (2 mg/l) dans tous les points mesurés, mais la norme algérienne des rejets qui est de 0.5 mg/l semble très sévère et ses valeurs se trouvent dépassées pour tous les rejets (Fig. 11). La teneur minimale est de 0.065 mg/l au niveau du point P15 de la troisième campagne et la teneur maximale enregistrée au point P12 de la première campagne, avec une concentration de 1.98 mg/l. Les teneurs en cuivre diminuent de la première campagne (basses eaux) à la

troisième (hautes eaux). Le cuivre est un élément chalcophile qui se trouve associé à des sulfures, avec le plomb, le cadmium et le zinc. Cavallaro et McBride [15] ont suggéré qu'une phase minérale argileuse pouvait servir de stock au cuivre dans des sols non calcaires. Dans des sols calcaires, l'adsorption spécifique du cuivre sur des surfaces de  $\text{CaCO}_3$  peut contrôler les concentrations en cuivre en solution [16,17].

Dans des environnements oxydants, la disponibilité du cuivre est donnée par la solubilité de la phase carbonatée ou des phases hydroxydes, selon le pH de l'eau souterraine.



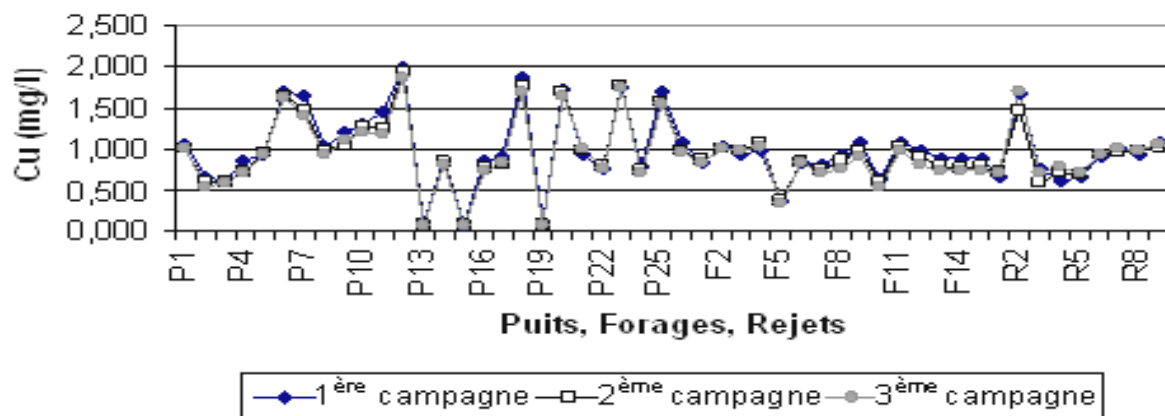


Figure 11. Variations de la teneur en cuivre au cours des trois campagnes.

### 3.6 Le nickel

Pour les eaux potables (puits et forages), tous les points dépassent la norme (0.02 mg/l). La teneur minimale est de l'ordre de 0.012 mg/l au point F14 de la deuxième campagne et la concentration maximale est enregistrée au point F11 de la première campagne avec 0.211 mg/l (Fig. 12). Notons que la norme algérienne pour les eaux de rejets fixée à 0.5 mg/l, n'est jamais atteinte, et que les concentrations de la première campagne sont importantes par rapport aux autres effectuées en période de hautes eaux. Dans la nature, le nickel est principalement associé au manganèse et aux oxydes de fer. Il

possède un comportement chalcophile et, en présence d'ions  $HS^-$ , forme des sulfures, soit en se substituant au  $Fe^{2+}$  dans la pyrite ( $FeS_2$ ), en coprécipitant avec  $Fe^{2+}$  dans la pentlandite ( $Fe, Ni_9S_8$ ), en coprécipitant avec  $Fe^{2+}$  et  $Cu^{2+}$  dans la chalcopyrite ( $CuFeS_2$ ), ou sous forme de vaesite ( $NiS_2$ ) ou de millerite ( $NiS$ ).

Les sources de nickel, principalement invoquées en milieu naturel, sont donc les sulfures de fer par coprécipitation, les hydroxydes de fer et manganèse par coprécipitation et surtout par adsorption.

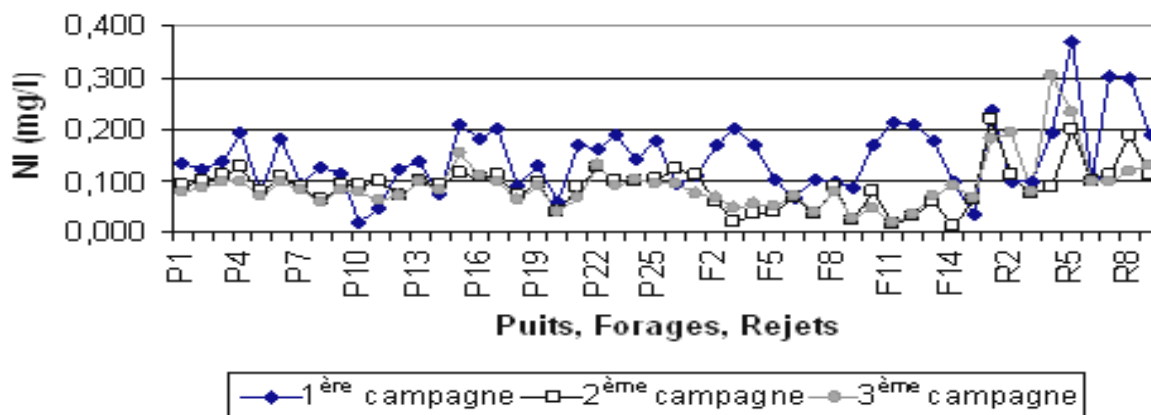


Figure 12. Variations de la teneur en nickel au cours des trois campagnes.

### 3.7 Le manganèse

La norme fixée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 0,4 mg/l pour les eaux potables, est largement dépassée dans la majorité des échantillons. La teneur maximale est de l'ordre de 2,3 mg/l au point P25 de la première campagne par contre, la teneur minimale est observée au point P15 avec 0,035 mg/l. (Fig. 13). Les concentrations les plus élevées caractérisent les rejets (norme algérienne de 1 mg/l), enregistré en valeur maximale à R2 avec 2,73 mg/l (entreprise Protuil et Moulin Beldi). Les eaux de puits sont plus contaminées que les eaux de forages, notamment les puits situés à proximité du cours

d'eau déchargeant les rejets de l'entreprise Protuil (R1, R2) qui est à l'air libre et s'écoule jusqu'à l'Est de la région pour aboutir au lac Fetzara.

Dans la nature, les minerais les plus connus sont la pyrolusite ( $MnO_2$ ), la rhodocrosite ( $MnCO_3$ ) et la braunite ( $Mn^{2+} Mn^{4+} 6[O_8SiO_4]$ ). Le manganèse peut se trouver à des valences différentes (II, III, et IV) et lorsqu'il y a une attaque par l'eau de la roche support en milieu réducteur ou sous l'action de certaines bactéries, il est souvent associé au fer avec lequel il coprécipite par oxydation.

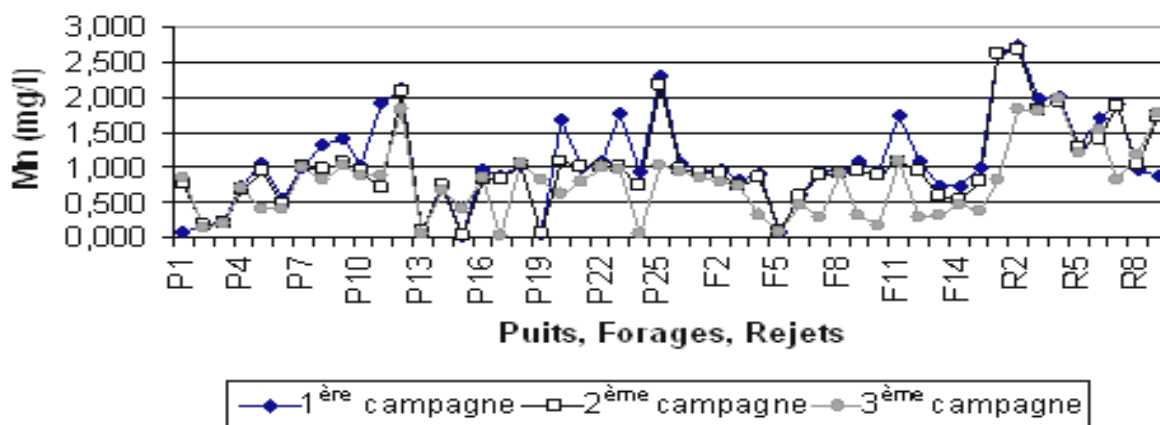


Figure 13. Variations de la teneur en manganèse au cours des trois campagnes

## 4. CONCLUSION

Cette étude a montré l'existence de plusieurs polluants chimiques au niveau des eaux souterraines de la région de Berrahal. Elle a permis également d'identifier l'origine des éléments chimiques responsables de la pollution des eaux, notamment à proximité de la zone industrielle.

Les eaux sont très minéralisées, parfois de mauvaise qualité et non potables dans de nombreux puits et forages. Les rejets des entreprises de Protuil [R1], Moulin Semoule Beldi [R2], Naftal [R3], Savonnerie Nozha [R4], Bona [R8], El Meida [R6] et Fetzara [R9], les activités de stockage de ferraille et de construction métalliques sont les principales causes de cette pollution industrielle. Cette dernière est marquée par la présence des éléments toxiques fer, plomb, nickel et manganèse en fortes quantités.

Les effluents, chargés en éléments toxiques, de quelques entreprises (galvanisation, transformation des métaux, raffinerie...) qui sont rejetés soit à l'air libre soit au niveau du lac Fetzara, constituent une menace pour l'environnement et la santé des habitants qui utilisent ces puits. La nappe profonde des cipolins fissurés se trouve aussi contaminée par quelques éléments polluants, du fait des échanges qui s'effectuent avec la nappe superficielle à travers la couche semi-perméable, ainsi qu'à travers les équipements des ouvrages de captage. Il faut, par conséquent, préconiser et mettre en application, tout mécanisme nécessaire à la protection et à la préservation des différentes ressources en eau répertoriées dans la région, devenues vulnérables à cause de la proximité des sources de pollution.

Enfin, les résultats montrent que l'évolution des teneurs dépend :

- de la proximité des rejets par rapport au point d'observation,
- 
- des facteurs climatiques (notamment de la pluie qui dilue les teneurs),
- 
- de l'épaisseur de la couche de couverture protectrice.

## REFERENCES

- [1] Han F.X., Hargreaves, J., Kingery, W.L., Huggett, D.B. & Schlenk, D.K., 2001. Accumulation, distribution and toxicity of copper in soils of catfish pond receiving periodic copper sulfate applications. *J. Environ. Qual.*, Vol. 30, 912-919.
- [2] Tessier, A., Campbell, P.G.C. & Bisson, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, Vol. 51, 848-851.
- [3] Davis A.P., Shokouhian M. & Ni, S.B., 2001. Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, Vol. 44, 997-1009.
- [4] Gove L., Nicholson F.A. & Beck A.J., 2001. Movement of water and heavy metals (Zn, Cu, Pb and Ni) through sand and sandy loam amended with biosolids under steady-state hydrological conditions. *Biosour. Technol.* Vol. 78, 171-179.
- [5] Kunwar P., Singh Dinesh M., Vinod K. Singh & Amrita M., 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments-a tributary of the Ganges, India. *J. Hyd.* 312, 14-27.
- [6] Lemièrre B., Seguin J. J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger Ph., Darmendrail D. & Conil P., 2001. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Doc. BRGM 300, 121p.
- [7] Khelifaoui H., Chaffai H. & Hani A., 2008. Impact des activités industrielles sur la qualité des eaux de la région de Berrahal, Colloque International "Terre et Eau", 17, 18 & 19 Novembre 2008, Annaba, Algérie.
- [8] Khelifaoui H., & Hani A., Chaffai H., 2009. Etude de la pollution des eaux souterraines en métaux lourds et leur Impact sur l'environnement, cas de la région de Berrahal, 3<sup>ème</sup> Colloque International sur "la gestion des ressources en eau". Tipaza - 27 & 28 Janvier 2009, Annaba, Algérie.
- [9] Djamaï R., Daoud Y., Ouardi J., Laifa A., Fadel D., Benslama M. & Vallès, V., 2006. Mathematical Simulation the Climatic variability. Estimation of the Water Balance of the Overturning Pond of the Fetzara Lake (Algerian North-East). *European Journal of Scientific Research*, Vol. 13, No 2 February, 267-274.
- [10] Hammor D. & Lancelot J., 1998. Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie). *C.R.A.S., Paris*, 327, série II, 391-396.
- [11] Ilavsky, J. & Snopkova, P., 1987. Découverte d'Acritarches paléozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough, Annaba, Algérie, *C.R.A.S., Paris* 305 (série II), p.881-884.
- [12] World Health Organization (WHO), 2008. Guidelines for drinking-water quality, third edition incorporating the first and de second addenda, Volume 1, Recommendations, ISBN 978 92 4 154761 1 (NLM classification: WA 675). 668p, Genève.
- [13] Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, 2006. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels. N°26, Annexe I.
- [14] Descotes M., 2001. Évolution d'une perturbation oxydante en milieu argileux : Mécanisme d'oxydation de la pyrite. Thèse, Université Paris VII, 358 p.
- [15] Cavallaro N. & McBride M.B., 1978. Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 550-556.
- [16] Dudley L.M., McLean J.E., Sims R.C. & Jurinak J.J., 1988. Sorption of copper and cadmium from the water soluble fraction of an acid mine waste by two calcareous soils. *Soil Sci.*, Vol. 145, 207- 214.
- [17] Dudley L.M., McLean J.E., Furst T.H. & Jurinak J.J., 1991. Sorption of Cd and Cu from an acid mine waste extract by two calcareous soils: column studies. *Soil Sci.*, Vol. 151, 121-135.