

L'Impact des rejets miniers sur la qualité des eaux et des sédiments encaissants du Barrage de Sidi el Barrak (Région de Nefza Nord-Ouest Tunisien)

MOHAMED YASSINE ABID¹, LASSAÂD BEN AISSA² & SAÏD TLIG¹

¹ *faculté des sciences de Tunis. Campus universitaire 2092- Tunis*

² *faculté des sciences de Bizerte, zarzouna- Bizerte*

¹ *faculté des sciences de Tunis. Campus universitaire 2092- Tunis*

Abstract: The dam of Sidi El Barrak was founded in 1999 in Zouarra river (the extreme north west of Tunisia). The geochemical study of sediments in the basin and the dam's reservoir has revealed high density of sediments: 300 mg/kg for As, 200 mg/kg for Pb and 2400 mg/kg for Mn. The spatial distribution of these intense concentrations was limited to three zones associated with an old hydrothermal activity in relation with magmatism of Oued Belif's structure to the North of the reservoir. Some samples of water were taken from different locations of the reservoir area and analysed by ICP. They revealed very high concentrations specially for As (35µg/l), Mn (900µg/l) and Pb(26µg/l). These contents witness the influence of the mines of lead and zinc near the dam. The primary results show that the high concentrations of trace elements in sediments have a major impact on the quality of the water in the reservoir which may degrade in time.

Résumé : Le barrage de Sidi El Barrak a été implanté en 1999 sur l'oued Zouaraâ (l'extrême Nord Ouest tunisien). L'étude géochimique des sédiments au niveau de la retenue et du bassin versant a montré des concentrations élevées au niveau des sédiments soit : 300 mg/kg pour l'As, 200 mg/kg pour le Pb, et jusqu'à 2400 mg/kg pour le Mn. La répartition spatiale de ces teneurs élevées, se limite presque exclusivement à trois zones fortement anormales, en relation avec une activité hydrothermale ancienne associée surtout à un magmatisme bimodal connu au niveau de la structure de l'oued Bélif au Nord de la retenue. Des échantillons d'eau, ont été prélevés et analysés par Icp, ont montré aussi des taux anormaux surtout pour l'arsenic (35 µg/l), le manganèse (900µg/l) et plomb (26 µg/l). Ces valeurs témoignent de l'influence des mines de plomb et du zinc proches du site du barrage. Les résultats primaires montrent ainsi une influence certaine des fortes concentrations des sédiments en éléments traces sur la qualité de l'eau du barrage qui risque de se dégrader au fur du temps.

Keywords: heavy metal, pollution, magmatism, hydrothermalism, health, mines

INTRODUCTION

Le barrage de Sidi El Barrak fait partie de la délégation de Nefza du gouvernorat de Béja. Il se situe au Nord-Ouest de la feuille à 1/50 000 de Nefza. La digue du barrage est construite sur l'oued Zouaraâ à 2 Km de la côte méditerranéenne (Fig.1). La zone de la retenue du barrage couvre une superficie d'environ 2500 hectares inondant les secteurs de Zouaraâ, Bélif, Maktaâ El Hadid et Ouechtata. La capacité de la retenue est d'environ 250millions de mètres cubes et les eaux stockées proviennent d'un bassin versant à réseau hydrographique très ramifié. La géologie de la région est caractérisée par plusieurs traits structuraux qui sont généralement associés aux phénomènes responsables de la mise en place des minéralisations souvent polymétalliques, ainsi que du transfert et la dispersion en surface d'éléments géochimiques divers (Sainfeld, 1956; Rouvier, 1977; Slim Shimi, 1994). L'accident Cap-Serrat Ghardimaou c'est un accident majeur de direction générale NE-SW est souvent le siège d'injections triasiques extrusifs généralement accompagnées par la mise en place de plusieurs gîtes minéraux plombo-zincifères (les gîtes : de Sidi Driss , Ain El Allega et 'Oued El Maden) (Sainfeld, 1956). La région de Nefza est caractérisée aussi par un volcanisme bimodale dont l'âge compris entre le Serravalien et le Messénien qui empreinte généralement la direction ENE -WSW à E -W formant ainsi un axe volcanique associé généralement à des minéralisations filoniennes d'hématite largement cristallisées, et d'hydroxydes de manganèse encaissés surtout dans les rhyodacites (Halloul, 1989; Ben Aissa et Guedria, 1992).Ce contexte minier relativement riche pose le problème d'une pollution d'origine naturelle pouvant atteindre les eaux de surfaces au niveau du réseau hydrographique et la retenue du barrage. Plusieurs auteurs ont signalé les risques liés à ce type de pollution en métaux lourds et surtout pour As , Pb, Zn et Mn qui peut être à l'origine de plusieurs maladies tel que la «maladie du pied noir» liée à la consommation des eaux contenant des concentrations élevées en As (Tseng et al., 1968; Tseng, 1977),et plusieurs cas de cancer surtout chez les enfants (Tseng, 1977). Les objectifs de ce travail sont : l'étude de la répartition spatiale des éléments en traces au niveau des sédiments du bassin versant afin de déterminer les zones à l'origine d'une éventuelle pollution et l'évaluation de l'état de pollution actuelle des sédiments et des eaux du barrage en se référant à certaines normes nationales et internationales.

MATERIEL ET METHODES

Le site étudié

La région de Nefza, localisée dans l'étage climatique humide est caractérisée par une forte pluviométrie annuelle pouvant atteindre 900 mm/ an. Le Barrage de Sidi El Barrak a été mis en eau en 1999. La digue, installée sur l'oued Zouaraâ à 2 Km de la côte, permet de bloquer à peu près 265 millions de mètres cubes d'eau. La zone de la retenue forme un bassin très étendu au niveau de la vallée de l'oued Ez Zouaâra, ainsi qu'au niveau des portions inférieures des vallées d'oued Melah, Maâden, Bouzenna. La superficie de la retenue atteint 2734 hectares et le niveau normal de l'eau y atteint l'ordre de 27 mètres par rapport au zéro de la mer. Le barrage de sidi El Barrak doit répondre à un triple objectif : dans le domaine de l'eau potable, la mobilisation de 190M mcube par an. Dans le domaine agricole : l'amélioration de la qualité des eaux destinées à l'irrigation dans la région du cap bon et la création de l'ordre de 5500 ha de périmètres irrigués dans la zone de Sejanan, Nefza et au plan écologique la création un élément essentiel dans le cadre de la stratégie globale du maintien de l'équilibre de l'écosystème du parc d'Ichkeul. De point de vue technique le barrage comprend : Une digue en terre (de 595m de longueur et 28 m de hauteur) , un évacuateur de crue , un vidange de fond et une station de pompage.

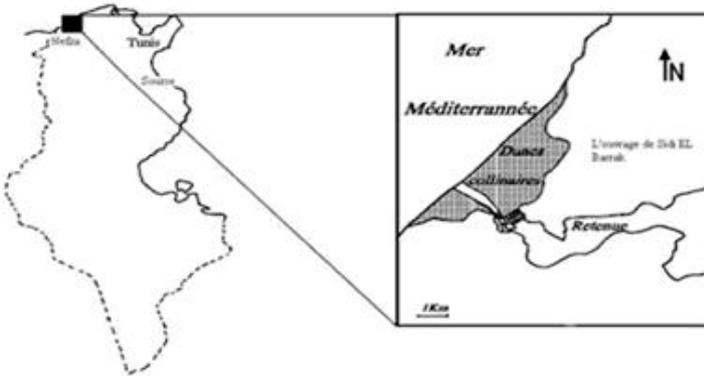


Figure 1. localisation du secteur d'étude

l'Echantillonnage

L'étude géochimique du bassin versant du barrage de Sidi El Barrak va se baser essentiellement sur des données fournies par un travail mené par le service de géochimie de l'Office Nationale des Mines (Ben Aïssa et Guedria, 1992) dans le cadre d'une prospection géochimique de la feuille de Nefza. Au niveau du bassin versant le type d'échantillonnage opté est de type « stream sédiments ». La densité d'échantillonnage réalisé par l'équipe de prospecteur de l'ONM est de l'ordre de 2 à 4 échantillons au Km² (Fig.2). Des échantillons d'eau ont été prélevés aussi au niveau des oueds principaux alimentant le bassin versant du barrage savoir : l'oued El Maâden et l'oued Bélif. D'autres échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés à l'embouchure de ces oueds avec la retenue du barrage.

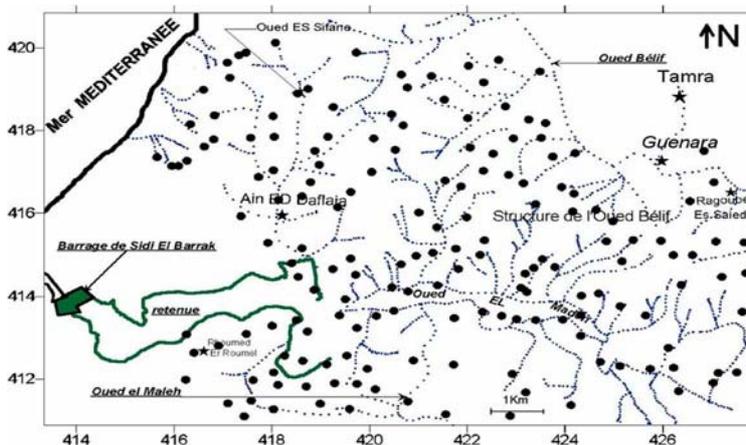


Figure 2. Localisation des points d'échantillonnage « stream sédiment » au niveau du bassin versant

Les analyses.

L'analyse des métaux lourds, se fait généralement au niveau de la fraction fine des sédiments inférieure à 63 µm. Il est généralement admis que cette fraction concentre les valeurs les plus élevées en éléments traces (Delmas -Gadras .

2000). Les échantillons « stream sediments » ont été séchés à 40°C et tamisés à sec. La fraction inférieure à 160 µm a été analysée par spectrométrie d'émission à plasma dans les laboratoires de l'Office National des Mines.

Les échantillons d'eau prélevés, ont été partagés pour chaque échantillon en 4 fractions : une fraction filtrée, une filtrée acidulée, une acidulée et la dernière laissée à l'état brute. Les analyses effectuées ont été menées sur les fractions brutes acidulées et filtrées acidulées, par spectrométrie d'émission à plasma dans les laboratoires de l'ONM.

Afin de mieux interpréter les données géochimiques, les résultats obtenus ont subi un traitement informatique dans le but de réaliser des cartes de répartition d'isoteneurs géochimiques monoélémentaires. Pour ceci, la version sept du logiciel Surfer a été utilisée.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les moyennes locales et les seuils anomaux de pollution

L'étude de l'impact des apports en éléments polluants dans le bassin versant et la retenue du barrage de Sidi El Barrak, sera basée essentiellement sur la comparaison des données géochimiques avec les seuils et normes internationales de pollution (lorsqu'ils sont disponibles) et les valeurs des moyennes locales. Cependant la fixation de ces références à l'échelle mondiale, reste très délicate. En effet, les normes varient parfois d'un continent à l'autre ou d'un pays à l'autre voir même d'une région à l'autre. Cette variation, parfois spectaculaire, est due au fait que ces seuils sont fixés par des études épidémiologiques (sur l'homme) ou expérimentales (sur les animaux). Ces études ne fournissent pas toujours des résultats concordants. Ainsi et vu la difficulté d'établir des normes de pollution fixes nous opterons de la manière suivante : pour les sédiments, nous fixerons comme seuil anormal, la valeur de la teneur moyenne locale de l'élément chimique dans la région couverte par la carte à 1/50.000 de Nefza. Les moyennes pour les divers éléments chimiques sont établies par traitement statistique (Ben Aïssa et Guedria, 1992). Pour évaluer l'état de pollution des sédiments et des eaux, les concentrations des différents éléments seront comparées à quelques seuils de pollution à l'échelle mondiale (les recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments d'eau douce en vu de la protection de la vie aquatique 2002, et les normes européennes) (tableau1).

Tableau.1. Clark régionaux et normes mondiales de pollution dans les eaux et les sédiments

Eléments	Sédiments	Eau	
	Normes mondiales de pollutions (ppm)	Clark régional (normes tunisiennes de potabilité) (µg/l)	Normes mondiales de potabilité (µg/l)
L'arsenic	17 – 60	-	10-25
Le cadmium	0.6	5	5
Le plomb	91.3	500	50-10
Le zinc	315	5000	5000
Le cuivre	35	500	50
Le chrome	37.7	-	-
Le manganèse	-	500	500
L'antimoine	-	-	6

Références :

- Recommandation pour la qualité des eaux Canada (1987).
- Rapport d'évaluation de l'arsenic et ses composés (1993).
- Smedley et Kinniburgh (2001).
- Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé (2001).
- Ministère Nationale de l'environnement.
- Recommandations Canadiennes pour la qualité des sédiments (2002).
- Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (2003).

Cartes d'isovaleurs et état de pollution des sédiments au niveau du bassin versant l'Arsenic

L'étude de la répartition des teneurs en arsenic au niveau du bassin versant (Fig. 3) montre une différenciation d'au moins trois zones anormales où les teneurs excèdent largement la valeur moyenne locale fixée pour cet élément (20 ppm) et pouvant dépasser les 225 ppm. Deux de ces zones anormales, d'ailleurs les plus importantes, semblent être liées aux affleurements volcaniques rhyodacitiques de Ragoubet Essaïed et de Ain Ed Daflaia. La troisième zone anormale est localisée au niveau de la zone d'inondation à l'extrémité Est de la retenue. La relation directe des anomalies en As avec la nature des roches volcaniques est peu probable compte tenu des teneurs normalement faibles en As dans de telles roches avec des moyennes de l'ordre de 2.1 ppm dans les granites (Tab.1) et de 3.2 à 5.4 ppm dans les rhyolites (Smedley et al, 2002). Dans les minerais on rencontre souvent l'arsenopyrite associé avec les dépôts riches en sulfures généralement en relation avec une activité hydrothermale qui fournit les conditions optimales de la formation de ce type de minéralisation. Il est ainsi aisé de rapporter une partie des anomalies en arsenic avec les activités hydrothermales et surtout épithermales associées au volcanisme acide de la région. En ce qui concerne l'anomalie localisée dans la retenue, elle coïncide parfaitement avec les affleurements triasiques de Roumed Er Roumel. Ceci laisse supposer une relation de celle-ci avec des minéralisations profondes ayant comme une origine, les solutions chargées en relation directe avec les montées thermominérales à travers les accidents associés au Trias de la localité de Rhoumed Er Roumel. L'arsenic en solution peut être éliminé par absorption biotique, sur les hydroxydes de fer ou de manganèse ou sur les particules d'argile par fixation sur la matière organique ou, plus rarement, par précipitation ou coprecipitation (Korte & Fernando, 1991; Goldberg & Johnston, 2000; Smedley & al 2001). Ces processus aboutissent rapidement à l'élimination de l'arsenic dissous de la plupart des eaux de surface. Cependant, les sédiments ne sont pas considérés comme un accumulateur permanent d'arsenic, vu qu'une partie de l'arsenic sédimentaire peut toutefois être libérée dans les eaux interstitielles soit lors d'un changement brutal des conditions physico-chimiques du milieu, soit au cours de la décomposition de la matière organique ou de la dissolution des hydroxydes de fer ou de manganèse dans des conditions anaérobiques résultant de l'enfouissement des sédiments. D'un autre côté, l'arsenic ainsi que ces diverses formes, est considéré comme l'un des métaux les plus toxiques dans la nature. À ce titre, le ministère canadien de l'Environnement et de la Santé Nationale et du Bien-être Social, dans un rapport d'évaluation publié en 1993, le classe comme étant un composé de haute toxicité. Les recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments d'eau douce, fixent le seuil de 17 ppm comme une limite à ne pas dépasser au niveau des sédiments. Les normes françaises considèrent qu'une valeur de l'ordre de 60 ppm au niveau du sol, est suffisante pour qualifier ce dernier comme étant contaminé. L'impact de ces fortes concentrations en Arsenic au niveau des sédiments du bassin versant, peut se révéler aussi très néfaste pour les végétaux. En effet certaines plantes vasculaires sont très sensibles à l'arsenic contenu dans le sol. Ainsi chez le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*), par exemple, la croissance a été réduite de 40 à 60% par l'exposition à un sol contenant 10 mg As (V)/kg (10 ppm) et 25 mg As(III)/kg (25 ppm) (Jacobs et al., 1970; Woolson, 1973). Une réduction de la croissance d'environ 40% a été constatée chez l'épinard exposé à une concentration de 10 mg As/kg (10ppm) (Woolson, 1973).

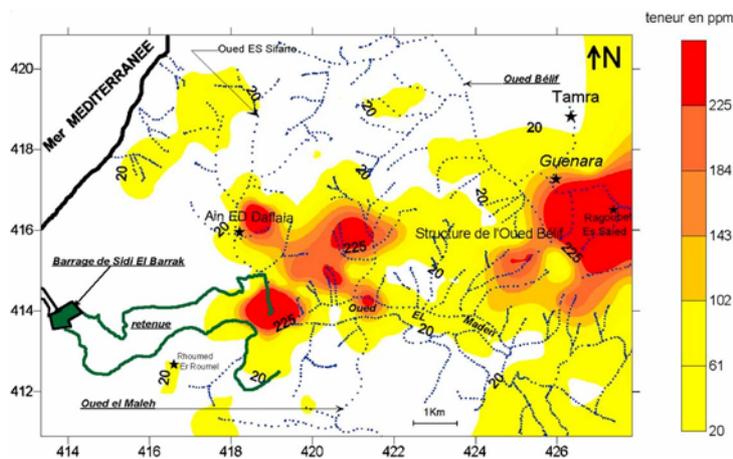


Figure 3. Courbes d'isoteneurs d'arsenic

Le Plomb et le Zinc.

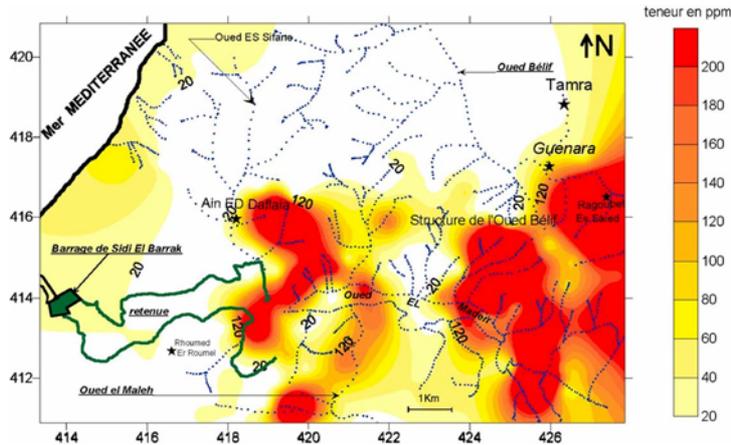


Figure 4. courbe d'isoteneurs du Plomb

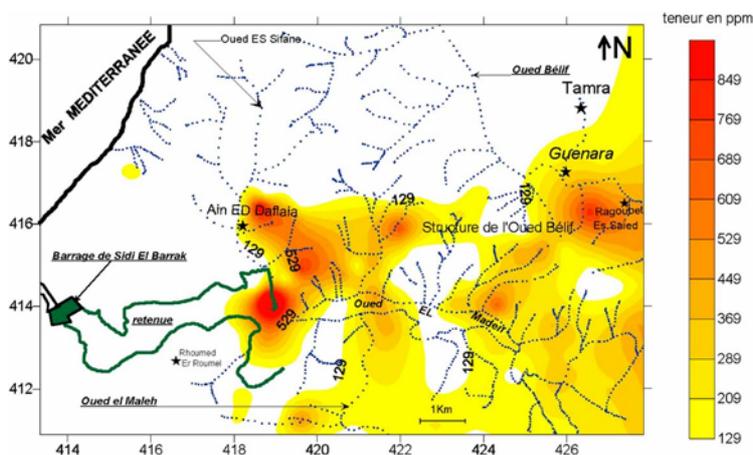


Figure 5. courbe d'isoteneurs du Zinc

L'étude de la répartition des teneurs en Pb-Zn montre, mis à part le contraste, des cartes parfaitement superposables, on distingue une anomalie principale au milieu de la carte au niveau de la lame Triasique de Rhoumed Er Roumel, qui s'étend vers le Nord dans le secteur de Ain Ed Daflaia. Cette anomalie est associée à une double origine : dans la région de Rhoumed Er Roumel, elle est reliée à l'effet minéralisateur des solutions hydrothermales à travers les accidents associés à la montée triasique (Sainfeld ,1952; Laater ,1980; Halloul ,1989), et dont la source provient des dépôts néogènes en contact avec le Trias. Au niveau du secteur de Ain Ed Daflaia, l'anomalie en Pb-Zn est plutôt reliée au magmatisme de Ain Ed Daflaia. Les teneurs enregistrées, et qui dépassent les 800 ppm en Zn et 200 ppm en Pb, sont aussi accompagnées par des fortes teneurs en As, Cd, Co, Ni attestant ainsi une origine liée au volcanisme et à l'hydrothermalisme associé (Ben Aissa & Guedria 1992; Yu lein et al 2001). Il est aussi à signaler que les teneurs les plus élevées en Pb-Zn qui coïncident avec la partie Est de la retenue du barrage aujourd'hui inondée constituent une sérieuse menace de pollution.

Qu'il s'agit donc d'anomalies d'origine triasique, volcanique, ou mixte, il est certain que les concentrations en zinc et en plomb encaissées dans les sédiments de la région de Nefza et à proximité du Barrage sont trop élevées et dépassent les valeurs maximales admissibles par la norme canadienne pour les sédiments.

Le Manganèse

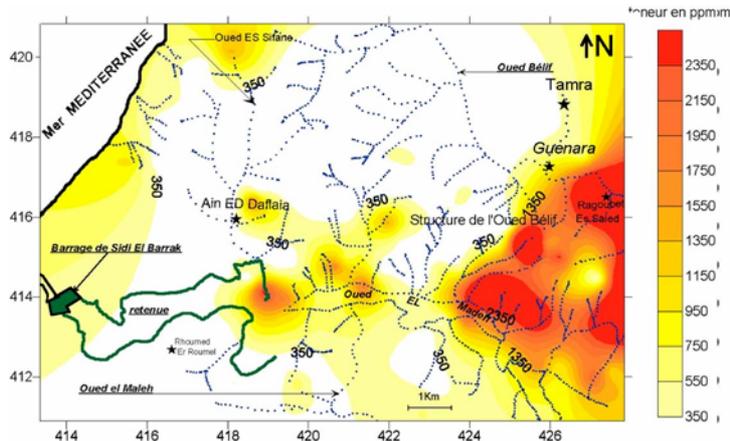


Figure 6. courbes d'isoteneurs du Manganèse

Pour le manganèse on distingue une large zone anormale à l'Est de la carte. La liaison de cette anomalie avec une origine profonde et le magmatisme de la région, est parfaitement plausible vue, d'une part, la coïncidence des teneurs les plus élevées aux environs des affleurements volcaniques et d'autre part, le fait que les valeurs enregistrées dépassent les moyennes normales des roches sédimentaires.

Interprétation des données géochimiques des eaux.

Une dizaine d'échantillons ont été prélevés au niveau de l'oued Maâden et l'oued Bélif ainsi qu'au niveau des rives Nord-Ouest et Nord-Est de la retenue du barrage (Fig.7)

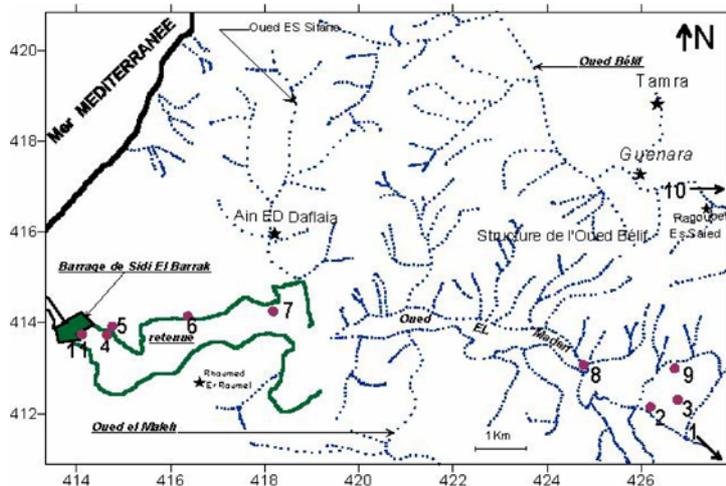


Figure 7. Localisation des points d'échantillonnage d'eau au niveau de la retenue et du bassin versant du barrage de Sidi El Barrak.

L'Arsenic : état de pollution et artefact

L'examen du diagramme d'arsenic rend compte que les fortes teneurs sont enregistrées à l'oued Bélif traversant l'anomalie de Ragoubet Es Saied ainsi qu'au niveau du barrage où les concentrations atteignent $35 \mu\text{g/L}$. Au niveau de oued Es Sifane qui traverse l'anomalie de Ain Ed Daflaia ainsi qu'au niveau de l'embouchure de oued El Maâden, les teneurs restent aussi assez élevées atteignant $25 \mu\text{g/L}$ (Fig.8)

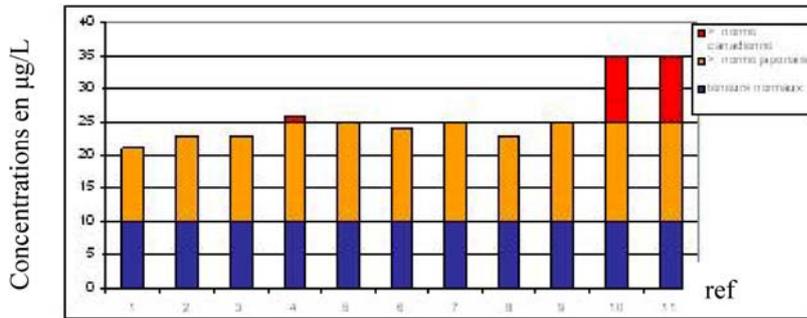


Figure 8 . Concentrations des eaux en arsenic. Position par rapport aux normes japonaises et canadiennes de potabilité de l'eau

plusieurs études dans différentes localités du monde, ont montré une association étroite entre la contamination des eaux potables par l'arsenic et :

- une prédisposition accrue à la «maladie du pied noir» (une maladie vasculaire périphérique aboutissant à la gangrène des orteils et des pieds). Ceci a été mis en évidence dans une population de 40 421 résidents de Taiwan qui s'approvisionnaient par des puits dont l'eau contenait jusqu'à 1,82 p.p.m.(1820 µg/L) en arsenic (Tseng et al., 1968; Tseng, 1977).

- les effets nocifs sur la peau, tel que l'hyperkératose des paumes et des plantes des pieds, et l'hyperpigmentation. En plus, une relation a été établie entre le cancer de la peau chez 40 421 individus vivant dans 37 villages à Taiwan et une concentration en arsenic dans l'eau potable de l'ordre de 1,82 p.p.m. (1820 µg/L) (Tseng, 1977).

De plus, les résultats d'une étude épidémiologique analytique indiquent qu'il existe une association entre l'ingestion d'arsenic dans l'eau potable et le cancer de poumon. Cette étude a porté sur les résidents de la préfecture de Nagata, au Japon, où l'eau potable contenait jusqu'à 3,0 p.p.m.(3000 µg/L) d'arsenic (Rapport D'évaluation de l'Arsenic et ces composés 1993).

Il est donc clair, que les teneurs en arsenic enregistrées dans les eaux du barrage et malgré qu'ils sont considérées comme étant polluantes, ne sont pas aussi préoccupantes sur le plan de la santé humaine. Par contre, ceci est loin d'être évident sur le plan agricole où plusieurs études ont montré qu'une teneur de l'ordre 10 µg/l dans les eaux de surface, peut provoquer des effets chroniques entraînant une réduction remarquable de la croissance chez plusieurs espèces végétales. (Rapport d'évaluation de l'arsenic et ces composés 1993).

Le plomb : état de pollution et artefact.

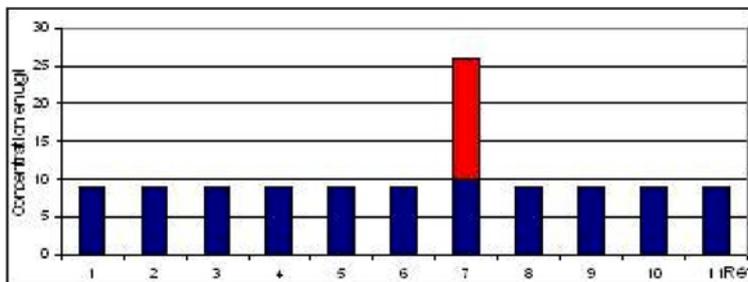


Figure 8 . Concentrations des eaux en Plomb. Position par rapport au canadienne de potabilité de l'eau

L'effet de l'intoxication en plomb, est plus ressenti chez les jeunes enfants. Chez les adultes, la toxicité du plomb ne se manifeste qu'au delà d'un certain âge. Elle se traduit par des signes cliniques bien connus tel que le saturnisme aigu et chronique (Intoxication rare, qui s'accompagne de violentes douleurs intestinales avec constipation et des troubles neuropsychiques) (R.S.I.S.P). Au plan agricole, il est certain que l'excès en plomb est nuisible à la croissance de presque la totalité des végétaux. Ainsi on peut considérer que les teneurs en plomb enregistrées sont généralement acceptables mis à part celle des eaux de oued Es Sifane qui est considérée comme polluante par rapport à la norme canadienne de potabilité d'eau.

Le Manganèse : état de pollution et artefact.

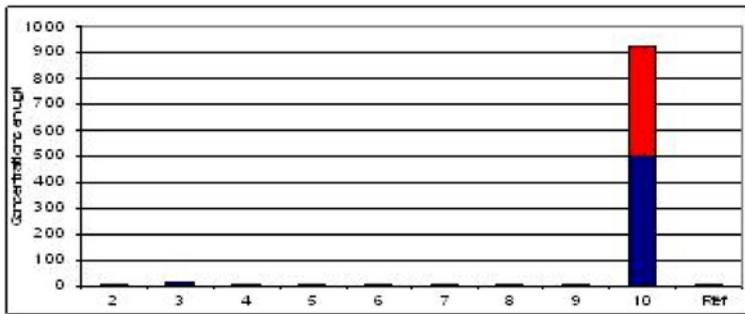


Figure 9. Les concentrations des échantillons d'eau en Manganèse par rapport à la valeur maximale admissible en Tunisie, Canada et l'Europe pour la potabilité. (500 µg/L).

Pour la majorité des échantillons d'eau prélevés, les valeurs enregistrées se situent au dessous des normes de potabilité fixées par les normes tunisiennes, canadiennes, et européenne soit 500 µg/L. Pour le cas des eaux de l'oued Bélif, elles sont considérées comme polluantes et toxiques. Ceci confirme les résultats rencontrés au niveau des sédiments qui ont montré l'oued Bélif comme une source de pollution par le manganèse. De point de vue toxicité le manganèse, à des doses supérieures à 500 µg/L, peut être à l'origine de plusieurs problèmes de santé. Il agit essentiellement au niveau du système respiratoire et au niveau du cerveau. Les symptômes d'un empoisonnement au manganèse sont des hallucinations, un manque de mémoire, et des problèmes aux nerfs.

CONCLUSION

Le barrage de Sidi El Barrak, joue aujourd'hui un rôle primordial dans le stockage, et l'exploitation des eaux de surface dans le Nord- Ouest tunisien. L'étude géochimique menée sur cet ouvrage, a permis de dresser l'état de pollution des sédiments du bassin versant et des eaux de la retenue. On a pu montrer au moins trois zones anormales au niveau des sédiments : au niveau de oued Bélif, au niveau du réseau de drainage de oued Maâden, oued El Malèh, et au Nord-Est du barrage au niveau des affleurements magmatiques de Ain Ed Daflia. Dans ces zones anormales, le contraste des teneurs est élevé et dépasse plusieurs fois les seuils de tolérances internationales établis en particulier en France et au Canada. Ces teneurs anormales sont ainsi considérées particulièrement polluantes et toxiques notamment pour l'arsenic (jusqu'à vingt fois le seuil de tolérance par rapport à la norme canadienne), le zinc (jusqu'à trois à quatre fois la norme Canadienne). L'analyse des échantillons d'eau, prélevés dans différentes localités de la retenue, indique que l'oued Belif et l'oued Mâaden constituent une source de pollution des eaux de la retenue du barrage de Sidi El Barrak. Les teneurs enregistrées pour le Pb, As et Mn, sont considérées comme polluants par rapport aux normes internationales de potabilité de l'eau et toxiques surtout pour le Pb et As au plan biologique et écologique. Enfin, si l'on prend en considération que parmi les objectif de la réalisation du barrage de Sidi El Barrak était le rétablissement de l'équilibre de l'écosystème du lac Ichkeul en perpétuelle dégradation (Ben M'Barek, 2000), cet objectifs risque de ne pas être atteint si la qualité des eaux transférées, ne sera pas contrôlée et traitée lorsque c'est nécessaire.

Corresponding author: ABID Mohamed Yassine, unité de recherche UR GAMM, département de géologie, faculté des sciences de Tunis, université Tunis El Mannar, campus universitaire 2092 – Tunis; tel 00216 22659567 E-mail : yassinovic2000@yahoo.fr

RÉFÉRENCES

- Ben Aissa, L. et Guedria, A. 1992. : Géochimie stratégique de la feuille de Nefza : volcanisme, hydrothérmalisme, Trias, Minéralisation Cu, pb, Zn et polymétallique rapport interne de l'Office National Des Mines.
- Ben M'Barek .N. 2001. : L'étude de l'écosystème du lac Ichkeul et de son bassin versant : caractéristiques physiques et géochimique des eaux et des sédiments thèse troisième cycle Faculté Des Sciences de Tunis. 205 p
- Delmas- Gardas . C. 2000. : Influence des conditions physico-chimiques sur la mobilité du plomb et du zinc dans un sol et un sédiment en domaine routier ; thèse de doctorats Université de Pau et des Pays De L'Adour U.F.R Sciences . 192p .
- Goldberg. S. et Johnston C.T.2001. : Mechanismes of Arsenic Adsorption on Amorphous Oxides Evaluate Using Macroscopic Measurements, Vibrational spectroscopy, and Surface Complexation Modeling, Journal of Colloid and Interface Science Pp 204 234
- Jacobs, L.W., Keeney D.R., et. Walsh L.M.1970.: Arsenic residue toxicity to vegetable crops grown on Plainfield sand, Agron. J., n° 62, pp. 588-591.
- Korte, N.E. et Fernando, Q. 1991. : A review of arsenic (III) in groundwater, Critical Reviews in Environmental Control, n° 21(1), pp. 1-39.
- LAATAR .S. 1980. Gisements de pb- Zn et diapiirisme du Trias salifère en Tunisie septentrionale, les concentrations priadipiriques du district minier de Nefza- Fedj El Adoum .thèse de troisième cycle faculté des sciences de Tunis 236 p .

- LEIN .A.Yu. , ULYANOVA.N.V., ULYANOV.A.A. G.A.CHERKASHE.V. et STEPANOVA .T.V.2001. Mineralogy and geochemistry of sulfide ores in ocean-floor hydrothermal fields associated with serpentinite protrusions , Russian Journal of Earth Sciences . vol.3, No 5, November 200 .
- Smedley. P.L. et KINNIBURGH .D.G .2002: A Review of the behaviour and distribution of Arsenic in natural Waters Applied Geochemistry n° 17 Pp 517 -5681.
- SLIM SHIMI.N. .1994. : Minéralogie et paragenèses des gîtes polymétalliques de la zone des nappes en Tunisie conditions géochimiques de dépôt et implications génétique. Thèse d'état facultés des sciences de Tunis
- SAINFELD .P.1956 : les gîtes Plombo-Zincifère en Tunisie thèse d'état 270 P.
- Recommandation pour la qualité des eaux Canada : Mars ,1987 Pp.1-6 à 1-4.Conseil Canadien des Ministres Des Ressources et de L'environnement
- Résumé des recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada .2003. Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable du Comité fédéral-provincial-territorial de L'hygiène du milieu et du travail ; Avril 2003 ; www.hc-sc.gc.ca
- Rapport d'évaluation de l'Arsenic et ses composés (1993) : la loi Canadienne de protection de l'environnement ; Gouvernement du Canada, Santé et bien- être social Canada, environnement Canada Groupe Communication Canada – Édition Ottawa, Canada K1A 0S9 , 60 p.
- Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'Environnement et la santé .2001.Par M. Gérard MIQUEL, Sénateur. ; SENAT : Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques , 366 p.
- Recommandations Canadiennes pour la qualité des SEDIMENTS (2002) : protection de la vie aquatique ; Tableaux Sommaires. 7p.
- TSENG.W.P; CHU.SW ; HOW SW ; FONG JM; LIN CS et YEH S .1968. : Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan», J. Nat. Cancer Inst., n° 40, Pp453-463.
- Woolson, E.A. 1973. : Arsenic phytotoxicity and uptake in six vegetable crops , Weed Sci., n° 21 pp. 524-527.