

Impact du site minier abandonné de Zaida sur les eaux du barrage Hassan II (Maroc)

MOHAMED CHAHBOUNE¹

ABDELKADER CHAHLAOU²

ABDELHAMID ZAID²

SMAHANE MEHANNED²

ALI BENMOUSSA³

¹ Université Hassan
Premier
Laboratoire des sciences
et technologies de la santé
Institut supérieur des
sciences de la santé
Complexe universitaire
Route de Casablanca
BP 555
Settat 26000
Maroc
<chahboune20@gmail.
com>

² Université Moulay Ismail
Équipe de gestion et
valorisation des ressources
naturelles
Laboratoire
environnement et santé
Département de biologie
Faculté des sciences de
Meknès
BP 11 201 Zitoune Meknès
Maroc

³ Laboratoire de santé
publique
Direction régionale de
santé Fès-Meknès
Maroc

Tirés à part :

M. Chahboune

Résumé. Le barrage Hassan II, situé dans la province de Midelt, figure parmi les barrages les plus importants du Maroc. Il a comme vocations principales la production de l'eau potable et l'irrigation. Or, l'emplacement de ce barrage, à environ 10 km en aval du site minier abandonné de Zaida, nous a incités à mener cette étude qui a pour objectif d'évaluer la contamination des eaux de ce barrage et de ses deux principaux affluents, l'oued Moulouya et l'oued Ansegmir, par certains éléments métalliques indésirables (zinc et cuivre) et par certains éléments métalliques toxiques (plomb, cadmium et arsenic). Au total, 24 échantillons ont été prélevés au cours de la période d'étude allant de novembre 2011 à août 2012. Les résultats issus des différentes analyses ont permis de mettre en évidence des teneurs inquiétantes en plomb et en cadmium au niveau des eaux du barrage Hassan II. En effet, les teneurs en plomb et en cadmium ont dépassé les valeurs impératives des différentes catégories proposées par la norme marocaine des eaux destinées pour la production de l'eau potable. La contamination métallique de ce plan d'eau constitue un vrai risque pour la santé des usagers.

Mots clés : risque ; métaux lourds ; pollution de l'eau ; Maroc.

Abstract

Impact of the abandoned Zaida mining site on the Hassan II dam waters (Morocco)

The Hassan II dam, located in the province of Midelt, is one of the largest dams in Morocco. Its main purposes are drinking water production and irrigation. However, the location of this dam, about 10 km downstream from the abandoned mining site in Zaida, prompted us to conduct this study, which aims to assess the contamination of the water of this dam and its two main tributaries, the Moulouya and Ansegmir wadis, by undesirable metal elements (zinc and copper) and by some toxic metals (lead, cadmium, and arsenic). In total, 24 samples were collected during the study period (November 2011 to August 2012). The results of the various analyses reveal disturbing levels of lead and cadmium in the Hassan II dam waters, exceeding the mandatory limit values of the different categories proposed by the Moroccan standard for water intended for the production of drinking water. The metal contamination of the water of this dam constitutes a real health risk for users.

Key words: risk; heavy metals; water pollution; Morocco.

Les ressources hydriques du Maroc sont à la fois limitées et soumises à des pressions anthropiques accompagnées d'une dégradation croissante de leur qualité [1].

Le barrage Hassan II, dont les caractéristiques morphométriques et hydrologiques sont rapportées dans le *tableau 1*, est une réserve d'eau destinée à l'irrigation et la production d'eau potable. Il est implanté au centre-est du Maroc (*figure 1*) [2] à la haute Moulouya. Cette dernière est considérée comme l'une des principales régions métallogéniques du Maroc ; elle recèle un gisement plombo-cupro-zincifère important [3]. Nous y comptons plusieurs sites miniers abandonnés dont Aouli, Mibladen et Zaida. Trente-trois ans après la cessation des activités minières dans ces différents sites (les périodes d'activités du site d'Aouli-Mibladen et de Zaida sont respectivement 1936-1985 et 1972-1985) [4], les déchets miniers produits suite à l'exploitation sont toujours à l'air libre sans aucune réhabilitation et constituent le principal problème environnemental de la région. Le site minier de Zaida présente la particularité d'être localisé à 10 km en amont du barrage et les lixiviats de leurs résidus se retrouvent directement dans les eaux du barrage.

Deux études antérieures ont incriminé le site minier de Zaida dans la dissémination des éléments traces métalliques tout au long de l'oued Moulouya par le biais du phénomène d'érosion hydrique et/ou éolien [5, 6]. Une autre étude plus récente a conclu que l'édification du barrage Hassan II sur l'oued Moulouya a limité le transfert des polluants métalliques, émanant du site minier abandonné de Zaida, vers la partie aval de l'oued Moulouya [7]. Toutes ces données nous ont incités à entreprendre cette étude, qui a pour objectif principal d'évaluer l'impact du site minier abandonné de Zaida sur les eaux du barrage Hassan II ; ceci *via* une caractérisation des éléments métalliques dissous contenus dans les eaux dudit barrage et certains de ses affluents.

Précipitations et données hydrologiques

Précipitations

Les données brutes relatives aux précipitations mensuelles, au niveau des deux stations de jaugeage Ansegmir et Zaida situées en amont du barrage (*figure 2*), ont été récupérées auprès de l'agence du bassin hydraulique de Moulouya (annexe de Midelt). Au cours du cycle hydrologique étudié, les variations des pluies tombées étaient presque identiques (*figure 3*). Le mois le plus pluvieux était novembre. La hauteur annuelle des précipitations pluviales était 117,70 mm à la station de Zaida et 132,4 mm à la station d'Ansegmir. La région est occasionnellement sujette à des précipitations neigeuses dont la durée est de l'ordre de 8,3 jours par an en moyenne [8].

Débit des affluents

Au cours de la période d'étude, les débits moyens mensuels aux deux stations de jaugeage Zaida et Ansegmir (*figure 2*) ont montré que le régime hydrologique de l'oued Moulouya évoluait presque de la même façon que celui de l'oued Ansegmir (*figure 4*). Toutefois, à l'exception du mois de novembre, les débits moyens mensuels de l'oued Ansegmir étaient plus importants que ceux de l'oued Moulouya. Ce dernier présentait un débit moyen maximal de l'ordre de 3,43 m³/s au mois de novembre contre un débit moyen maximal de 3,88 m³/s au mois d'avril pour l'oued Ansegmir.

Matériels et méthodes

Le bassin-versant du barrage est drainé principalement par les deux oueds Moulouya et Ansegmir.

Tableau 1. Caractéristiques morphométriques et hydrologiques du barrage Hassan II [2].

Table 1. Morphometric and hydrological characteristics of the Hassan II dam [2].

Caractéristiques hydrologique et générale du bassin versant et de la retenue		Aire naturelle du bassin versant : 3 300 km ² Apport moyen annuel : 220 millions de m ³ (Mm ³)
Caractéristiques de la retenue		Niveau de la retenue à la cote normale : 1 370 NGM (nivellement général du Maroc) ; aire de la retenue à la cote normale : 12,7 km ² ; volume de la retenue à la cote normale : 400 Mm ³ ; volume régularisé moyen annuel : 100 Mm ³
Caractéristiques des ouvrages	Barrage	Type : poids en béton compacté au rouleau (BCR) ; hauteur maximale sur fondation : 115 m ; longueur en crête : 600 m ; largeur en crête : 7 m ; terrain de fondation : granite ; cote de la crête : 1 375 NGM ; volume du corps du barrage : 600 000 m ³
	Vidange du fond	Cote du seuil : 1 298 NGM
	Prise d'eau potable	Type : tour bétonnée avec quatre niveaux de prise ; 1 323, 1 333, 1 343 et 1 353 NGM ; débit maximum : 1 m ³ /s
	Prise agricole	Cote de la prise : 1 315 NGM

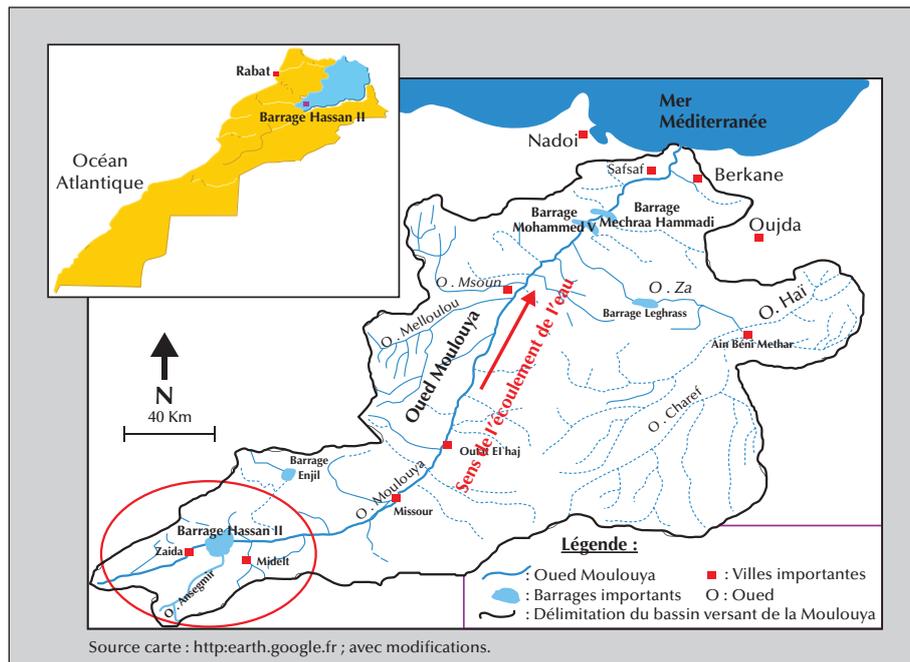


Figure 1. Situation géographique du barrage Hassan II au sein du bassin de la Moulouya [2].

Figure 1. Geographical situation of Hassan II dam in the Moulouya Basin [2].

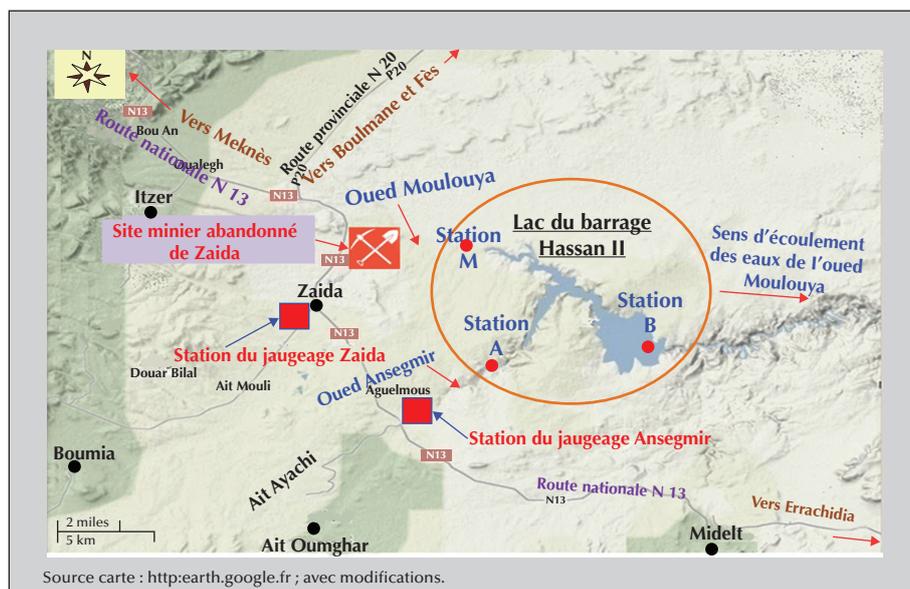


Figure 2. Localisations des stations d'échantillonnage au niveau du lac du barrage Hassan II et de ses affluents.

Figure 2. Localisation of sampling stations at the lake of the Hassan II dam and along its tributaries.

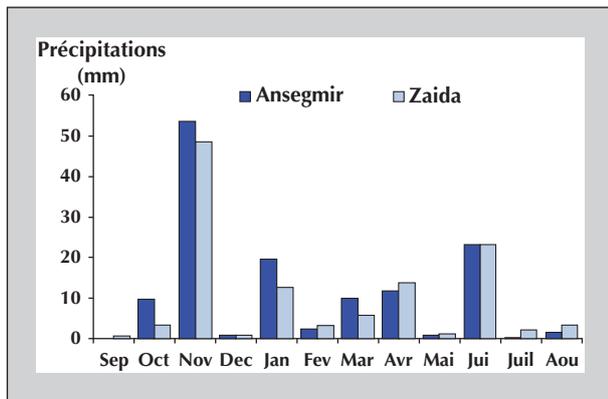


Figure 3. Variations des précipitations mensuelles aux stations de jaugeage Zaida et Ansegmir au cours de la période d'étude.

Figure 3. Changes in average monthly precipitation at the two gauging stations, Zaida and Ansegmir, during the study period.

La prospection du terrain nous a permis de choisir les stations repérées sur la *figure 2*.

Un point de prélèvement (B) (aux coordonnées : 32° 47.480 N ; 004° 46.110 O ; altitude : 1 380 m) était situé dans le lac du barrage, à l'aplomb du point le plus profond qui sert, de manière standard en limnologie, de lieu d'échantillonnage d'un lac [9]. À l'aide d'une bouteille de type Van Dorn d'une capacité de cinq litres, nous avons procédé au cours de chaque campagne à la réalisation de trois prélèvements au point (B) (*figure 2*) : un premier à la surface lac (-0,5 m), un second à la mi-profondeur de la colonne d'eau et un dernier au fond du lac (à un mètre du fond). Nous avons ensuite procédé à la prise des échantillons d'un litre d'eau par niveau de la colonne d'eau.

Deux autres stations d'échantillonnage étaient situées sur les deux affluents du barrage. Elles ont été choisies en

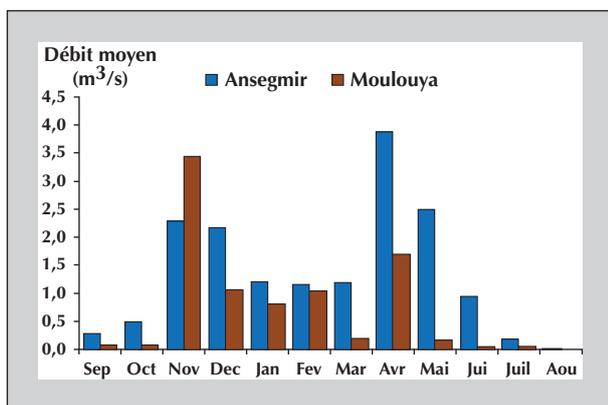


Figure 4. Variations des débits moyens mensuels aux stations hydrologiques Zaida et Ansegmir au cours de la période d'étude.

Figure 4. Changes in average monthly flow at the two hydrological stations, Zaida and Ansegmir, during the study period.

raison de leur proximité à l'embouchure des cours d'eau dans le lac du barrage (*figure 2*). La première station nommée (M) (aux coordonnées : 32° 51.585 N ; 004° 53.208 O ; altitude : 1 466,4 m) était localisée sur l'oued Moulouya et la seconde appelée (A) (aux coordonnées : 32° 46,022 N ; 004° 52 882 O ; altitude : 1 421 m) était située sur l'oued Ansegmir.

Au niveau de la retenue du barrage, six campagnes d'échantillonnage ont été réalisées au cours des mois suivants : décembre 2011, février, mai, juin, juillet et août 2012.

Concernant les stations-oueds (A) et (M), les campagnes d'échantillonnage ont eu lieu selon un rythme trimestriel à partir du mois de novembre 2011, soit quatre campagnes. Nous avons procédé, au cours de chaque campagne, au prélèvement d'un échantillon d'un litre d'eau par station. À titre d'information, les oueds Moulouya et Ansegmir étaient à sec pendant la quatrième campagne (août 2012). Les techniques d'échantillonnage ont été réalisées selon les méthodes décrites par Rodier *et al.* [10].

Des précautions ont été prises pour éviter la contamination des échantillons ou la perte d'éléments à doser. Ainsi, le flaconnage utilisé était de type éthylène propylène fluoré (FEP). Tous ces flacons ont été nettoyés avant usage avec de l'acide nitrique concentré et chaud. Après le prélèvement, les échantillons ont subi immédiatement une acidification (prétraitement) par 5 ml d'acide nitrique concentré (d = 1,40) par litre d'échantillon. Un blanc de la méthode (eau ultra pure) a été traité de la même façon que les échantillons d'eau prélevés. Les échantillons ont ensuite été transportés dans des glacières équipées d'accumulateurs de froid, permettant le maintien de la température à 4 °C, vers le laboratoire de l'équipe de gestion et valorisation des ressources naturelles à la faculté des sciences de Meknès. Là, nous avons procédé à la filtration des échantillons d'eau sur membranes de porosité 0,45 µm (dosage des éléments dissous), suivie d'une digestion acide à l'eau régale selon le protocole décrit par Rodier *et al.* [10]. Le dosage des éléments métalliques était effectué par spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES) aux unités d'appui à la recherche scientifique (UATRS) relevant du Centre national de recherche scientifique et technique (CNRST) à Rabat.

Résultats

Contamination métallique des eaux des affluents du barrage

Les résultats des analyses sont reportés dans le *tableau 2*. Les concentrations en différents éléments métalliques sont importantes dans les eaux de l'oued

Tableau 2. Teneurs en éléments métalliques ($\mu\text{g/l}$) dans les eaux des affluents du barrage Hassan II.Table 2. Metal content ($\mu\text{g/l}$) in the waters of the Hassan II dam tributaries.

		Pb	As	Cd	Zn	Cu
Station A (Ansegmir)	Novembre	320	≤ 10	50	2 490	190
	Février	120	≤ 10	20	160	30
	Mai	120	≤ 10	≤ 2	70	60
Station M (Moulouya)	Novembre	980	≤ 10	90	4 790	450
	Février	300	≤ 10	≤ 2	150	120
	Mai	130	60	≤ 2	140	80

Pb : plomb ; As : arsenic ; Cd : cadmium ; Zn : zinc ; Cu : cuivre.

Moulouya. Les teneurs en différents éléments recherchés, au niveau des deux oueds, sont élevées au cours du mois de novembre.

Contamination métallique des eaux de la retenue du barrage

Les résultats des analyses concernant tous les éléments métalliques au niveau des eaux de la retenue du barrage Hassan II sont détaillés dans le *tableau 3*.

Pour l'ensemble des éléments métalliques recherchés, les teneurs mesurées au niveau de la retenue du barrage (toutes stations confondues) sont globalement inférieures à celles rapportées au niveau des stations-oueds (A) et (M).

Les éléments métalliques dont les teneurs sont plus importantes sont le plomb, le zinc et le cuivre. L'arsenic est très rarement détecté.

Les teneurs les plus élevées sont signalées pendant le mois de février.

Les eaux de la surface et celles du fond sont plus contaminées que les eaux de mi-profondeur de la colonne d'eau.

Discussion

Au niveau des deux oueds Moulouya et Ansegmir (station A et station M), les teneurs en différents éléments métalliques recherchés sont importantes au cours du

Tableau 3. Teneurs en éléments métalliques ($\mu\text{g/l}$) dans les eaux du barrage Hassan II.Table 3. Metal content ($\mu\text{g/l}$) in the waters of the Hassan II dam.

Station B	Profondeur du point du prélèvement (m)	Pb	As	Cd	Zn	Cu	
Surface	Décembre	-0,5	≤ 10	≤ 2	120	10	
	Février	-0,5	≤ 10	≤ 2	435	267	
	Mai	-0,5	≤ 10	22	155	9	
	Juin	-0,5	≤ 10	≤ 2	100	100	
	Juillet	-0,5	50	≤ 10	20	160	120
	Août	-0,5	50	≤ 10	20	180	90
Mi-profondeur	Décembre	-33	≤ 10	≤ 2	190	20	
	Février	-34	≤ 10	≤ 2	18	40	
	Mai	-33	≤ 6	≤ 10	≤ 2	20	≤ 4
	Juin	-27	40	≤ 10	20	190	30
	Juillet	-26	50	≤ 10	11	230	40
	Août	-25	62	≤ 10	≤ 2	210	30
Fond	Décembre	-65	≤ 10	≤ 2	300	100	
	Février	-67	230	≤ 10	20	500	100
	Mai	-65	8,4	20	≤ 2	40	40
	Juin	-53	50	≤ 10	20	590	20
	Juillet	-51	40	≤ 10	≤ 2	220	10
	Août	-49	60	≤ 10	≤ 2	100	30

Pb : plomb ; As : arsenic ; Cd : cadmium ; Zn : zinc ; Cu : cuivre.

mois de novembre ; il s'agit du mois le plus pluvieux de l'année.

À titre de comparaison avec les eaux de l'oued Ansegmir, l'importance des teneurs en plomb, cadmium, zinc, et cuivre enregistrées à la station Moulouya (M), pendant le mois pluvieux (novembre), pourrait être la conséquence directe du lessivage des stériles, terrils et digues du site minier abandonné de Zaida. En effet, les teneurs moyennes en différents éléments métalliques dans le sol des résidus de cette mine sont 5 547 mg/kg pour le plomb, 7 500 mg/kg pour le zinc, 118 mg/kg pour le cuivre et 1,3 mg/kg pour le cadmium [11]. Toutes ces teneurs sont largement supérieures aux teneurs normales des sols non contaminés par le plomb, zinc, cadmium et cuivre qui sont respectivement de 35 mg/kg, 90 mg/kg, 0,35 mg/kg et 30 mg/kg [12].

Comparativement à d'autres cours d'eau situés plus loin de notre zone d'étude et loin de tout impact minier, les eaux de la Moulouya sont plus chargées en plomb, en cadmium et en cuivre que les eaux de l'oued Khoumane qui se trouve au centre-nord du Maroc [13]. Également, les concentrations du plomb, cuivre, zinc et cadmium, dissous dans les eaux des deux oueds Moulouya et Ansegmir, sont très élevées par rapport à ce qui a été rapporté par Idlafkih *et al.* au niveau des eaux de la Seine en France, qui étaient inférieures à 1 µg/l pour le plomb, à 4 µg/l pour le cuivre, à 26 µg/l pour le zinc et à 0,07 µg/l pour le cadmium [14]. Il en est de même pour les eaux de l'oued El Bey en Tunisie : les teneurs y étaient inférieures à 1 µg/l pour le plomb, à 0,12 µg/l pour le cuivre, à 0,07 µg/l pour le zinc et à 0,0005 µg/l pour le cadmium [15].

Pour l'ensemble des éléments métalliques recherchés, les teneurs mesurées au niveau des stations-oueds (A) et (M) sont globalement supérieures à celles rapportées dans les différents niveaux de la colonne d'eau du barrage. Ce résultat pourrait être expliqué, d'une part, par l'effet de dilution et, d'autre part, par le piégeage des différents éléments métalliques au niveau des sédiments du fond du lac.

Concernant les eaux de la retenue du barrage, nous avons constaté, au cours du mois de février, des teneurs élevées pour la plupart des éléments métalliques. Ce résultat traduit probablement l'effet des apports hivernaux injectés par les oueds dans la retenue du barrage.

Dans la plupart des échantillons d'eau prélevée, et en se référant à la norme marocaine des eaux destinées à la production de l'eau potable [16], le plomb était présent avec des concentrations supérieures à la valeur impérative fixée à 50 µg/l pour l'eau potable. À titre d'information, cette norme marocaine distingue trois catégories d'eau brute A1, A2 et A3. Pour chaque catégorie, cette norme précise des valeurs guides et des valeurs impératives qui ne doivent pas être dépassées pour chaque élément métallique. Sur la base des teneurs en différents éléments (valeurs impératives des éléments métalliques et autres éléments), l'eau sera classée dans :

- la catégorie A1 : eaux nécessitant, pour être potable, un traitement physique simple par filtration et une désinfection ;
- la catégorie A2 : eaux nécessitant un traitement physique chimique normal et une désinfection ;
- ou la catégorie A3 : eaux nécessitant un traitement physique, chimique poussé et une désinfection.

Le cadmium est détecté de temps en temps, et comme pour le plomb, la concentration dépasse la valeur impérative fixée à 5 µg/l des différentes catégories détaillées ci-dessus.

Les teneurs en plomb et en cadmium, trouvées par cette étude dans les eaux du barrage, se trouvent hors classification proposée par cette norme marocaine. Les teneurs en zinc de l'eau du barrage sont cependant classées dans la catégorie A1. En effet, dans presque tous les échantillons de la colonne d'eau (tous niveaux confondus), les concentrations en zinc étaient inférieures à la valeur impérative fixée à 500 µg/l par cette même norme. Les teneurs en cuivre, de l'eau du barrage à mi-profondeur, sont classées dans la catégorie A1 ; tous les échantillons contenaient des concentrations inférieures à la valeur impérative fixée à 100 µg/l.

Compte tenu de ces résultats et afin de contribuer à la préservation de la qualité métallique des eaux du barrage Hassan II, le site minier ne doit pas être laissé à l'abandon ; il doit être réhabilité afin de minimiser les apports métalliques allochtones vers la retenue du barrage. À la lumière des résultats prometteurs de l'étude entreprise par El Himer *et al.* [17], la phytoremédiation par phytostabilisation des sols de ce site minier par *Jatropha curcas L.* reste une alternative envisageable.

Conclusion

La présente étude a mis en relief des teneurs inquiétantes en plomb et en cadmium dans les eaux du barrage Hassan II. En effet, les teneurs en plomb et en cadmium dépassent les valeurs impératives des différentes catégories proposées par la norme marocaine des eaux brutes destinées à la production de l'eau potable. La contamination métallique de ce plan d'eau pourrait être attribuée essentiellement à l'érosion des résidus de la mine abandonnée de Zaida. En effet, ces résidus, très riches en différents éléments métalliques, physiquement instables et laissés à l'abandon sans réhabilitation, sont vulnérables face à l'érosion hydrique.

Afin de minimiser le risque de distribuer aux consommateurs une eau contaminée par les éléments traces métalliques, le nouveau barrage Tamaloute construit sur l'oued Ansegmir – dont la mise en eau est plus récente (9 juillet 2018), qui se trouve à environ 35 km en amont du barrage Hassan II, loin de toute pollution minière –, est une alternative pour produire une eau potable sûre.

En perspective, nous recommandons d'envisager une étude qui portera sur la teneur en différents éléments métalliques, notamment le plomb et le cadmium, dans l'eau du robinet produite à partir du barrage Hassan II, récemment distribuée (octobre 2015) à la première tranche composée des habitants des villes de Midelt, Boumia et Zaida. À titre d'information, la deuxième tranche ciblera la population des villes de Missouri et Aghbalou N'Serdane. Les travaux d'adduction relatifs à cette seconde tranche sont en cours. ■

Remerciements et autres mentions

Nous tenons à remercier tout le personnel de l'Agence du bassin hydraulique de la Moulouya pour nous avoir permis de travailler sur ce barrage.

Financement : aucun ; **liens d'intérêts** : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

Références

1. Errochdi S, El Alami M, Bennis N, Belqat B, Ater M, Fdil F. Étude de la qualité physicochimique et microbiologique de deux réseaux hydrographiques nord marocains : Laou et Tahaddart. *J Mediterr Geogr* 2012 ; 118 : 41-51.
2. Chahboune M, Chahlaoui A, Zaid A, Ben Moussa A, Aboulkacem A, Bouchrif B. Prévalence et gènes de virulence des salmonelles dans les eaux superficielles du barrage Hassan II et de ses affluents (province de Midelt, Maroc). *Environ Risque Sante* 2014 ; 13 : 244-55.
3. Emberger A. Éléments pour une synthèse métallogénique du district plombifère de la Haute Moulouya. *Notes Mém Serv Géol Maroc* 1965 ; 181 : 205-44.
4. Iavazzo P, Adamo P, Boni M, Hillier S, Zampella M. Mineralogy and chemical forms of lead and zinc in abandoned mine wastes and soils: an example from Morocco. *J Geochem Explor* 2012 ; 113 : 56-67.
5. Bouabdli A, Saidi N, M'Baret S, Escarre J, Leblanc M. Oued Moulouya : vecteur de transport des métaux lourds (Maroc). *Rev Sci Eau* 2005 ; 18 (2) : 199-213.
6. El Hachimi ML, El Hanbali M, Fekhaoui M, El Founti L, Saidi N. Impact d'un site minier abandonné sur l'environnement : cas de la mine de Zeïda (Haute-Moulouya, Maroc). *Bull Inst Sci* 2005 ; 27 : 93-100.
7. Makhoukh M, Sbaa M, Berrahou A, Vanclooster M. Contribution à l'étude de l'impact d'un site minier abandonné dans la haute Moulouya sur la qualité de l'Oued Moulouya, Maroc. *Afrique Sci* 2011 ; 7 (3) : 33-48.
8. Rhanem M. L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc) – Éléments de climatologie. *Physio-Géo* 2009 ; 9 : 1-20.
9. Barbe J, Lafont M, Mouthon J, Philippe M. *Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau*. Cemagref – Groupement de Lyon, Département Gestion des Milieux Aquatiques, Unité de recherche Biologie des écosystèmes aquatiques, Laboratoire Diagnose des systèmes aquatiques, 2003.
10. Rodier J, Legube B, Merlet N, et al. *L'analyse de l'eau*. 9^e édition. Paris : Ed. Dunod, 2009.
11. El Hachimi ML, Fekhaoui M, Abidi AE, Rhoujatti A. Contamination des sols par les métaux lourds à partir de mines abandonnées : le cas des mines Aouli-Mibladen-Zeïda au Maroc. *Cah Agric* 2014 ; 23 : 213-9.
12. Bowen HJM. *Environmental chemistry of the elements*. New York : Academic Press, 1979.
13. Ben Moussa A. *Étude hydrobiologique des eaux superficielles de l'oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc) – impact sur l'environnement et la santé*. Thèse pour l'obtention du doctorat, université Moulay Ismail, faculté des Sciences, Meknès (Maroc), 2014.
14. Idlafkih Z, Cossa D, Meybecks M. Comportement des contaminants en trace dissous et particuliers (As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) dans la Seine. *Hydro Ecol Appl* 1995 ; 7 (1-2) : 127-50.
15. Khadhar S, Mlayah A, Chekirben A, et al. Vecteur de la pollution métallique du bassin versant de l'Oued El Bey vers le Golfe de Tunis (Tunisie). *Hydro Sci J* 2013 ; 58 (8) : 1803-12.
16. Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement N° 1277-01 du 17 Octobre 2002 portant fixation des normes de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable. *Bull Off Royaume Maroc* 2002 ; 5062 : 1523-1525.
17. El Himer S, Bouabdli A, Baghdad B, Saidi N. Perspectives de phytostabilisation par *Jatropha curcas* L. des résidus miniers de la mine de Zaida (Haute Moulouya, Maroc). *Ecologia Mediterr* 2013 ; 39 (2) : 19-30.