

Les métaux lourds dans les sédiments de la retenue de barrage Sidi Chahed (région de Meknès, Maroc)

Heavy metals in sediments of the retaining of dam Sidi Chahed (Meknes, Morocco)

Driss ABRID
Département de
Chimie, Université
Moulay Ismail,
Equipe Chimie
Analytique et
Environnement,
Meknès, Maroc

Said LAAFOU
Département de
Chimie, Université
Moulay Ismail,
Equipe Chimie
Analytique et
Environnement,
Meknès, Maroc

Abdelaziz ABDALLAOUI*
Département de Chimie,
Université Moulay Ismail,
Equipe Chimie Analytique
et Environnement,
Meknès, Maroc

Abdellah EL HMAIDI
Département de
Géologie, Université
Moulay Ismail,
Equipe SEIE,
Meknès, Maroc

Ali ESSAHLAOUI
Département de
Géologie, Université
Moulay Ismail, Equipe
SEIE, Meknès,
Maroc

Résumé — La retenue du barrage Sidi Chahed est un site propice d'accumulation des sédiments qui constitue un réservoir potentiel de stockage des polluants. L'étude des sédiments de la retenue de barrage a pour but de documenter l'histoire de la pollution métallique qui peut être d'origine naturelle ou anthropique.

L'évaluation de cette ampleur se fait par l'étude des sédiments des carottes qui ont été prélevées au niveau de quatre points de la retenue de barrage Sidi Chahed et qui sont réparties dans l'espace (oued Mikkès, embouchure oued Mikkès, embouchure oued Lmallah et embouchure oued Jajouiyne). Ces sédiments prélevés à l'aide d'un carottier ont été transportés dans des sacs en plastique et conditionnés à la température de 4°C jusqu'au laboratoire. Ensuite, ils ont été découpés en tranches de 5cm d'épaisseur, séchés à l'étuve pendant 48 heures à 80°C. Après broyage, la fraction inférieure à 200 µm a été extraite par tamisage. Le dosage des teneurs en huit éléments traces métalliques: le fer (Fe), le Zinc (Zn), le Manganèse (Mn), le Cuivre (Cu), l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le Chrome (Cr), a été réalisé par la méthode ICP-AES, après minéralisation de la fraction inférieure à 200 µm à l'eau régale.

Les résultats ont montré qu'il y a un enrichissement important des couches superficielles des carottes en éléments métalliques Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb, Cd et As. Le nombre d'éléments d'enrichissement, variant d'une carotte à l'autre, met en évidence une pollution récente. De même, les résultats enregistrés montrent que certaines carottes ont des teneurs élevées en comparant aux teneurs moyennes de la couche superficielles des sols prise comme bruit de fond géochimique du bassin versant. Cet enrichissement est lié probablement aux activités anthropiques, à l'érosion des terrains agricoles, aux eaux de ruissellement et aux apports naturels qui sont en relation avec la structure géologique des terrains du bassin versant.

Mots clés — Retenu de barrage Sidi Chahed, Pollution, Métaux lourds, Sédiments, Carottage.

Abstract — The Sidi Chahed dam is an ideal site sediment accumulation constitutes a potential reservoir storage of pollutants. The documented history of metal pollution can be natural or anthropogenic study sediment retention dam aim. The evaluation of this magnitude is through the study of sediment cores that were collected at four points of the retaining Sidi Chahed dam and are distributed in space (Mikkes river , Mikkes river mouth, Lmallah river mouth and Jajouiyne river mouth). These sediments collected using a corer were transported in plastic bags and packed in 4 ° C to the laboratory. Then they were cut into 5cm thick slices, dried in an oven for 48 hours at 80 ° C. After milling, the fraction less than 200 microns was removed by screening. The dosage levels in eight metallic trace elements : iron (Fe) , zinc (Zn) , Manganese (Mn) , copper (Cu) , Arsenic (As) , cadmium (Cd), lead (Pb) and Chromium (Cr) , was conducted by the ICP- AES method after mineralization of less than 200 microns in aqua regia fraction. The results showed that there was a significant enrichment of the surface layers of the metal core elements Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb, Cd and As the number of enrichment of elements , ranging from a carrot to the other, shows a recent pollution . Similarly, the results show that some carrots contain high levels by comparing the average grade of the surface layer of soil taken as observed background watershed. This enrichment is probably due to anthropogenic activities, erosion of agricultural land, stormwater and natural inputs that are related to the geological structure of the land in the watershed.

Keywords— Retaining of dam Sidi Chahed, Pollution, Heavy metals, Sediment, Coring.

I. INTRODUCTION

La pollution par les métaux lourds est un problème d'actualité, qui préoccupe toutes les communautés soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un certain degré de qualité. L'étude des métaux lourds dans les sédiments est une contribution à la détermination, à la compréhension et à la prévision de la pollution métallique. Cette contribution est d'autant plus importante que ce compartiment peut aussi bien, selon sa nature et ses conditions environnantes, jouer le rôle de réservoir en cas d'apport massif, que le rôle de source de pollution endogène si les conditions de relargage se montrent favorables. Devant l'ampleur de ces derniers, plusieurs études ont été menées dans les écosystèmes aquatiques [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] ainsi qu'au niveau de la retenue du barrage Sidi Chahed [8, 9, 10]. Le présent travail tente d'appréhender l'historique de la contamination métallique dans la retenue du barrage Sidi Chahed à travers des archives sédimentaires, obtenues par carottage représentant de bons témoins de l'évolution dans le temps, depuis la mise en service du barrage en 1997, des pressions d'origine naturelle ou anthropique. En effet, l'étude des sédiments superficiels a permis de donner une photographie dans l'espace des différentes teneurs en polluants métalliques [11, 12].

II. MATÉRIEL AND MÉTHODES

A. Situation et cadre géographique

Le barrage Sidi Chahed est situé sur l'oued Mikkès, à environ 30 km au NW de Fès et à 30 km au NE de Meknès, sur la route principale n° 4 reliant Fès et Sidi Kacem (Fig. 1 et 2). Il a été édifié sur des formations tendres du Miocène et du Trias, dans la zone de transition entre le Sillon Sud-Rifain et le Pré-rif.

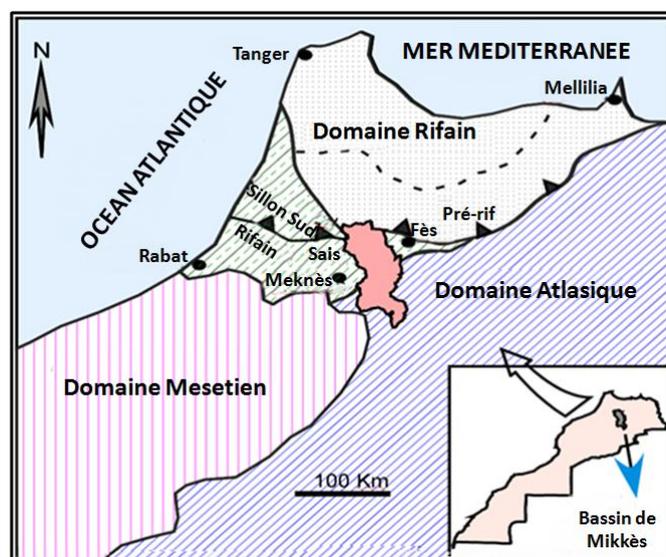


Fig. 1 Situation du bassin versant de l'oued Mikkès par rapport à la carte du Maroc et par rapport aux domaines structuraux rifain, atlasique et mesetien.

B. Echantillonnage

Les sédiments des carottes ont été prélevés par carottage manuel à l'aide d'un carottier de 2,5 m de longueur et de 15 cm de diamètre, enfoncé dans les sédiments jusqu'aux niveaux les plus compacts à environ 40 cm de profondeur, valeur limite permise par le système de carottage utilisé.

Les quartes stations ont été choisies de façon à couvrir tous les affluents que soient temporaires ou permanents de la retenue (Fig. 2). Le positionnement des stations d'échantillonnage a été réalisé par le moyen d'un GPS portable de type Explorist 100. Pour pouvoir dégager l'origine de la pollution qui peut être naturelle ou anthropiques, quatre autres stations ont été choisies au niveau du bassin versant comme stations de références sur des sites loin de toute activité anthropique [13]. Les échantillons ont été effectués dans des conditions très favorables. Ils ont été transportés dans des sacs en plastique et conditionnés à la température de 4°C jusqu'au laboratoire [14, 15, 16]. Les carottes C1 et C3 ont une longueur de 30 cm et les carottes C2 et C4 ont une longueur de 35 cm. Les quatre carottes ont été découpées en tranches de 5cm d'épaisseur. Les échantillons ont été brassés jusqu'à obtention d'un mélange homogène, séchés à l'étuve pendant 48 heures à 80°C et tamisés sous l'eau pour l'extraction de la fraction inférieure à 200 µm.

Le dosage des teneurs en huit éléments traces métalliques dont le fer (Fe), le Zinc (Zn), le Manganèse (Mn), le Cuivre (Cu), l'Arsenic (As), le Cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le Chrome (Cr) a été réalisé par la méthode ICP-AES (Inductively Coupled-Plasma/Atomic-Emission-Spectrometry). Une quantité de 1g de sédiment est minéralisée à 120°C pendant 4 heures en présence de l'eau régale (mélange de 1 volume d'acide nitrique concentré avec 3 volumes d'acide chlorhydrique). Le minéralisat est repris par rinçages successifs avec de l'eau ultra-pure, puis filtré sur une membrane de 0,45µm et complété jusqu'à un volume de 50ml [2, 17].

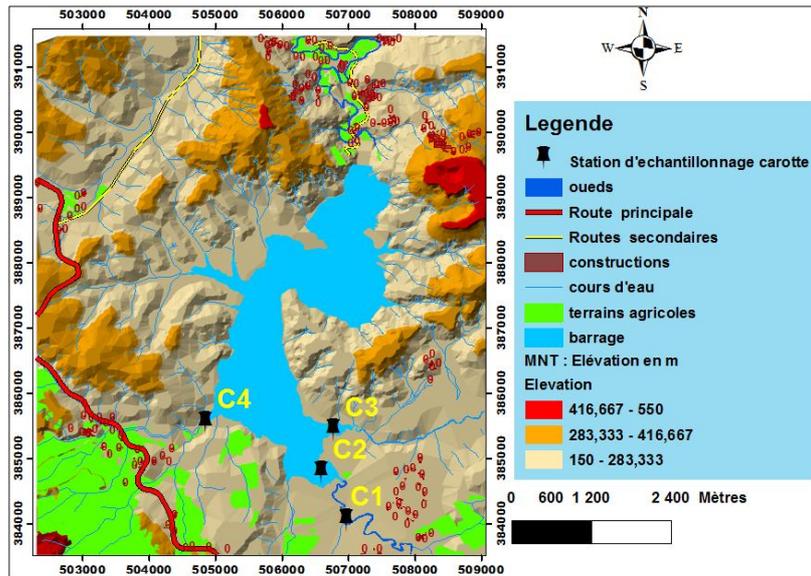


Fig 2. Modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude et position des stations d'échantillonnage

III. RÉSULTATS

Les teneurs en arsenic dans les sédiments des quatre carottes C1, C2, C3 et C4 (Fig. 3) varient respectivement de 6,08 à 9,61 $\mu\text{g/g}$ dans la carotte C1, de 4,87 à 7,71 $\mu\text{g/g}$ dans la carotte C2, de 5,87 à 9,27 $\mu\text{g/g}$ dans la carotte C3 et de 3,75 à 5,46 $\mu\text{g/g}$ dans la carottes C4. Elles subissent des fluctuations irrégulières de la base vers le sommet, mais avec un léger enrichissement probablement d'origine anthropique au niveau des dix premiers centimètres dans les carottes C1, C3 et C4. Les faibles teneurs au sommet de C2 représentent sans doute un signe d'amélioration récente de la qualité des sédiments.

Les variations des teneurs en arsenic de la base vers le sommet des carottes C1, C2 et C3 restent supérieures à la teneur moyenne (4,37 $\mu\text{g/g}$) du fond géochimique des stations prises comme références dans le bassin versant et reflèteraient par conséquent une pollution d'origine anthropique. Par contre, dans la carotte C4, les teneurs proches de la valeur moyenne des stations de références, font penser à un apport naturel en liaison avec la nature géologique du terrain.

Le profil vertical des teneurs en cadmium de la carotte C1 (Fig. 4) suit un gradient croissant de la base vers le sommet, traduisant une pression humaine récente. La carotte C3 subit des fluctuations irrégulières de la base vers le sommet avec un pic significatif enregistré à la profondeur de 20cm, ce qui reflète la présence d'une pollution à une certaine époque et un léger appauvrissement au niveau des dix premiers centimètres qui s'explique par la diminution des apports récents en cet élément.

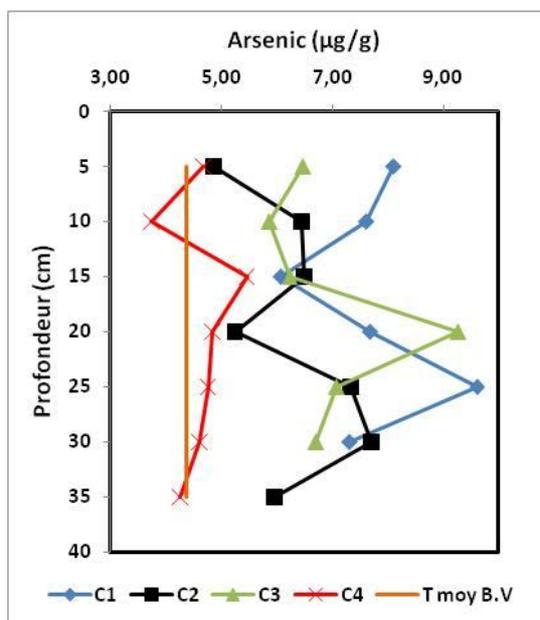


Fig. 3. Evolution des teneurs en arsenic dans les carottes C1, C2, C3 et C4

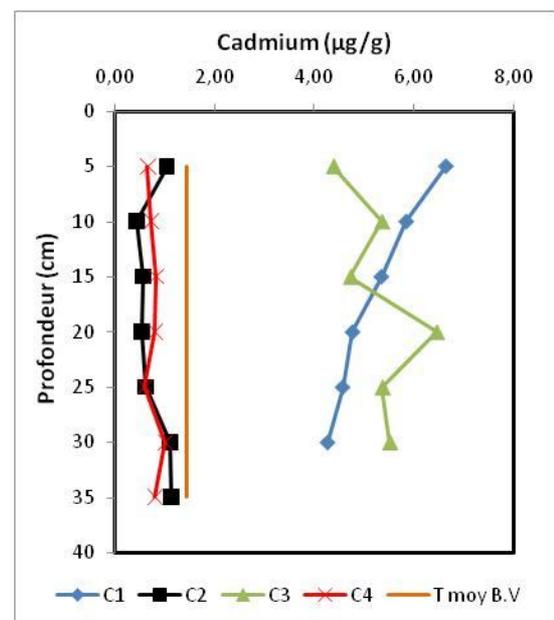


Fig. 4. Evolution des teneurs en cadmium dans les carottes C1, C2, C3 et C4

Dans les carottes C2 et C4, les teneurs varient respectivement de 0,44 à 1,11 $\mu\text{g/g}$ et de 0,61 à 1,02 $\mu\text{g/g}$ sans aucune variation verticale significative. Les teneurs, enregistrées dans les carottes C1 et C3, varient respectivement de 4,27 à 6,65 $\mu\text{g/g}$ et de 4,39 à 6,46 $\mu\text{g/g}$ et dépassent de loin la teneur moyenne des stations de références du bassin versant (1,44 $\mu\text{g/g}$). Au contraire, les teneurs des carottes C2 et C4 restent inférieures à ces valeurs de références.

Les teneurs en chrome subissent des fluctuations irrégulières de la base vers le sommet des carottes et varient de 17,55 à 37,74 $\mu\text{g/g}$ pour C1, de 33,99 à 78,22 $\mu\text{g/g}$ pour C2, de 11,22 à 29,48 $\mu\text{g/g}$ pour C3 et de 20,90 à 33,84 $\mu\text{g/g}$ pour C4 (Fig. 5). L'enrichissement notable des teneurs au niveau de la tranche superficielle 0-5cm des carottes C1, C3 et C4, montre l'existence d'un apport récent. Le pic bien marqué au niveau de 25cm de profondeur de la carotte C2 reflète une pollution en cet élément à une certaine époque. Ces enrichissements sont dus probablement aux activités anthropiques. L'appauvrissement au niveau de la couche superficielle 0-10cm de C2 signifie une disparition de cette pollution. Toutefois, ces teneurs en chrome enregistrées dans les quatre carottes restent inférieures à la valeur moyenne du fond géochimique (42,40 $\mu\text{g/g}$) du bassin versant à l'exception des teneurs des couches 0-5cm et 15-20cm de la carotte C2 (Fig. 5).

Les teneurs en cuivre (Fig. 6) subissent des fluctuations irrégulières de la base vers le sommet des quatre carottes C1, C2, C3 et C4 et varient respectivement de 13,1 à 21,50 $\mu\text{g/g}$, de 10,26 à 63,59 $\mu\text{g/g}$, de 10,79 à 36,50 $\mu\text{g/g}$ et de 8,87 à 29,54 $\mu\text{g/g}$. Les pics bien marqués à la profondeur de 25cm de la carotte C2, localisée à l'embouchure de l'oued Mikkès, et en degrés moindre à la profondeur de 20cm de la carotte C3 reflètent l'existence d'une pollution liée probablement à l'activité anthropique à une certaine époque. Les teneurs en cuivre montrent un enrichissement progressif vers le sommet des carottes C3 et C4 qui ne peut être attribué qu'à une pollution d'origine anthropique (amendement agricole). Pour les autres carottes C1 et C2 on assiste plutôt à un léger appauvrissement. Les teneurs des couches superficielles de C3 et C4 restent supérieures au bruit de fond géochimique des stations du bassin versant prises comme référence loin de toute activité anthropique. Cela confirme les apports liés à l'activité de l'homme et explique l'enrichissement vers les sédiments d'interface de certaines carottes.

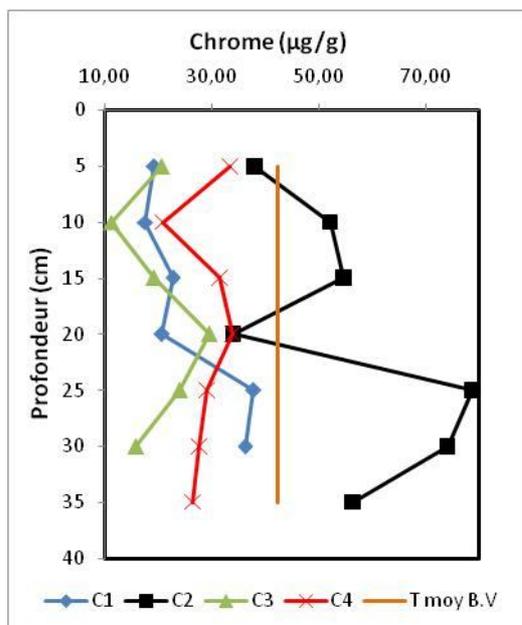


Fig. 5 Évolution des teneurs en chrome dans les carottes C1, C2, C3 et C4

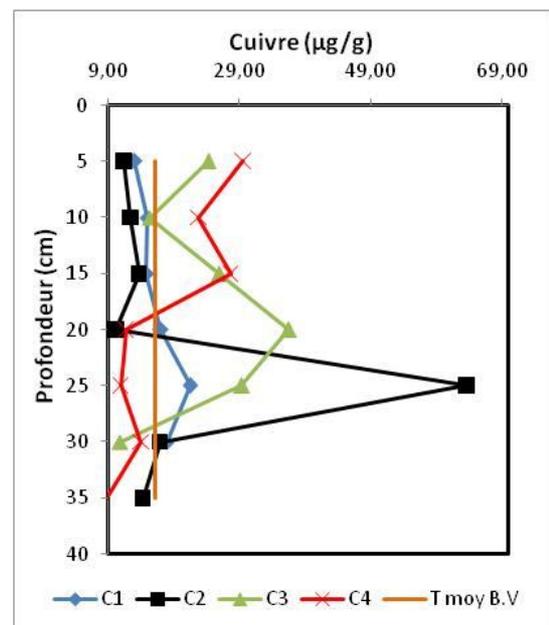


Fig. 6 Evolution des teneurs en cuivre dans les carottes C1, C2, C3 et C4

Les teneurs moyennes en cuivre dans les sédiments des différentes carottes prélevées au niveau de la retenue sont inférieures aux valeurs guides des teneurs métalliques des sédiments non pollués < 25 $\mu\text{g/g}$ [18], à l'exception des sédiments de la carotte C2 qui présentent une teneur relativement supérieure ; ce qui permet de la classer dans les sédiments modérément pollués.

Les teneurs les plus élevées en fer oscillent entre 51,88 à 67,37 mg/g (Fig. 7). Elles sont enregistrées dans la carotte C1 localisée sur oued Mikkès et par un pic de 58,63 mg/g relevé dans les sédiments de la carotte C3 à la profondeur de 10 cm. Les teneurs minimales, oscillant entre 7,40 et 14,95 mg/g et au niveau de la carotte C4, indiquent que la plupart des apports en cet élément proviennent probablement de la partie amont (oued Mikkès et oued Lmallah). Le léger enrichissement progressif vers le sommet de la carotte C1 serait un signe d'apport récent de pollution. Par contre, l'appauvrissement des teneurs en fer, vers la surface des carottes C2 et C3, s'expliquerait par la disparition des apports d'enrichissement naturels ou anthropiques. Globalement les teneurs en fer enregistrées aux différents niveaux des carottes C1, C2, C3 et C4 sont très importantes mais qui restent inférieures à la valeur moyenne de bruit de fond géochimique (61,58 mg/g).

Les profils verticaux des teneurs en plomb dans les carottes C1 et C3 (Fig. 8) ont des allures similaires. Cependant, le profil vertical de C2 se scinde en trois parties: dans la zone inférieure vers 35cm de profondeur, les teneurs évoluent suivant un gradient croissant jusqu'à un maximum au niveau de la profondeur 25cm, signe d'une pollution à une certaine époque. Entre 25 et 20cm, les teneurs diminuent rapidement pour atteindre leur minimum à 20cm de profondeur. Au-delà de 20cm, l'augmentation graduelle des teneurs jusqu'à leur maximum vers le sommet de la carotte C2, prouve l'existence d'une pollution anthropique récente.

Le profil vertical de C4 se scinde également en trois parties: les teneurs augmentent légèrement entre 35 et 20cm de profondeur, puis diminuent progressivement jusqu'à 10cm de profondeur et augmentent de nouveau vers la surface de la carotte en relation probablement avec une récente pollution modérée.

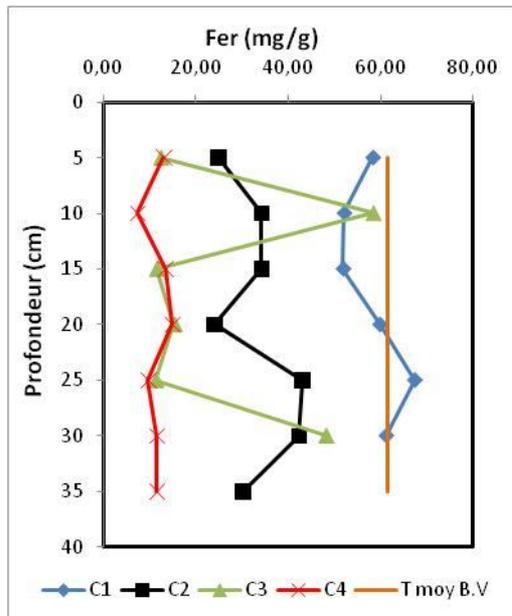


Fig. 7 Evolution des teneurs en Fer dans les carottes C1, C2, C3 et C4

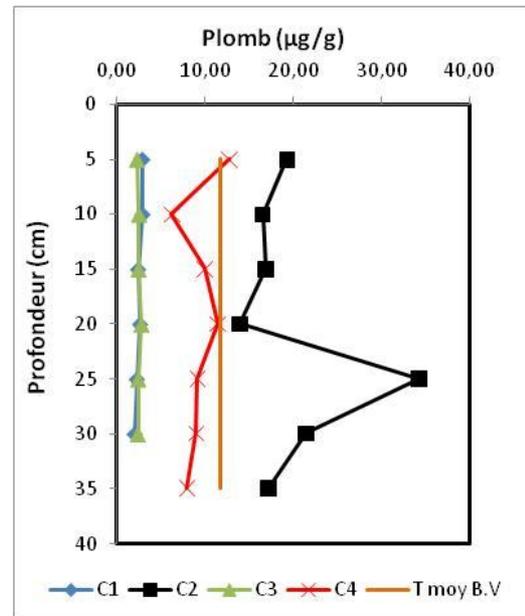


Fig. 8 Evolution des teneurs en Plomb dans les carottes C1, C2, C3 et C4

Les teneurs en plomb des carottes C1, C3 et C4 sont très inférieures à la teneur moyenne des stations de références et on peut avancer que les apports d'enrichissement qui apparaissent et disparaissent sont d'origine naturelle. Contrairement, les teneurs de C2 supérieures au fond géochimique du bassin versant sont d'origine humaine.

Les teneurs en zinc restent constantes entre 30 et 25cm puis diminuent entre 25 et 20cm et demeurent constantes après jusqu'au sommet de la carotte C1 (Fig. 9). Les teneurs relativement élevées à la base de la carotte refléteraient une pollution à une certaine époque, mais avec une amélioration vers les couches superficielles de cette carotte.

Dans la carotte C4, les teneurs augmentent progressivement de bas en haut pour atteindre leur maximum au niveau de la couche superficielle. Cette augmentation notable traduit des apports d'enrichissement récent qui évoluent au cours du temps. Dans la carotte C2, l'augmentation des teneurs en zinc de la base vers le sommet en passant par un minimum accentué à 20 cm de profondeur, traduit un apport d'enrichissement progressif avec toutefois un appauvrissement à une certaine époque. Dans la carotte C3, les teneurs augmentent régulièrement de la base jusqu'à 20cm de profondeur, puis diminuent progressivement pour atteindre leur minimum à 10 cm de profondeur puis augmentent de nouveau légèrement vers les couches superficielles. Ainsi, l'enrichissement remarquable en zinc dans les premiers centimètres des carottes C2, C3 et C4 témoigne des apports d'enrichissement métalliques récent en zinc provenant d'activités humaines. Les teneurs enregistrées dans la carotte C4 restent supérieures au bruit de fond géochimique et surtout sur les 25 premiers centimètres, de même pour la carotte C2 à l'exception de la teneur obtenue au niveau de 20cm qui coïncide avec celle de fond géochimique. Ces résultats confirment cet apport anthropique de zinc, surtout à base, par l'utilisation de produits traitants et amendement dans l'activité agricole du bassin versant.

Pour la carotte C1, les teneurs enregistrées sont très proches de celles du fond géochimique à l'exception de l'intervalle entre 25 et 30 cm qui abrite des teneurs légèrement supérieures. Dans la carotte C3, les teneurs sont très proches du fond géochimique sauf entre 15 et 25 cm de profondeur où les valeurs sont plus élevées.

Pour le manganèse, les teneurs enregistrées dans la carotte C2 sont plus élevées que celles du fond géochimique à part dans le niveau 20cm où la valeur est très proche de la référence (Fig. 10). Cet enrichissement remarquable, dans la carotte C2 et à un degré moindre vers le sommet et au milieu de C3 et à la base de C1, traduirait l'existence d'un apport métallique en manganèse lié aux activités humaines au niveau du bassin versant. Le long de la carotte C4, les teneurs ne montrent aucune anomalie.

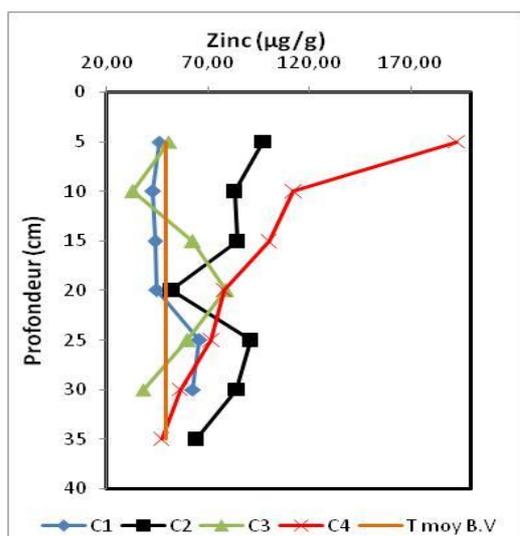


Fig. 9 Évolution des teneurs en Zinc dans les carottes C1, C2, C3 et C4

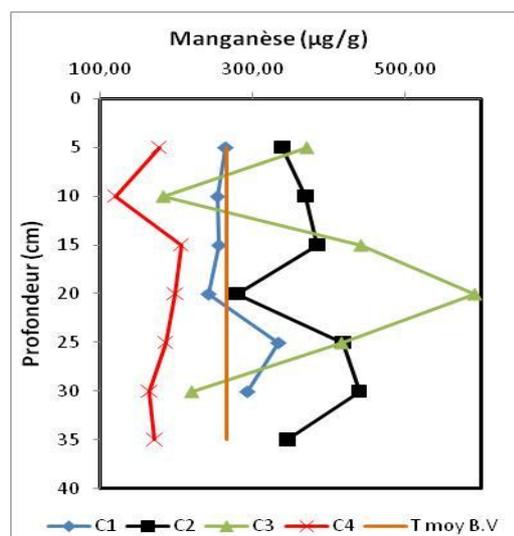


Fig. 8 Evolution des teneurs en Manganèse dans les carottes C1, C2, C3 et C4

IV. DISCUSSION

Pour le plomb et le cadmium les teneurs moyennes restent inférieures respectivement aux valeurs guides 40µg/g et 60µg/g des teneurs métalliques des sédiments non pollués (Tab. 1) [18]. Les teneurs moyennes en zinc dans les carottes C1, C2 et C3 sont très inférieures à la valeur guide des sédiments non pollués (<90µg/g) [18]. Au contraire, les teneurs en zinc dans la carotte C4, oscillant entre 47,06 et 192,42µg/g, sont supérieures à la valeur guide (90–200µg/g) considérée comme classe des sédiments modérément pollués, à celles (93,70-159,90µg/g) obtenues dans les sédiments de l'écosystème estuarien du bas Loukkous [19] et aux valeurs (18-107µg/g) obtenues dans les sédiments de la lagune Oualidia [20].

TABLEAU I

VALEURS GUIDES DES TENEURS MÉTALLIQUES DANS LES SÉDIMENTS (MG/G) PROPOSÉES PAR USEPA [18].

Métal	Matériel non pollué	Modérément pollué	Très pollué
Cd	–		> 60
Cu	< 25	25–50	> 50
Pb	< 40	40–60	> 60
Zn	< 90	90–200	> 200

Les teneurs en fer des sédiments du sommet à la base des carottes C1, C2 et C3, variant respectivement de 51,88 à 67,37 mg/g, de 24,10 à 43,23 mg/g et de 11,34 à 58,63mg/g, restent supérieures aux teneurs obtenues dans les sédiments de l'écosystème estuarien du bas Loukkous [19] et du lac Fouarat [6] qui oscillent entre 5,5 et 15,2mg/g. Cependant, les valeurs moyennes restent dans l'ensemble similaires à celles des sédiments de l'oued Talsint [21].

Les teneurs en arsenic des carottes C1, C2, C3 et C4 oscillent respectivement de 6,08 à 9,61µg/g, de 4,87 à 7,71µg/g, de 5,87 à 9,27µg/g et de 3,75 à 5,46µg/g. Elles sont largement supérieures aux valeurs moyennes des sols (1 à 2µg/g) [22], à celles de 1µg/g des sédiments de la Baie des Flamandes [23] et aux normes mondiales de pollution des sédiments (5,9µg/g) [24]. Toutefois, la carotte C4 présente des teneurs relativement faibles et mais comparables à celles des sédiments du lac Saint François au Québec qui varient de 3 à 7µg/g [25].

Les teneurs en chrome des sédiments de la base vers le sommet des carottes C1, C2, C3 et C4 varient respectivement de 17,55 à 37,74µg/g, de 33,99 à 78,82µg/g, de 11,22 à 29,48µg/g et de 20,90 à 33,84µg/g. Elles sont très inférieures à celles (58-98µg/g) obtenues dans le lac Fouarat [6] et à celles (21,77 à 47,28µg/g) enregistrées dans l'oued Talsint [21]. Cependant, la carotte C2 fait exception et présente des teneurs qui dépassent de loin les normes mondiales de pollution dans les sédiments (37,7µg/g) [24].

Les teneurs en manganèse dans les carottes C1, C2, C3 et C4 oscillent respectivement de 242,61 à 333,68µg/g, de 279,30 à 440,07µg/g, de 181,86 à 591,60µg/g et de 120,20 à 205,54µg/g. Elles sont supérieures, à l'exception de celles la carotte C4, aux valeurs obtenues dans les sédiments de l'oued Sakiet Roum (232±9µg/g) [26], mais inférieures aux teneures enregistrées dans les sédiments de oued Talsint (230-590 µg/g) [21].

Par ailleurs, les pics les plus notables sont obtenus à la profondeur de 25cm pour le cuivre, le plomb et le chrome de la carotte C2 et pour l'arsenic au niveau de la carotte C1. Dans la carotte C3, le pic bien marqué à la profondeur de 20cm correspond aux cadmium, arsenic et manganèse et serait probablement d'origine anthropique. L'appauvrissement progressif en ces éléments vers le sommet des carottes serait donc dû à l'implantation des stations d'épuration au niveau des commune Mhaya et Taoujdate qui ont permis d'intercepter ces divers rejets.

V. CONCLUSIONS

Les résultats montrent l'enrichissement notable des premiers centimètres en éléments métalliques fer et en Cadmium dans la carotte C1, en plomb dans les carottes C2 et C4, en cuivre, manganèse et chrome dans les carottes C3 et C4 et en Zinc dans la carotte C4. Cet enrichissement significatif vers le sommet des carottes indiquerait l'existence d'un apport métallique récent provenant probablement des activités agricoles intensives qui utilisent surtout les éléments tels que le fer, le zinc et le manganèse comme amendement pour augmenter le rendement, sans exclure bien sur les rejets industriels, urbains et le trafic routier qui contribuent à l'enrichissement en plomb et en chrome. Le léger enrichissement en arsenic des carottes C1, C3 et C4 et en cadmium de la carotte C2 serait probablement lié aux apports naturels ou anthropiques vers la retenue du barrage. L'absence de variations verticales importantes des teneurs en métaux lourds au niveau des carottes C2 et C4 pour le cadmium, au niveau des carottes C1 et C3 pour le plomb, au niveau de la carotte C1 pour le cuivre et finalement dans la carotte C4 pour le fer, indiquerait qu'aucune pollution n'a été détectée et traduirait par conséquent l'absence d'apports d'enrichissement récents et que les teneurs relevées correspondent à des apports naturels lithogéniques liés à la structure géologique du bassin versant. L'amélioration de la qualité des sédiments par comparaison à une certaine époque est due à l'implantation des stations d'épuration au niveau des communes de Taoujdate et Mhaya.

RÉFÉRENCES

- [1] Saadallah M, "Contribution à l'étude de la pollution métallique des sédiments des cours d'eaux Marocains. Cas de l'oued Boufekrane". Thèse de 3^{ème} cycle, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès, 241p, 1991.
- [2] Abdallaoui A, "Contribution à l'étude du phosphore et des métaux lourds contenus dans les sédiments et de leur influence sur les phénomènes d'eutrophisation et de la pollution. Cas du bassin versant de l'oued Beht et de la retenue du barrage El Kansera". Thèse d'état, Faculté des Sciences de Meknès, 241p, 1998.
- [3] Serghini A., El abidi A, Idrissi L., Mouhir L., Fekhaoui M. et Zaid E, "Evaluation de la contamination métallique des sédiments de complexe zone humides de la ville de mohammadia (Maroc)". Bulletin de l'institut scientifique, Rabat science de la vie, 23,77-81 2001.
- [4] Khamar M, "Etude de la charge en métaux lourds dans les eaux; sédiments; les sols et les productions agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Fès". Thèse de Doctorat, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Meknès, 213p 2002.
- [5] Chouti W., Mama D., Changotade O., Alapini F. and Boukari M, "Étude des éléments traces métalliques contenus dans les sédiments de la lagune de Porto-Novo (Sud Bénin)". Journal of Applied Biosciences. 34,2186–2197, 2010.
- [6] Ben Bouih H., Nassali H., Leblans M., Srhiri A, "Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc)". Afrique Sciences, 1, 109-125,2005.
- [7] Abrid D., El Hmaidi A., Abdallaoui A., Fassi Fihri O., Essahlaoui A, "Pollution impact on Boufekrane river water's (Meknes – Morocco)": Physico-chemical and bacteriological study. Phys. Chem. News, 58, 98-104, 2011.
- [8] Abrid D., EL Hmaidi A., Abdallaoui A. et Essahlaoui A., Etude de la contamination métallique des sédiments de la retenue du barrage Sidi Chahed (NE de Meknès, Maroc). Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research, 3, 2, 55-60, 2012b.
- [9] EL Hmaidi A., Abrid D., Abdallaoui A. Essahlaoui A. and El Ouali A., Caractérisation sédimentologique et physico-chimique des sédiments de carottes de la retenue du barrage Sidi Chahed, NE de Meknès, Maroc, Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research, 3, 2, 91-96, 2012.
- [10] Abrid D., EL Hmaidi A., Abdallaoui A. et Essahlaoui A., Study of Trace Metals in Surface Sediments of the Dam Reservoir Sidi Chahed (Meknes, Morocco). The International Journal Of Engineering And Science (IJES), 3, 1, 23-32, 2014.
- [11] Abrid, D., EL Hmaidi, A., Abdallaoui, A. and Essahlaoui, A., Variation spatiale des concentrations en éléments traces métalliques dans les sédiments de la retenue du barrage Sidi Chahed (Meknès, Maroc), European Journal of Scientific Research, 106, 4, 503-511, 2013.
- [12] Abrid D., El Hmaidi A., Abdallaoui A. et Essahlaoui A., "Apport du système d'information géographique à l'évaluation de la contamination métallique contenue dans les sédiments de la retenue du barrage Sidi Chahed (Meknès, Maroc)". International Conference of GIS-Users, Taza GIS-days, Fès, Proceeding Book, 396-398, 2012b.
- [13] Boust D., Jouanneau J.M., Latouche C, "Méthodologie d'interprétation des teneurs totales en métaux traces contenus dans les sédiments estuariens et littoraux". Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, 30, 72-78, 1981.
- [14] Rofes G, "Etude des sédiments, méthodes de prélèvements et d'analyses pratiqués au laboratoire de sédimentologie". Étude n°47, Ministère de l'agriculture, GTGREF, 50p, 1980.
- [15] Aubert G, "Méthodes d'analyses des sols". Centre National de Documentation Pédagogique Marseille, 189p, 1978.
- [16] Rodier J., Legube B., Merlet N et Coll, "L'analyse de l'eau". 9^{ème} Edition, Dunod, Poitiers, 1400p, 2009.
- [17] Fekhaoui M., Bennisser L. et Bouachrine M, "Utilisation d'un nouvel indice d'évaluation de la contamination métallique des sédiments: cas du bas Sebou (Maroc)". Bulletin de l'institut scientifique, Rabat, 20, 143-150, 1996.
- [18] Hamdy Y., Post L, "Distribution of mercury, trace organics and other heavy metals in Detroit River sediment". J. Creat. Lakes-Res., 11(3), 353-365, 1985.
- [19] El mourhit M, "Elément Traces métallique Incidence ecotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas loukous)" thèse de doctorat Université Mohammed V – Agdal, p232, 2009.
- [20] Bidet J. Caruesco C, "Étude sédimentologique de la lagune de Oualidia (Maroc)". Actes du Symposium International sur les lagunes côtières. SCOR/IABO/Unesco, Oceanologica Acta. vol. sp. N° 3, 29-37, 1982
- [21] Taouil H., Ebn Ahmed S., Hajjaji N., Srhiri A, "Contribution à l'évaluation de la pollution métallique des sédiments de l'Oued Talsint, Bassin versant de Guir (Maroc Oriental)". Science Lib, Editions Mersenne, 3, N° 111109ISSN, 2111-4706, 2011.
- [22] Boudene D., "Toxicité des métaux in: Derache R : Toxicologie et sécurité des aliments", Tech. Doc. Lavoisier: 159-178, 1989.
- [23] Pons JC, Parra M, Julius Ch. Teneurs en métaux lourds des sédiments fins de la baie de Fort-de-France, Martinique, Petites Antilles françaises. Oceanol Acta, 11(1) : 47-54, 1988.
- [24] Recommandations Canadiennes pour la qualité des sédiments. "Protection de la vie aquatique"; Tableaux Sommaires, 7p, 2002.
- [25] Pinel-Alloul B., Methot G., Lapierre L., Willisie A, "Macroinvertebrate community as a biological indicator of ecological and toxicological factors in lake Saint-François (Quebec)". Environment pollution, 91, 1, 65-87, 1996.
- [26] Afri-Mehennaoui F--Zohra , Salhi L, Zerief N & Mehennaoui S, "Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (ETM), des sédiments des oueds Rhumel et Sakiet Roum, dans la zone industrielle et à Constantine(Algérie)" Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév2009. Actes, ENP ed., Alger, p. 181-18, 2009.