

Impact de la charge métallique des eaux usées industrielles de la ville de Khémisset sur la qualité de l'oued Khmiss, au Maroc

Driss BELGHYTI ^{1*}, Ghizlane ZTIT ¹, Khadija ELKHARRIM ¹, Mostapha LAKHLIFI², Hamid CHIGUER ¹, Fatima BENELHARKATI ¹, Abdallah EL ABIDI ³, B. BENBAKHTA ⁴ et Youssef EL GUAMRI ¹

¹ *Laboratoire Environnement & Energies Renouvelables, Equipe: Environnement, Patrimoine & Santé. UFR Doctorat SVS 18/2003. B.P 133, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kenitra, Maroc.*

² *REDAL – Rabat, Maroc.*

³ *Laboratoire de Toxicologie, Institut National d'Hygiène, Rabat, Maroc.*

⁴ *Division des eaux usées, O.N.E.P. Kenitra, Maroc.*

* Correspondance, courriel : belghyti@hotmail.com

Résumé

Le présent travail consiste à évaluer le degré de contamination métallique de l'Oued Khmiss (Maroc) à travers le suivi spatio-temporelle des teneurs de certains éléments métalliques (Cu, Pb, Fer, Zn, Cd et Cr) au niveau de l'eau et des sédiments. Les résultats obtenus montrent une contamination métallique de sédiments et de l'eau le long de l'Oued Khmiss et qui diminue de l'amont vers l'aval, attribuer probablement à un phénomène physique de mélange et de dilution. Les concentrations moyennes de métaux des sédiments au niveau de l'oued Khmiss sont de 46mg/L pour le Cuivre, 57mg/L pour le Plomb, 7800mg/L pour le Fer, 200mg/L pour le Zinc, 0,13mg/L pour le Cadmium et 67,5mg/L pour le Chrome, alors que celles de l'eau sont de 8µg/L pour le Cu, 30,25µg/L pour le Pb, 36,25µg/L pour le Fer, 487,5µg/L pour le Zinc, 0,21 µg/L pour le Cd et 1070 µg/L pour le Cr.

L'analyse temporelle a montré une importante contamination métallique des sédiments et de l'eau pendant l'été et le printemps. Le degré de contamination des sédiments le plus élevé correspond au Chrome avec $I_c(\text{Cr}) = 28,78$ et au Cadmium avec $I_c(\text{Cd}) = 16,89$ pour celui de l'eau, il correspond au Zinc avec $I_c(\text{Zn}) = 620,5$ et au Plomb avec $I_c(\text{Pb}) = 504,47$. L'activité industrielle est la principale responsable de la dégradation de cet écosystème d'ou la nécessité d'installer une station d'épuration dans la ville de Khémisset.

Mots-clés : *contamination métallique, suivi spatio-temporel, activité industrielle, oued Khmiss, Maroc.*

Abstract

The Impact of the metallic load of Khemisset city's industrial waste waters on the quality of Khmiss River (Morocco)

The present paper consists on evaluating the degree of metallic contamination of Khmiss River (Morocco) through a monitoring of spatiotemporal discharges of certain metallic elements (Cu, Pb, Fe, Zn, Cd and Cr) at the level of water and sediments. The obtained results show that the metallic contamination of sediments and water along Khmiss River which decreases downstream is probably attributed to a material phenomenon of mixture and dilution. The average concentrations sediments metals at the level of Khmiss

River are of 46mg/L for Copper, 57mg/L for Lead, 7800mg/L for Iron, 200mg/L For Zinc, 0.13mg/L for Cadmium and 67,5mg/L for Chromium, whereas those of water are of 8µg/L for Cu, 30.25µg/L for Pb, 36.25µg/L for Fe, 487.5µg/L Zinc, 0.21µg/L for Cd, and 1070µg/L for Cr.

The temporal analysis has shown the important metallic contamination of sediments and water during spring and summer. The highest degree of contamination of sediments corresponds to Chromium at IC (Cr) = 28.78 and Cadmium at IC (Cd) = 16.89; however, as far as water is concerned, the highest degree corresponds to Zinc at IC (Zn) = 620.5 and au Lead at IC (Pb) = 504.47. The industrial activity is the main reason of the degradation of this ecosystem which makes it necessary to install a sewage treatment plant in Khemisset city.

Keywords : *metallic contamination, monitoring of spatiotemporal discharges, industrial activity, Khmiss river, Morocco.*

1. Introduction

L'activité industrielle engendre une dégradation de plus en plus importante de la qualité des écosystèmes, cette dégradation est engendrée par une pollution massive et anarchique, tant par les matières organiques naturelles que par les produits industriels de synthèse. Cette pollution affecte tous les compartiments de l'écosystème (eau, sédiments, etc).

Au Maroc, à l'instar d'autres régions du pays, la ville de Khemisset connaît de multiples agressions quotidiennes engendrées par la pollution industrielle. Les eaux usées industrielles sont rejetées directement dans les milieux récepteurs (cas de l'Oued Khmiss) sans aucun traitement préalable. L'essentiel de la pollution au niveau de Khémisset provient de l'insuffisance de son réseau d'eaux usées et du déversement de celles-ci dans l'Oued Khmiss. A quelques 15Km, l'Oued Khmiss rejoint l'Oued Beht et ainsi la partie amont de la retenue du barrage d'El Kansera. Sachant que les eaux de la retenue sont utilisées pour la production d'eau potable, en cas de défaillance de la station de traitement des eaux située au pied du barrage, la population exposée au risque se monte à environ 360.000 personnes en 2015 [1]. Il est admis que la présence accidentelle ou chronique de métaux lourds dans les déchets industriels (liquide) peut atténuer gravement les capacités épuratrices des stations d'épuration et la qualité des eaux de surface.

Au Maroc, peu de chercheurs se sont intéressés par la caractérisation métallique des rejets et leur impact sur les milieux récepteurs [2-5]. Le présent travail vise à évaluer le degré de contamination de milieu récepteur (Oued Khmiss), à travers une étude spatio-temporelle des teneurs des métaux : Cuivre; Zinc; Chrome; Plomb; Fer et cadmium dans les eaux ainsi que les sédiments, et de mettre en évidence le risque sanitaire des effluents industriels sur la qualité des eaux de l'Oued Khmiss (milieu récepteur).

2. Matériel et Méthodes

2.1. Présentation du site d'étude

La ville de Khémisset est située en bordure de la plaine du Gharb à 70 km à l'Est de Rabat. La ville est traversée par la route nationale n°6 (RN6) reliant Rabat à Meknès [6]. La population totale de Khémisset est actuellement d'un peu plus de 140000 habitants. La population du centre urbain sera à 175 000 habitants en l'année 2010 et de 240 000 habitants en l'année 2022 [7].

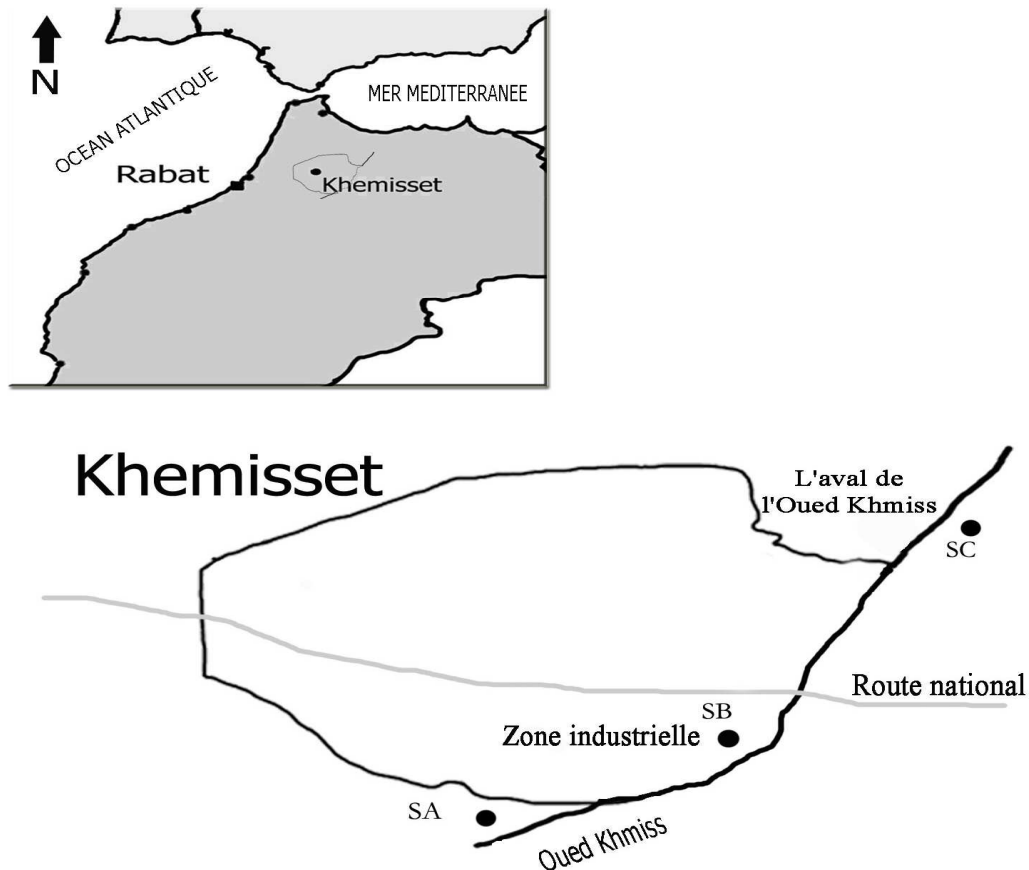


Figure 1 : Localisation des trois stations étudiées de la ville de Khemisset

L'activité de la région est dominée par l'agriculture et l'élevage traditionnel. Une grande zone est réservée à l'industrie située dans la partie sud ouest du périmètre urbain. La ville de Khémisset bénéficie de bonnes précipitations. La pluviométrie annuelle moyenne des dix dernières années est aux alentours de 420 mm/an [8]. La température régionale est plutôt caractéristique d'un climat continental. La moyenne des maxima observés est de 25,7°C avec la plus haute température enregistrée au mois d'Août à 35,8°C. La consommation moyenne d'eau potable en 1999 est de 60,4 litre/hab/J en moyenne et sa prévision pour 2010 est de 74 litre/hab/J. On distingue six rejets des eaux usées brutes qui constituent la totalité des rejets de la ville de Khémisset :

- Rejet 1 : Rejet du quartier "Diour Houmer" avec une population estimée à 2936 habitants
- Rejet 2 : Rejet du quartier El Hana avec une population estimée à 2569 habitants.
- Rejet 3 : Rejet du quartier Sidi Ghrib avec une population estimée à 56880 habitants.
- Rejet 4 : Rejet du quartier Pizzana avec une population estimée à 43865 habitants.
- Rejet 5 : Rejet du Aïn Khmiss avec une population estimée à 16077 habitants.
- Rejet 6 : Rejet de la zone industrielle dont la population estimée à 38386 habitants, qui englobe les industries suivantes : Industrie de textile, de ciment, de galvanoplastique, tannerie, ainsi que les rejets provenant de l'activité de l'abattoir qui procède à l'abattage d'environ 23000 têtes par an. Sa consommation moyenne par an est de 50 m³/an, ainsi que des stations services et garages, situés essentiellement en bordure de la route principale Rabat-Meknès [1]. On note que les rejets urbains de R1 à R5 sont situés tous le long de l'Oued Khmiss.

2.2. Sites de prélèvement des eaux et sédiments

Notre étude s'est intéressée à trois stations qui sont (Figure 1):

- Station A (SA) : Site de référence compte tenu de sa localisation loin de toute perturbation d'origine anthropique situé à 4 Km du rejet de la zone industrielle vers l'amont de l'oued Khmiss.
- Station B (SB) : Située au niveau rejet de la zone industrielle,
- Station C (SC) : Située à l'aval de l'Oued Khmiss (milieu récepteur) à 12 Km de rejets industriels.

2.3. Prélèvement et analyse

On a effectué des prélèvements mensuels des eaux et des sédiments au niveau des trois stations choisies durant un cycle annuel du (Mai /2007 au Mai /2008). D'après les types de différentes industries de la ville de Khémisset, nous avons opté pour le choix des métaux étudiées qui sont : Cuivre; Zinc; Chrome; Plomb; Fer et Cadmium.

- Pour l'analyse des métaux traces dans l'eau, l'échantillonnage a été effectuée dans des flacons en polyéthylène spécialement lavés à l'acide chlorhydrique (10 %) puis rincés à l'eau distillée. Les échantillons sont par la suite fixés par l'acide nitrique à 2 % (65 % supra pur Merck) et transportés à basse température (+ 4 °C) jusqu'au laboratoire.

- Les sédiments sont prélevés au niveau de la couche superficielle à l'aide d'une benne preneuse de type Van Veen. Ils sont séchés à l'étuve pendant 48 heures à 80°C et tamisés dans un tamis à maille inférieure à 100 µm. Trois prises de 100 mg de sédiment sec ont été minéralisées à 120°C pendant 4 heures en présence de 4 mL d'acide fluorhydrique et 2 mL d'un mélange acide chlorhydrique et acide nitrique (V/V). Les dosages de métaux ont été effectués sur les minéralisats pour les sédiments après dilution [9, 10, 11].

Le dosage du Pb, Cu et Cd est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique à four (Pattern VARIAN AA 20), celui du Zn et du Fe par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme.

2.4. Validité des méthodes analytiques

La validité des méthodes analytiques pour les sédiments a été vérifiée par contrôle interne à l'aide d'échantillons standards (Conseil National de Recherches du Canada : BCSS-1 et par contrôle externe à l'aide d'exercices d'inter-calibration AIEA en 2006.

3. Résultats et Discussion

3.1. Les sédiments

3.1.1. Variations spatiales

L'analyse spatiale des métaux au niveau des sédiments de l'Oued Khmiss montre que la station SA qui abrite les concentrations les plus faibles, alors que les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations SB et SC (*Tableau 1*). Les faibles teneurs enregistrées au niveau de SA peuvent être expliquées par le fait que la SA, située loin de toute perturbation d'origine anthropique et se trouve à l'abri de tous rejets. En revanche les concentrations les plus élevées enregistrées au niveau de SB et SC sont le résultat d'une activité très diversifiée dans la région, à laquelle s'ajoutent aux rejets urbains qui se situent le long de la rive de l'Oued. Les rejets industriels et urbains sont très chargés en matière organique, support privilégié des métaux engendrant la formation de complexes organométalliques plus ou moins stables, cela est en accord avec une étude similaire sur l'Oued Bouregreg [2].

Tableau 1: Les concentrations moyennes des métaux dans l'eau (ug/l) et dans les sédiments en (mg/l) au niveau des trois stations étudiées :

Stations	milieu	Cu	Pb	Fe	Zn	Cd	Cr
S A m±σ	Eau	2,9±0.74	0,36±0.09	10,73±0.9	5,68±0.52	0,04±0.01	27,2±2.7
	sédiment	31±5.5	10±0.96	2087±175	41.25±8.42	0,05 ±04	4,15± 0.91
S B m±σ	Eau	214,75±45.7	151 ±61.6	2180± 62	3031±56	5,12±1.55	8757±628
	sédiment	87±8.5	37,7±5.1	5480±264	150,5±9.75	0,675±0.23	47,7±4.65
S C m±σ	Eau	8±1.65	30,25±6.4	36,5±6.86	487,5±70	0,21±.05	1070±158
	sédiment	46±4.8	57± 6.78	7800±294	200 ±16.46	0,13±0.02	67,5±5.32

L'analyse des résultats au niveau des sédiments de l'Oued Khmiss montre que les concentrations élevées enregistrées dans les trois stations étudiées sont celles de Fer avec des valeurs moyennes maximales et minimales de 7800mg/ kg et de 2087mg/kg respectivement au niveau de SC et SA, ces concentrations en fer augmentent de l'amont vers l'aval de l' oued Khmiss; cela est du principalement aux rejets urbains qui sont évacués le long de la rive de l'oued qui aboutissent à une accumulation des concentrations et donc à une augmentations des concentrations en Fer au niveau de la station C. Les concentrations en Zinc varient entre 200mg /kg au niveau de la station C et 41025 mg/kg au niveau de et station A.

Parmi les caractéristiques des métaux dans les sédiments, il y a certains paramètres qui semblent pouvoir caractériser les effets des apports dans les sédiments. Ces caractéristiques sont illustrées dans notre cas par les concentrations du Zn. En effet cet élément fait partie des minéralisations caractéristiques de l'Oued Khmiss et montre des concentrations relativement élevées dans les sédiments par rapport aux autres éléments (Cd, Cu, Cr et Pb).

A ce niveau, cette augmentation pourrait être due soit à l'absorption du zinc sur les colloïdes du fer, soit à la co-précipitation, soit à la précipitation du zinc, de tels résultats sont similaires dans la rivière Arkansas en Colorado [12].

Les teneurs de cuivre enregistrées dans les trois stations montrent des valeurs moyennes maximales et minimales de 8705mg/kg et 31.5mg/kg enregistrés respectivement au niveau de SB et SA. La distribution du cuivre dans les sédiments montre un profil caractéristique d'atténuation au niveau de SB qui diminue de l'amont vers l'aval au niveau de la station SC. Cela est du à un phénomène physique du mélange de particules de sédiments tout le long de l'Oued Khmiss et à la dilution des concentrations par les eaux de l'Oued Khmiss. Cela est en accord avec BOUABDLI [13] et ELMOUDEN [14].

Les concentrations du Plomb sont de 57mg/kg et 10,8mg/kg enregistrées respectivement au niveau de SC et SA, alors que celles du Chrome sont de 67,5mg/kg et 405mg/kg respectivement enregistrées au niveau de station B et station A.

Enfin les teneurs faibles enregistrées au niveau des trois stations sont celles de cadmium avec des valeurs maximales de l'ordre 0,67 mg/kg et minimales de l'ordre de 0,05 mg/kg enregistrées respectivement au niveau de station B et station A.

Les concentrations en plomb, en cadmium et en chrome suivent le même profil que celui de zinc (Tableau 1), ceci laisse penser aux rejets liés aux activités industrielles et urbaines.

Si on regarde la distribution des éléments métalliques dans les sédiments, on remarque que leurs concentrations augmentent vers l'aval de l'oued Khmiss. Cette augmentation amont-aval des métaux traces a été montrée dans de nombreuses études [15 - 17]. Les teneurs plus ou moins élevées de plomb et de cadmium dans les sédiments sont en accord avec l'adsorption ou la précipitation du plomb et du cadmium sur les colloïdes se trouvant dans les sédiments.

Des études similaires ont montré que la distribution de métaux liés aux sédiments dans les rivières peut être affectée par la source et la forme des apports primaires, la nature et la granulométrie du sédiment [18-19], les apports des sédiments à partir des affluents [20-22], la teneur en matière organique des sédiments [23, 24].

3.1.2. Variations temporelles

L'évolution temporelle montre un accroissement des teneurs pendant les saisons estivales de tous les éléments métalliques à la station B (figure 2). La concentration du Cuivre est de 80mg/l en hiver et qui augmente à 98mg/l en été, ainsi que pour Plomb avec une concentration de 32mg/l en hiver et 43mg/l en été, et pour le cadmium avec une concentration de 0,41mg/l en hiver et de 0,92mg/l en été.

L'évolution temporelle du chrome, zinc et le fer présentent la même similarité que pour le cuivre et le plomb.

La station C présente aussi un accroissement des teneurs pendant les saisons estivale de tous les éléments métalliques (figure 2) avec une concentration de 50mg/l en hiver et 60mg/l en été pour le plomb et 183mg /l en hiver et 218mg/l en été pour le zinc.

Pendant la période hivernale et printanière, on note une augmentation du débit de l'Oued et par conséquent celle de la turbulence du milieu suite à une remise en suspension des matériaux fins, peuvent être à l'origine d'une décontamination métallique des sédiments. A l'inverse pendant la saison estivale et automnale, la décantation et le piégeage dans les sédiments d'éléments minéraux et organiques apportés par les rejets sont facilités dans un milieu de faible hydrodynamisme, cela est en accord avec l'étude de TAHIRI et al. [2].

Il est à signaler aussi que la majorité des unités industrielles ne cessent leurs activités pendant la saison estivale, conséquemment le faible débit du cours d'eau ne semble pas diluer les effluents industriels au niveau de l'Oued. Par ailleurs, le stockage des métaux au niveau des sédiments n'est pas forcément définitif. Les risques de remobilisation, de biodisponibilité et donc de toxicité sont à craindre et constituent ainsi un danger permanent pour toute la chaîne trophique, cela est en accord avec une étude similaire [25]. En outre, l'interprétation et l'évaluation de la contamination métallique d'un sédiment sont tributaires d'une connaissance parfaite des teneurs de référence. Ces dernières sont difficiles à établir en raison de la grande hétérogénéité géochimique et lithologique des sédiments [26]. Dans la présente étude, c'est la SA (figure 2) qui a été retenue comme site de référence compte tenu de sa localisation loin de toutes perturbations d'origine anthropique et de ses faibles teneurs en métaux en les comparant à celles mesurées au niveau des autres stations. Ces valeurs de référence s'insèrent bien entre celles d'autres cours d'eau marocains présentant les mêmes caractéristiques hydrologiques que l'Oued Khmiss, tels le Sebou [3], l'Oum Erbia [27], Bouregreg [2] et l'oued Moulouya [5].

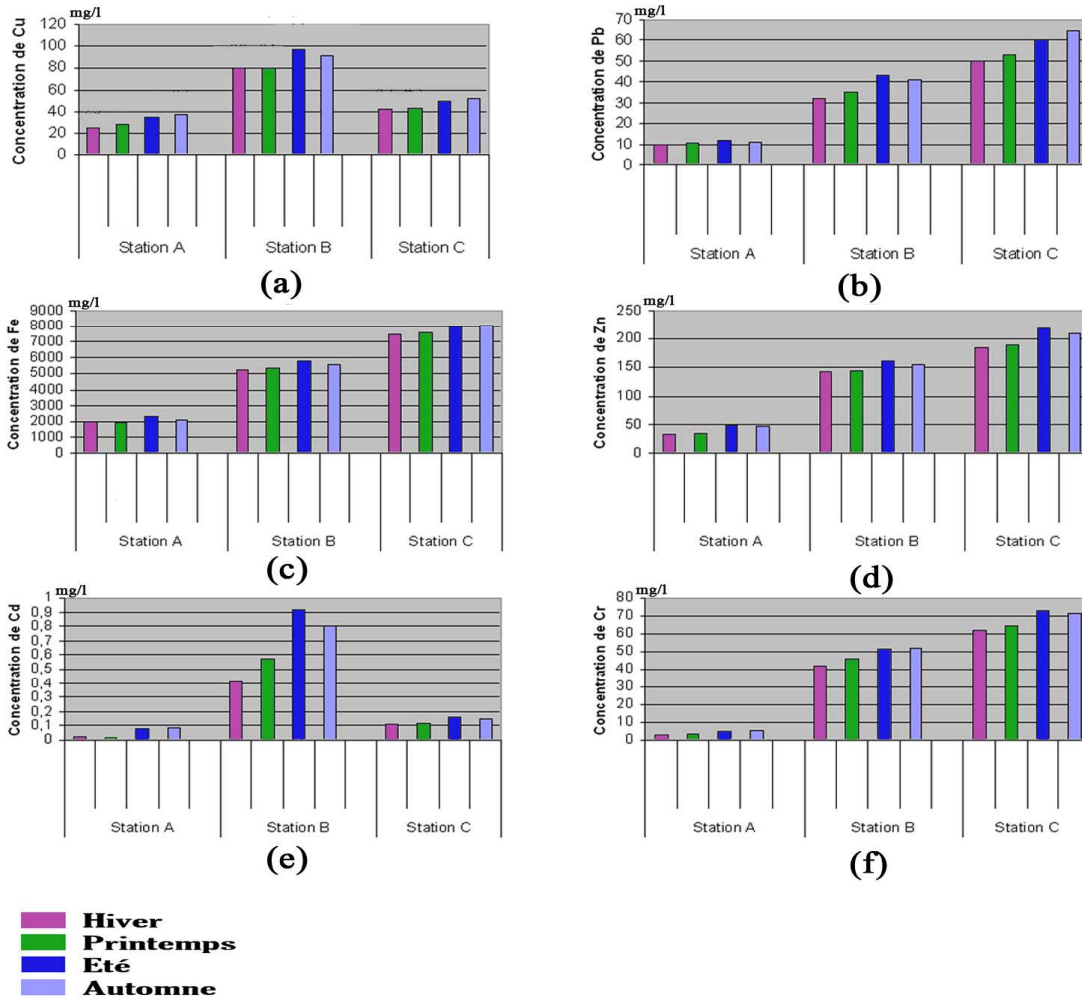


Figure 2 : Variations spatio-temporelle dans les sédiments

3.2. L'eau

3.2.1. Variation spatiale des métaux

Les résultats de notre étude ont montré que les concentrations des métaux dans l'eau sont élevées au niveau de la station B (**Tableau 1**) qui est située dans la zone industrielle avec une concentration de 214,75mg/l pour le cuivre, de 151mg/l pour le plomb, 2180 mg/l pour le fer, 3031mg/l pour le zinc; 5,12mg/l pour le cadmium et de 8757mg/l pour le chrome. Ces concentrations diminuent vers l'aval de l'Oued Khmiss au niveau de station C avec 8mg/l pour le cuivre; 30,25mg/l pour le plomb; 36,5mg/l pour le fer; 487,5mg/l pour le zinc; 0,12mg/l pour le cadmium et 1070mg/l pour le chrome.

Des faibles concentrations en métaux sont enregistrées au niveau de la station A qui sont du au faite que la station A est loin de toute perturbation d'origine anthropique (**Tableau3**).

D'après les résultats, les concentrations de Cr, Zn et du Fer dissous sont relativement élevées dans SB par rapport aux autres métaux : Pb, Cu, Cd.

3.2.1.1. Le chrome

L'évolution spatiale montre des concentrations élevées en Cr enregistrés dans SB qui sont dû principalement aux rejets évacuer par la tannerie qui est située dans la zone industrielle, cela est en accord avec une étude similaire [28]. Ces concentrations sont de l'ordre de 8757 $\mu\text{g/l}$ aux SB et diminuent vers SC pour atteindre des valeurs plus faibles de l'ordre de 1070 $\mu\text{g/l}$, cela peut être expliqué par le phénomène de dilution qui s'ajoute au phénomène de précipitation et de complexations du chrome sur la matière organique. Cette dernière, évacuée dans l'Oued par les différents rejets urbains qui se trouve distribué le long de la rive de l'Oued Khmiss.

Les concentrations en chrome enregistré en SB sont supérieures aux valeurs limites de rejet direct [29] qui est de 2000 $\mu\text{g/l}$. Ainsi les eaux de l'Oued Khmiss sont considérées d'une qualité très mauvaise en matière de chrome selon la grille de qualité des eaux de surface [29]. Les concentrations en chrome au niveau de la station C sont supérieures à celles trouvés aux lacs de Fouarat à Kenitra [30].

3.2.1.2. Le Zinc

La concentration moyenne élevée en Zn dissous au niveau de SB est de l'ordre de 3031 $\mu\text{g/l}$ et qui diminue dans SC et qui est de l'ordre de 487 $\mu\text{g/l}$.

Cette augmentation en SB pourrait provenir de l'arrivée des contaminants en provenance des rejets industriels de la ville particulièrement de l'industrie galvanoplastique et l'industrie de peinture. La concentration du Zn diminue vers l'aval et cela par le phénomène de dilution, et aussi par la complexations du Zn sur la matière organique qui se trouve dans les rejets urbains [31], cela est en accord avec une étude similaire sur l'Oued de Moulouya [13].

Ces concentrations en Zn à la station B sont supérieures à celles trouvées aux rejets de l'Oued Moulouya [5,13]. Les concentrations les plus élevées de Zn enregistrés sont inférieures aux valeurs limites de rejets directs qui sont de 5000 $\mu\text{g/l}$ [29].

Les concentrations en Zn à la station C qui représente les teneurs en Zn correspondantes à l'Oued Khmiss sont presque similaires à celles trouvées au lac de Fouarat [30], ainsi les eaux de l'oued Khmiss sont d'une qualité excellente en matière de Zn selon la grille de qualité des eaux du surface [29].

Les concentrations élevées en Fe enregistrées au niveau de la station B (2180 $\mu\text{g/l}$) sont dues au faite que le rejet au niveau de cette station est d'origine industrielle et urbaine, donc cette grande concentration du fer est d'origine urbaine. Cette concentration de Fer suit le même profil d'évolution spatiale que les autres métaux et diminue à la station C avec une concentration de 36,5 $\mu\text{g/l}$. Les concentrations en fer enregistré en station B sont inférieurs aux valeurs limites de rejet direct [29] qui est de 3000 $\mu\text{g/l}$.

Les concentrations en fer au niveau de station C sont supérieures à celles trouvées au lac de Fouarat à Kénitra [30] ainsi elles sont d'une qualité excellente en matière de fer selon la grille de la qualité des eaux de surface [29].

3.2.1.3. Le Chrome, le Cuivre et le Plomb

Bien que les concentrations de Cd, Cu et Pb ne sont pas aussi élevées que celles du Chrome et du Zinc. Les profils de répartition entre la station C et la station B montrent une certaine similarité qui se caractérise par l'augmentation à la station B avec des valeurs moyennes de 5,1 $\mu\text{g/l}$; 151 $\mu\text{g/l}$; 214 $\mu\text{g/l}$ respectivement pour le Cd, Pb et Cu. Ces valeurs diminuent vers la Station C avec des valeurs de 0,21 $\mu\text{g/l}$ pour Cd 30,2 $\mu\text{g/l}$ pour Pb et 8 $\mu\text{g/l}$ pour Cu, (*Tableau 1*).

La présence du Pb dans la SB malgré sa faible concentration est due aux contaminants provenant principalement des rejets d'industrie de peinture, ces concentrations diminuent vers l'aval de l'Oued Khmiss et cela du au phénomène de dilution.

Les teneurs élevées du Cd et de Cu peuvent être expliquées par un apport anthropique lié à l'industrie galvanoplastique et à l'agriculture qui utilise le sulfate de cuivre [32].

- Le plomb

Ces concentrations en plomb à la station B sont inférieures à celles trouvées dans les rejets des tanneries [28]. Ces concentrations sont inférieures aux valeurs limites de rejets directs qui est de 500µg/l [29], ainsi les eaux de l'Oued Khmiss sont d'une qualité moyenne en matière de plomb selon la grille de la qualité des eaux de surface [29].

Les concentrations trouvées en pb à la station C sont presque inférieures à celles trouvées au lac de Fouarat de Kenitra [30].

- Le cuivre

Les concentrations en cuivre enregistrées à la station B sont inférieures à celle trouvées dans les rejets d'une tannerie [28], les concentrations en Cuivre en station B sont inférieures aux valeurs limites de rejets directs [29] qui est de 500µg/l. Ainsi les eaux de l'Oued Khmiss sont considérées d'une excellente qualité en matière de cuivre selon la grille de qualité des eaux de surface [29].

Les concentrations en cuivre au niveau de station C sont inférieures aux concentrations enregistrées au niveau de lac de Fouarat de Kenitra [30].

- Le cadmium

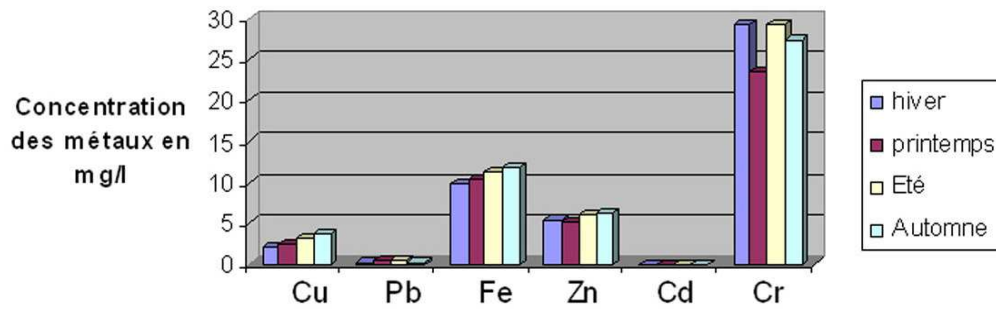
Les concentrations en Cd enregistrées à la station B sont inférieures à celles trouvées aux Marrakech [28]. Ces concentrations sont inférieures aux valeurs limitées de rejets directs qui sont de 200µg/l [29]. Ainsi les eaux de l'Oued Khmiss sont considérées d'une qualité excellente en matière de Cadmium. Les concentrations en Cd enregistrées à la station C sont inférieures à celles trouvées au lac de Fouarat [30]. Les concentrations en métaux lourds dans les eaux de l'Oued Khmiss sont en accord avec une étude similaire au lac de Fouarat [30].

3.2.2. Variation temporelle des métaux

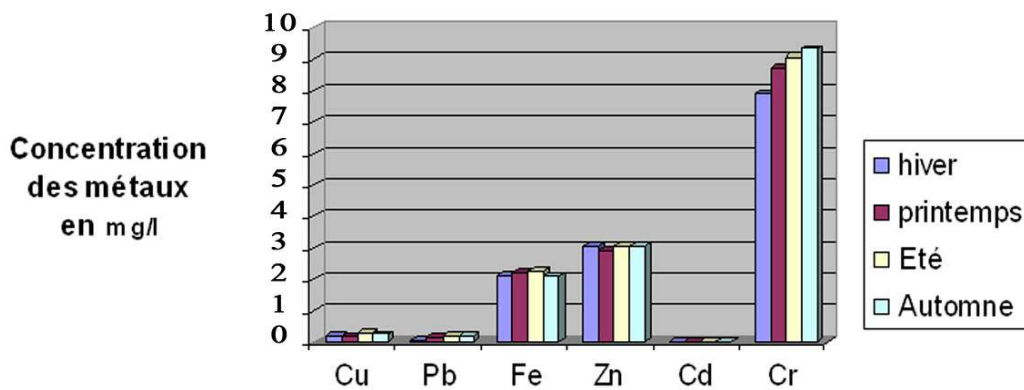
L'analyse des concentrations des métaux dans les différentes stations étudiées montre une certaine similarité au cours des saisons, ces métaux marquent des concentrations plus élevées au printemps et été surtout à la station B et elles sont faibles en hiver et automne (*Figure 3*). Les concentrations en cuivre varient de 184µg/l en hiver à 245µg/l en été, ainsi que pour le plomb avec une concentration qui varie de 89µg/l en hiver à 217mg/l en été. De même pour le chrome les concentrations sont plus élevées en hiver (7900µg/l) et de (9100µg/l) en été. L'évolution temporelle du cadmium, zinc et le fer présentent la même variation temporelle que pour le cuivre, le plomb et le cadmium.

La station C présente aussi un accroissement des teneurs pendant les saisons estivale et printanière tous les éléments métalliques (*Figure 3*) avec une concentration de 22mg/l en hiver et 37µg/l en été pour le plomb et 420µg/l en hiver et 520µg/l en été pour le zinc.

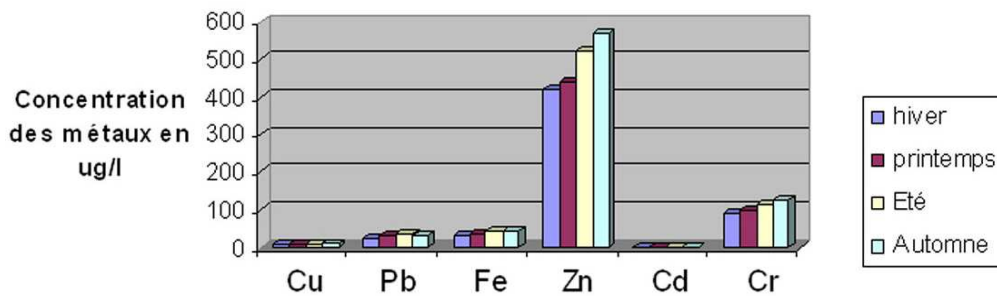
Cette diminution des concentrations des différents métaux pourrait être expliquée par la pluviométrie qui est forte en hiver et en automne, qui diluent les concentrations aussi bien dans la station A que la station B que la station C.



(a)



(b)



(c)

Figure 3 : Variations des concentrations métalliques selon la saison

En été et printemps, les précipitations diminuent et ainsi on n'aura pas le phénomène de dilution et par conséquent les concentrations augmentent dans les différents states étudiées. L'analyse des résultats des concentrations du zinc a montré une légère baisse en période d'hiver et d'automne du faite que le zinc peut

former des complexes organiques avec les substances humiques variées et ces complexes ont dotés d'une constante de stabilité élevée au cours de cette période, cela est en accord avec BOUABDLI et al. [13].

3.3. L'indice de contamination

La somme des I_c des différents éléments métalliques au niveau de chacun des sites (tableau 2) nous permet de classer ces derniers par ordre décroissant de contamination à savoir la station B ($\sum I_c = 37.29$) pour les sédiments et ($\sum I_c = 1680$) pour l'eau, suivie de la station C ($\sum I_c = 34.26$) pour les sédiments et ($\sum I_c = 185.2$) pour l'eau, et enfin la station A ($\sum I_c = 6$) et qui représente la station la moins contaminée.

Tableau 2 : *Indice de contamination métallique de l'eau et des sédiments prélevés au niveau de l'oued Khmiss :*

Stations	Ic Cu		Ic Pb		Ic Fe		Ic Zn		Ic Cd		Ic Cr		$\sum I_c$	
	eau	sedim	eau	sedim	eau	Sedim	eau	sedim	eau	sedim	eau	sedim	eau	sedim
S A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	6
S B	74,05	2,78	419,4	3,5	203,2	2,63	533,7	3,65	128,1	13,24	321,6	11,51	1680	37,29
S C	2,76	1,48	84,03	5,28	3,4	3,74	85,83	4,85	5,25	2,65	39,9	16,27	185,2	34,26
$\sum I_c$	77,81	5,26	504,5	9,78	207,6	7,37	620,5	9,5	134,4	16,89	362,5	28,78	1871	77,55

Sedim : sediment

L'évaluation du degré de contamination des sites étudiés comporte un problème quant au choix de la méthode à utiliser, bien que plusieurs ont été proposées [33, 34], en absence de l'estimation de la teneur de la matière organique dans les sédiments, l'indice de contamination (I_c) est défini comme étant le rapport de la teneur du métal au niveau d'un site donné sur la teneur du métal au niveau du site de référence (SA).

Les résultats obtenus (tableau 2) révèlent une contamination polymétallique de l'eau plus marquée par le Zinc, le Plomb et le Chrome ainsi qu' une contamination des sédiments accentuée pour le Chrome et le Cadmium. Cette situation est imputable aux activités industrielles nombreuses et variées dans le secteur et aux rejets domestiques très chargés en matière organique, support idéal à la complexations des métaux au niveau des sédiments. À ceci s'ajoutent les apports métalliques provenant du ruissellement de terrains agricoles traités par des phytosanitaires. Les rejets industriels et urbains installés sur la rive de l'Oued est aussi une source potentielle de contamination métallique.

4. Conclusion

L'oued Khmiss draine les rejets industriels de la ville de Khémisset et permet le transfert des métaux à partir de site de rejet et cela par un gradient croissant amont-aval (l'oued) des métaux traces des sédiments.

Notre étude a montré aussi la contamination des eaux de l'Oued Khmiss, qui sont considérées d'une qualité très mauvaise en matière de chrome, et moyenne à excellente en matière des autres métaux étudiés, selon la grille de qualité des eaux de surface.

La somme des I_c des différents éléments métalliques au niveau de chacun des sites nous permet de classer ces derniers par ordre décroissant de contamination à savoir la station B suivie de la station C et enfin la station A ($\sum I_c = 6$), aussi bien pour les sédiments que pour les eaux.

L'activité industrielle est donc la principale responsable de la dégradation continue de cet écosystème et constitue un risque important à la population du fait de la proximité des rejets au Barrage El Kansra, d'où soulève les problèmes toxicologiques pouvant porter préjudice à la santé publique.

Face à ce problème, s'impose la nécessité d'installer une station d'épuration dans la ville de Khémisset avec une double fonction d'une part une épuration organique et d'autre part une épuration métallique afin de protéger cet écosystème.

Remerciements

Ce travail a été bénéficié d'une bourse d'étude doctorale de centre nationale de recherche scientifique et technique. Cette étude réalisée dans l'Université Ibn Tofail, Faculté des sciences de Kenitra, en collaboration avec l'Institut National d'Hygiène à Rabat, Maroc.

Nos vifs remerciements au Ministère de l'Education Nationale, de l'enseignement Supérieur, de la Recherche Scientifique et de la Formation des Cadres. Rabat, Maroc.

Références

- [1] - ONEP (Office National de l'Eau Potable) Direction des études et de l'assainissement, étude de l'assainissement liquide de la ville de Khémisset, mission II, schéma directeur, rapport définitif. (2001) 45 – 76 p.
- [2] - L. TAHRI, L. BENNASSER., A. EL ABIDI, IDRISSE L., M. FEKHAOUI, A. MORADI Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water Qual. Res. J.* Volume 40, No1, (2002) 111 – 119.
- [3] - L. BENNASSER, M. FEKHAOUI, O. MAMELI, P. MELIS. Assessment of the metallic contamination of the low Sebou sediments. *Annali di chimica* 90 (2000) 637 – 644.
- [4] - M. FEKHAOUI, H. ABOUZAIID, A. FOUTLANE. Etude de la contamination métallique des sédiments et des algues de l'Oued Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès Maroc. *Bull. Ins. Sci.* (1993) Rabat 17 : 13 – 20.
- [5] - D. LAMRI AND D. BELGHYTI. The impact of wastewater on water quality in the moulouya river Morocco. *Tropical freshwater biology association of crop science*. 2008. Uganda.
- [6] - ONEP (Office National de l'eau potable): Direction des études et de l'assainissement, étude de l'assainissement liquide de la ville de Khémisset, mission I, schéma directeur. (1998) 12 - 53 p.
- [7] - MAE : (Ministère de l'Aménagement de Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement). (1994) : Recensement général de la population et de l'habitat.
- [8] - DEA (Direction des études de l'assainissement): Etude de la distribution d'eau potable et d'assainissement dans la ville de Khémisset, schéma directeur. (2003) Rapport définitif.
- [9] - J.F. CHIFFOLEAU et L. TRUQUET. Nouvelle méthodes de Dosage de quelques métaux traces dans les sédiments et matières en suspension. (1994) Rapp. IFREMER, 08.

- [10] - D. AUGER. Méthode de dosage du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc dans les milieux biologiques. (1989) Rapp. Direction Environnement Recherches Océaniques (DERO) 07-MB.
- [11] - M BOUACHRINE, M. FEKHAOUI, L. BENNASER, L. IDRISSEI.. Distribution of selected metals in tissue samples of fish from industrially contaminated stream (The river Sebou, Morocco). *Acta hydrobiol.* (1998) 40 : 173 - 179.
- [12] - A. KIMBALLB, E. CALLENDER et E.V. AXTMANN. Effets of colloids on metal transport in a river receiving acid mine drainage, upper Arkansas River, Colorado, USA. *Applied Geochem*, 1995. 10 : 285 - 306.
- [13] - A. BOUABDLI, N. SAIDI, S. M'BARET, J. ESCARRE ET M. Leblanc. Oued Moulouya : vecteur de transport des métaux lourds (Maroc). *Rev. Sci. Eau*. 2005. p 199 – 213.
- [14] - A. ELMOUDEN, M. BOUCHAOU, SNOUSSI, W. WILDI. Comportement des métaux et fonctionnement d'un estuaire en zone sub aride : Cas de l'estuaire du sous (coté atlantique marocaine). *Estudios geol.*, 2005. pp 25 – 31.
- [15] - W. SALOMONS, H. KERDIJK, R. KLOMP et A. SCHREUR. In : Metals in coastal Environments of Latin America. Sping-verlag, BERLIN-HEIDELBERG-NEW YORK-LONDON-TOKYO, 1988. 157 - 198.
- [16] - .M. JOUANNEAU, O. WEBER, F.E. GROUSSET et B. THOMAS. Pb, Zn, Cs and rare earth element as tracers of the loire and Gironde particles on the Biscay shelf (SW France). *Oceanil. Acta*, 1998. 21 : 233 – 241.
- [17] - M. SNOUSSI. Modalités de transfert des métaux à l'interface continent-océan-quelques exemples. *Hydro écologie Appliquée*, 1992. Tome 4, vol .2, pp 215-226.
- [18] - E.A. JENNE, V.C. KENNEDY, J.M. BURCHARD et J.W. BALL. Sediment collection and processing for total trace element analyses. In Contaminants and Sediments (ed.R.a.Baker), *Ann arbour Science Publishers* Vol.2 , 1980. pp.169-190.
- [19] - A.O. TESSIER, P.G.C. CAMPBELL et M. BISSON. Trace metal speciation in the Yamaska and St. Francois Rivers (Quebec). *Can. j. Earth Sci*, 1980 17 : 90 – 105.
- [20] - J. WOLFENDENP. et J. LEWIN Distribution of metal pollutants in flood-plain sediments. *Catena*, 1977 4 : 309 – 317.
- [21] - J.W. PARKS, J.A. SUTTON et A. LUTZ. Effects of point and diffuse source loading on mercury concentrations in the Wabigoon River : Evidence of a seasonally varying sediment-water partition. *Can. J. Fish. Aq. Sci*. 1986, 43 : 1426-1444.
- [22] - H. LEFNAERS, C.J. SCHOUTEN et M.C. RANG, Variability of the metal content of flood deposits. *Environ. Geol. Water Sci*, 1988. 11 : 95 - 106.
- [23] - C. ZIPER, S. KOMARNENI, D.E. BAKER. Specific cadmium sorption in relation to the crystal chemistry clay minerals. *Soil. Scien Soc. Am. J.* 1988 52 : 49-53.
- [24] - Y.SONG, M.J. WILSON, H.S. MOON, J.R. BACON et D.C. BAIN Chemical and mineralogical forms of lead, zinc and cadmium in particle size fractions of some wastes, sediments and soils in Korea. *Applied Geochem*, 1999 14 : 621 - 633.
- [25] - F. FADIL, A. MAAROUF, A. ZAID. Utilisation de Gam-marus gauthieri pour tester la toxicité des sédiments. 1997.
- [26] - R. BELAMIE, S. PHELIPPOR. Etude de la contamination des sédiments de plusieurs cours d'eau du bassin parisien (France) par les métaux et les composés organochlorés. CEMAGREF 1982. 16:1-8.
- [27] - M. JADAL, M. EL YACHIOUI, L. BENNASER, M. FEKHAOUI, G. PINAT, B. PICCOT. Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne : l'étang de Thau France).

- Océanologica Acta*. 1991 14 : 459 - 472.
- [28] - A. YATRIBI, A. NEJEMEDINE. Fractionnement et mobilité des métaux lourds dans un sol recevant des eaux usées de tanneries. *Rev. Sci. Eau*. 2000. 203 - 212.
- [29] - Ministère de l'Environnement du Maroc, (2002). « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat.
- [30] - H. NASSALI., H. BENBOUIH et A. SRHIRI. Influence des eaux usées sur la dégradation de la qualité des eaux du lac Fouarate au Maroc. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and waste management. 7 - 10 january 2002, Tunis (EPCOWM). P. 3 – 14.
- [31] - R.F.C. MONTOURA., A. DICKSON et J.P. RILEY. The complexations of metals with humic materials in natural waters. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 1978 6 : 387 – 408.
- [32] - A. FOUTLANE Qualité des eaux de l'estuaire de l'oued Oum Erbia (Maroc) et influence de la dynamique maré-graphique. *L'eau, l'industrie, les nuisances*. 2002 256 : 59 - 66.
- [33] - A. ROSSO, M. LAFONT, A. EXINGER. Etude des métaux lourds sur le peuplement d'oligochètes de l'III et de ses effluents (haut Rhin, France). *Annls. Limnol.* 1993. 29 : 295 - 305.
- [34] - L. BENNASSER, M. FEKHAOU, M. BOUACHRINE. Utilisation d'un nouvel indice dans l'évaluation de la contamination métallique des sédiments d'un cours d'eau pollué: le bas Sebou (Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat*. 1996. 20:142-145.