

Évaluation saisonnière de la pollution par les éléments traces métalliques de l'oued Boujemaâ (Annaba, extrémité nord-orientale algérienne)

Soumeya Khaled-khodja¹, Semia Cherif²

¹Laboratoire de Génie Géologique, Equipe : Eau-Environnement, Université de Jijel

²Laboratoire de Recherche des Matériaux et de l'Environnement pour le Développement Durable LR18ES10, ISSBAT, Université de Tunis El Mana

Résumé

Une multitude de substances chimiques sont rejetées dans les écosystèmes aquatiques par les activités anthropiques. Ces rejets telluriques riches en polluants organiques et minéraux peuvent être préjudiciables pour l'environnement. L'oued Bouhamra reçoit d'innombrables rejets anthropiques dont les éléments traces métalliques (ETM). Il constitue ainsi la principale source de pollution des eaux littorales du Golfe d'Annaba. En vue de préserver les ressources hydriques et halieutiques, un suivi saisonnier de l'eau et des sédiments de l'oued a été réalisé. Treize (13) ETM ont été dosés par spectrométrie de plasma à couplage inductif (ICP-OES) et fluorescence atomique. Les résultats montrent une importante contamination métallique de l'eau et du sédiment. Selon les normes françaises, en vigueur, l'eau est souillée respectivement par le Pb, le Zn, le Cu, le Cd et le Cr dont les concentrations fluctuent de 0 µg/L à 4920 µg/L. L'eau est de très mauvaise qualité. Quand au sédiment, il est contaminé principalement par le Cd, l'As, le Cr, le Zn et le Pb, leurs concentrations varient de 0,44 mg/kg et 61056.52 mg/kg, ce qui lui attribue une aptitude passable à la biologie. Enfin, l'analyse statistique en composantes principales (ACP), nous a permis d'identifier les origines industrielle, agricole et domestique de cette pollution.

Mots clés : éléments traces métalliques, rejets urbains en mer, eau superficielle, sédiments, Golfe d'Annaba-Algérie...

Seasonal assessment of pollution by metallic trace elements in the Boujemaâ wadi (Annaba, north-eastern of Algeria) (Annaba, Algeria)

Abstract:

A multitude of chemical substances are released into aquatic ecosystems by human activities. These land-based discharges, rich in organic and inorganic pollutants, can be detrimental to the environment. The Bouhamra wadi receives countless anthropogenic discharges including metallic trace elements (MTE). Seasonal monitoring of the water and sediments of the wadi was carried out. Thirteen (13) MTEs were analyzed by inductively coupled plasma spectrometry (ICP-OES) and atomic fluorescence. According to French standards, the water is contaminated by Pb, Zn, Cu, Cd and Cr respectively, with concentrations fluctuating from 0 µg/L to 4920 µg/L, which attributes it a very poor quality. The sediment is contaminated mainly with Cd, As, Cr, Zn and Pb, with concentrations ranging from 0.44 mg/kg to 61056.52 mg/kg, which attribute it a fair aptitude for biology. The statistical principal component analysis (PCA) has enabled us to identify the industrial, agricultural and domestic origins of this pollution.

Key Words: Metallic trace elements, Urban discharges in sea, Surface water, Sediments, Gulf of Annaba-Algeria.

¹ Corresponding author: khaledkhodjasoumeya@univ-jijel.dz

INTRODUCTION

Située au sud-ouest de la Méditerranée, l'Algérie constitue l'un des « points chauds », recensés par le Plan d'action pour la Méditerranée (Pam/ MEDPOL), associés à de grandes agglomérations, des sites industrielles ou des embouchures de fleuves [1]. Ville côtière située à l'Est du littoral algérien, Annaba s'étend sur 85 km de côte. C'est une baie ouverte à vocation industrielle, urbaine et touristique [1, 2]. De ce fait, elle subit une importante pression anthropique à l'origine de sérieux problèmes environnementaux dont les rejets d'eaux usées domestiques, industrielles et agricoles [3, 4, 5]. Faute de station d'épuration, ces rejets sont déversés dans les oueds sans prétraitement [6, 7]. Oued Boujemaâ constitue l'une des sources majeures d'apports des eaux usées au Golfe d'Annaba. Il véhicule les eaux usées de plus de 100 000 habitants, en plus de rejets liquides du complexe, de fabrication des engrais et des produits phytosanitaires, Ferial [6]. Sachant que, ces flux telluriques sont potentiellement accompagnés de composés chimiques minéraux à caractère biocide, des analyses des éléments traces métalliques (ETM) dans l'eau et le sédiment de l'oued ont été effectuées. Ces composés chimiques, de par leur utilisation massive, leur toxicité relativement élevée, leur caractère rémanent, et leur faculté de bioaccumulation dans les chaînes trophiques, sont au centre des préoccupations internationales relatives à la contamination de l'environnement [8, 9, 10, 11]. En sus, leur devenir et leur incidence sur l'écosystème aquatique en Algérie, et même à l'échelle internationale, ne sont pas bien connus actuellement, d'où le danger.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Long de 15 km, l'oued collecte les eaux usées de la plaine ouest de la ville. Avant de déboucher dans le littoral, il reçoit les effluents de trois stations de relevage, de nombreux raccordements d'eaux usées et des effluents mineurs du complexe Ferial, en plus des rejets de l'abattoir, distant de quelques mètres de celui-ci.

Un échantillonnage saisonnier a été réalisé durant l'année 2009-2010. Les échantillons d'eau et de sédiment ont été prélevés au niveau de l'interface (à environ 100 m de l'embouchure) où confluent tous les rejets. L'eau a été prélevée dans des flacons en polyéthylène et filtrée à travers une membrane filtrante de 0,45 µm de diamètre, préalablement lavée à l'acide nitrique à 1% et abondamment rincée à l'eau distillée. Le filtrat ainsi obtenu est immédiatement acidifié à l'acide nitrique concentré, à un pH < 2. Les sédiments superficiels (0-5 cm) sont prélevés par une écope en plastique et stockés dans des flacons en polyéthylène. Tous les échantillons ont été transportés, à l'obscurité dans une enceinte réfrigérée (4°C). Au laboratoire, les échantillons de sol sont congelés à -20°C jusqu'à analyse [12, 13].

Les ETM recherchés ont été analysés par ICP (spectrométrie de plasma à couplage inductif) de type ICP-OES, Vista-Pro, Varian, USA. L'arsenic a été dosé par fluorescence atomique, en utilisant un Excalibur 100 SS, PS Analytical Millenium System, UK. Les références prises pour l'évaluation de la qualité de l'eau (brute) et du sédiment sont : le système français d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau) préconisé par les agences françaises de l'eau (2003) pour les eaux brutes (version 2) [14]. La circulaire du 7 mai 2007 DCE/23 définissant les « normes de qualité environnementales provisoires (NQE_p) » pour les eaux superficielles françaises [15]. Pour l'analyse statistique des résultats nous avons utilisé l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Elle permet de décrire et de condenser le maximum d'information contenue dans un tableau de données quantitatives complexes. Elle fournit ainsi une représentation graphique se prêtant plus aisément à l'interprétation. Le logiciel utilisé est FactoMine R [16].

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les ETM trouvés dans l'eau : Les résultats obtenus montrent que l'eau de l'oued renferme un grand nombre de micropolluants minéraux dont les concentrations sont relativement élevées (Tableau 1).

Tableau 1 - Les ETM trouvés dans l'eau de l'oued Boujemaâ

| ETM | Concentrations en µg/L | | | | SEQ- Eau (2003) | NQE _p (2009) |
|-------------------|------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|-------------------------|
| | octobre 2009 | février 2010 | mai 2010 | août 2010 | | |
| Aluminium (Al) | 252,00 | 150,00 | 3016,00 | 316,00 | 200 | 200 |
| Arsenic (As) | 13,20 | 10,40 | 14,80 | 12,60 | 10 | 4,2 |
| Baryum (Ba) | 46,00 | 34,00 | 74,20 | 44,80 | 700 | 58 |
| Cadmium (Cd) | 0,00 | 0,00 | 0,24 | 0,56 | 0,04 | 5 |
| Chrome total (Cr) | 0,00 | 0,26 | 11,34 | 1,26 | 1,8 | 3,4 |
| Cuivre (Cu) | 4,00 | 10,20 | 17,54 | 4,76 | 1 | 1,4 |
| Fer total (Fe) | 820,00 | 220,00 | 4920,00 | 616,00 | - | 200 |
| Manganèse (Mn) | 234,00 | 13,80 | 191,40 | 120,00 | - | 50 |
| Nickel (Ni) | 3,00 | 1,00 | 8,32 | 1,52 | 6,2 | 2,1 |
| Plomb (Pb) | 0,00 | 0,00 | 30,20 | 5,12 | 5,2 | 0,4 |
| Sélénium (Se) | 4,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10 | 1 |
| Etain (Sn) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10 | 1,5 |
| Zinc (Zn) | 76,00 | 75,00 | 99,80 | 60,60 | 4,3 | 7,8 |

Chiffre en gras : dépasse la norme ; □ : pas de norme [15].

Les ETM sont retrouvés dans l'eau durant les quatre campagnes d'échantillonnage. Les concentrations varient de 0 µg/L à 4920 µg/L (Tableau 1). L'eau présente une très mauvaise aptitude à la vie biologique. Une pollution métallique importante y est mise en relief. D'après le SEQ-Eau, nous constatons qu'elle est prioritairement contaminée par : le Zn > Cu > Al > Cd > As > Pb > Cr > Ni. D'après les NQEp, l'eau est principalement polluée par : Fe > Zn > Cu > As > Al > Mn > Pb > Ni > Se > Cr > Ba.

Les ETM trouvés dans le sédiment

Les ETM sont présents dans le sédiment de l'oued durant toutes les campagnes. Leurs teneurs fluctuent entre 0,44 mg/kg et 61056,52 mg/kg (Tableau 2).

Tableau 2. Les ETM trouvés dans le sédiment de l'oued Boujemaâ

| ETM | Concentrations en mg/kg | | | | SEQ-Eau (2003) |
|-------------------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| | octobre 2009 | février 2010 | mai 2010 | août 2010 | |
| Aluminium (Al) | 52238,36* | 34324,49* | 12619,76* | 61056,52* | - |
| Arsenic (As) | 11,36 | 19,53 | 23,87 | 19,65 | 9,8 |
| Cadmium (Cd) | 0,44 | 0,50 | 0,56 | 2,59 | 1 |
| Chrome total (Cr) | 44,22 | 43,32 | 22,01 | 104,40 | 43 |
| Cuivre (Cu) | 26,00 | 25,44 | 5,76 | 35,97 | 31 |
| Fer total (Fe) | 24094,00* | 26997,49* | 15710,92* | 33717,93* | - |
| Manganèse (Mn) | 254,87* | 403,68* | 310,45* | 360,91* | - |
| Nickel (Ni) | 20,16 | 18,21 | 11,11 | 26,72 | 22 |
| Plomb (Pb) | 38,71 | 28,65 | 16,62 | 45,20 | 35 |
| Zinc (Zn) | 90,08 | 84,51 | 45,47 | 185,96 | 120 |

Selon le tableau 2, nous constatons que l'Al, le Fe et le Mn présentent des concentrations relativement élevées, cependant, nous ne pouvons rien dire sur la qualité de l'eau vis-à-vis de ces éléments, faute de normes. Cependant, les concentrations des 7 autres ETM montrent une contamination métallique relativement importante. Le sédiment est dégradé principalement par l'As > le Cr > le Pb > le Cd > le Zn > le Cu > le Ni. Il présente une qualité passable pour l'aptitude à la biologie [14].

Analyse en composantes Principales (ACP)

L'analyse en composante principale des données analytiques de l'eau et du sédiment nous a permis d'établir la typologie de la contamination de l'oued Boujemaâ.

Analyse du graphe de l'ACP de l'eau

Sur le plan factoriel F1X F2 de l'ACP, apparaît un gradient, révélateur d'un effet GUTTMAN [17], signifiant qu'un des axes de l'analyse, en l'occurrence l'axe 1 (Dim 1), résume l'essentiel de l'information contenue dans le plan factoriel (Fig. 1). Les taux d'inertie sont en effet de : 69,42 % pour F1, 18,43 % pour F2 et 12,15 % pour F3. Seulement les axes 1 et 2 sont pris en considération pour l'interprétation des résultats.

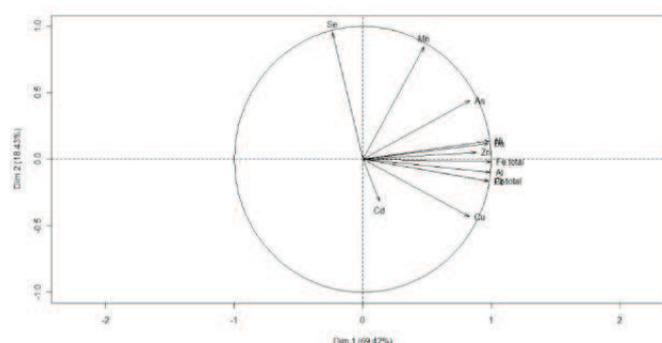


Fig. 1 - Cercle de corrélation des variables avec les axes 1 X 2 de l'ACP

Les ETM qui contribuent le plus à la construction de l'axe 1 (F1) sont, par ordre décroissant d'importance : le Fe > l'Al > le Ni > le Cr > le Ba > le Pb > le Zn > l'As > le Cu (Fig. 1). Ces éléments chimiques évoluent dans le même sens positif, par rapport à l'axe 1, ce qui peut refléter leur origine commune. En effet, tous ces ETM sont issus principalement des activités industrielles (industrie chimique, métallurgie, galvanoplastie, sidérurgie, trafic routier, etc.) [18, 19, 20, 21, 22]. L'axe 1 met donc en relief les effluents industriels qui sont à l'origine de la contamination de l'eau de l'oued Boujemaâ.

Le Se et le Mn contribuent le plus, à la formation de l'axe 2 (F2) et évoluent dans le même sens positif (Fig. 1). Ce qui reflète la source commune de ces éléments, qui proviennent essentiellement des activités agricoles. Effectivement, le Se entre dans la fabrication de nombreux produits phytosanitaires. Le Mn est un oligo-élément, très important, pour de nombreuses plantes (légumes, agrumes...), il fait donc partie de la composition des fertilisants et il est utilisé, en plus, pour l'alimentation des animaux [24]. L'axe 2 semble donc, mettre en évidence les effluents agricoles.

Sur la carte factorielle du plan F₁X F₂ de l'ACP (Fig. 2), nous observons l'association, par rapport à l'axe 1, des effluents industriels à la période printanière (3). Ce qui peut traduire des rejets relativement élevés suite à une activité industrielle importante, durant cette saison. Cependant, les effluents agricoles sont associés à la période automnale (1), selon l'axe 2. Ce qui reflète les différentes pratiques culturales qui se font en cette période (labour des champs, ensemencement, épandage d'engrais et de produits phytosanitaires...) et sont probablement à l'origine de ces rejets.

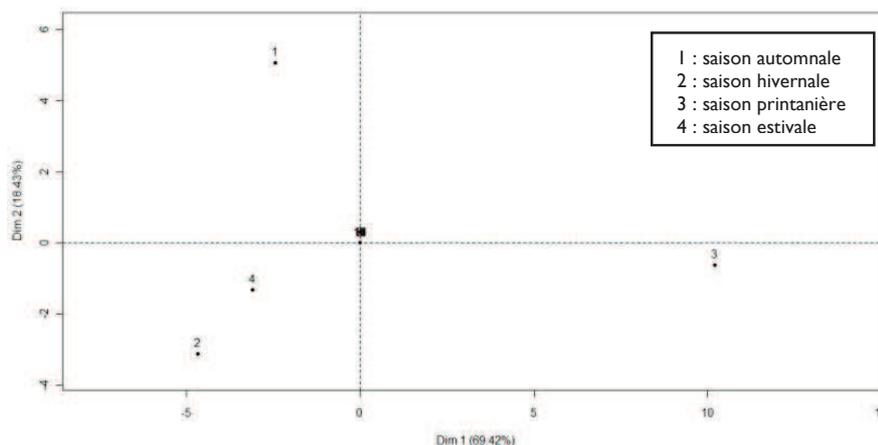


Fig. 2 - Carte factorielle des saisons (axes 1 X 2 de l'ACP)

Analyse du graphe de l'ACP du sédiment

L'ACP des données analytiques du sédiment, nous a permis d'établir la typologie de la contamination du sédiment de l'oued. Plus de 90 % de l'information est contenue dans les deux premiers axes de l'analyse. Les taux d'inertie sont en effet de : 73,52 % pour F₁, 19,72 % pour F₂. C'est pourquoi, Seul, le plan factoriel (F₁ X F₂) de l'ACP est pris en compte pour décrire les corrélations des variables et des individus avec les axes (Fig. 3).

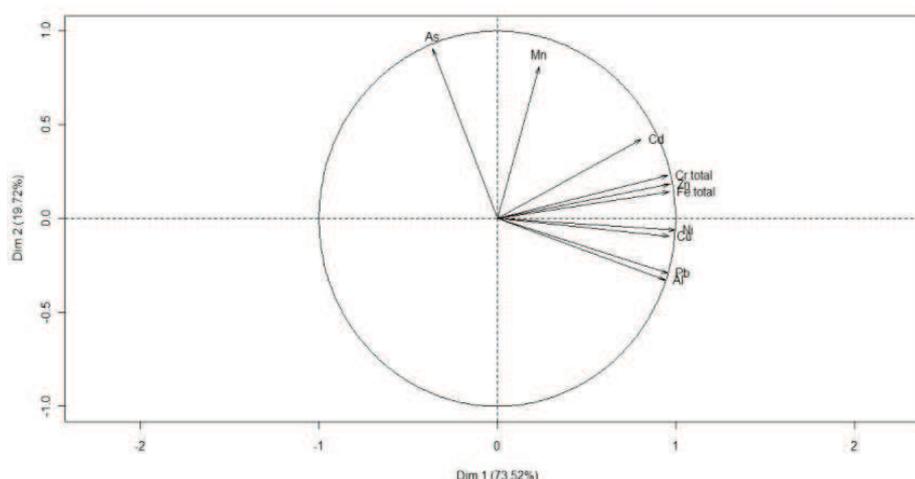


Fig. 3 - Cercle de corrélation des variables avec les axes 1 X 2 de l'ACP

Les éléments traces métalliques les plus corrélés à l'axe 1, qui contribuent de manière significative à sa formation sont respectivement : le Ni > le Zn > le Cu > le Fe > le Pb > le Cr > l'Al > le Cd (Fig. 3). Ces derniers évoluent dans le même sens positif, ce qui peut traduire leur origine commune. En effet, la plupart de ces polluants proviennent des activités

industrielles dont la galvanoplastie, l'industrie chimique, la métallurgie, la sidérurgie, le trafic routier, *etc.* l'axe 1 semble donc, mettre en relief les effluents industriels à l'origine de la contamination métallique du sédiment.

Les ETM qui contribuent le plus à l'édification de l'axe 2 sont respectivement l'As et le Mn (Fig. 3). Ces derniers évoluent dans le même sens positif, ce qui peut refléter leur origine commune. Ces éléments chimiques sont très employés en agriculture : l'As est utilisé pour la fabrication des produits phytosanitaires et des engrais phosphatés. Quand au Mn, il est utilisé pour l'alimentation du bétail et comme engrais dans la culture des légumes et des agrumes [23]. L'axe 2 semble donc, mettre en relief les effluents agricoles.

À cette typologie de variables (ETM) correspond une typologie de relevés (saisons). L'analyse de la carte factorielle (Fig. 4) montre que les effluents industriels sont associés à la saison (4) et s'opposent à la saison (3) par rapport à l'axe 1.

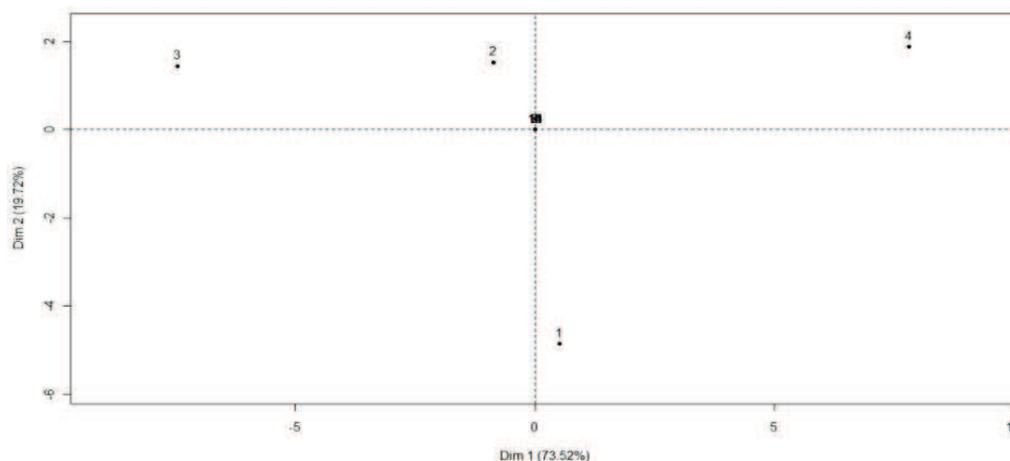


Fig. 4 - Carte factorielle des saisons (axes 1 X 2 de l'ACP)

Cette disjonction entre les saisons peut être expliquée comme suit : lors de la période estivale (période d'étiage), les teneurs en ETM sont plus élevées suite aux températures élevées et à l'absence de précipitations. Cependant la saison printanière se traduit par un apport d'eau à l'origine de la mise en solution des éléments chimiques d'où des concentrations moindres.

L'association de l'As et le Mn à la saison hivernale (2) et leur opposition à la saison automnale (1) par rapport à l'axe 2 (fig. 4) met bien en évidence le lessivage des terres agricoles, durant la période des hautes eaux, favorisant l'infiltration des produits chimiques dans le sol. Cependant, la saison automnale (1) ne contribue pas réellement à l'enrichissement du sédiment en ces éléments suite à un faible apport en précipitations [24].

CONCLUSION

En Algérie, les cours d'eau constituent les premiers récepteurs des divers rejets anthropiques qui sont déversés sans prétraitements. Oued Boujemaâ représente une des principales sources, qui contribuent de manière importante à la pollution des eaux du Golfe d'Annaba. Les résultats de l'analyse de l'eau et du sédiment révèlent des concentrations relativement élevées en ETM qui dépassent, pour certains, les limites préconisées par le SEQ-Eau et les NQEp. L'eau est de mauvaise qualité et le sédiment présente une aptitude passable à la biologie. Enfin, l'ACP nous a permis de montrer les origines industrielles et agricoles des ETM.

Références

- [1] N. Ouali, F. Derradji, Y. Bouhedja, C. Kasdarli, Pollution du sédiment superficiel par neufs métaux traces : cas de la baie d'Annaba (Algérie - Méditerranée Sud-Occidentale), Physical and Chemical News, Vol. 42, (2008), 139-143.
- [2] K. Sifi, S. Chouahda, N. Soltani, Biosurveillance de l'environnement par la mesure de biomarqueur chez *Donax trunculus* (L., 1758) dans le golfe d'Annaba, Algérie, Mésogée, Vol. 63 (2007), 11-18.
- [3] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Plan national d'actions pour l'environnement et le développement durable (PNAE-DD). Ed. MATE., 2002, pp. 1-118.
- [4] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. Ed. ONEDD., 2003, pp. 1- 463.
- [5] Office National d'Assainissement, Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement. Ed. MATE., 2000, pp. 1-118.

- [6] H. Khammar, M. Ounissi, I. Saker, O.M. Ziouch, A. Haridi, Caractères chimiques des effluents urbains introduits au littoral d'Annaba (Nord Est Algérie) : Actes du séminaire national sur l'eau et l'environnement, Chlef, Algérie, (2009) 127-135.
- [7] K. Kherraz, Protection des eaux du bassin de la Seybouse contre la pollution : Atelier sur la protection des eaux du bassin de la Seybouse contre la pollution, Annaba, Algérie, (2008) 1-27.
- [8] D. Levet, A. Lehen, S. Jacques, J. Mouchelin, A. Berly, Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie, Ed. Aquascop, 2008, pp. 1-31.
- [9] E. Tessier, Diagnostic de la contamination sédimentaire par les métaux/métalloïdes dans la rade de Toulon et mécanismes contrôlant leur mobilité, Thèse de Doctorat en Chimie de l'Environnement, Université du Sud Toulon Var, France. 2012.
- [10] N. Pourang, A. S. Noori, Heavy metals contamination in soil, surface water and ground water of an agricultural area adjacent to Tehran oil refinery, Iran, International Journal Environmental Research, Vol. 8 (4) (2014) 871-886.
- [11] J-F. Guillaud, L-A. Romana, La mer et les rejets urbains, Ed. Ifremer, 1990, pp. 1- 237.
- [12] Agence de l'eau Loire-Bretagne, Le prélèvement d'échantillons en rivière, Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques, Ed. Guide Technique, 2006, pp. 1- 134.
- [13] [13] Schiavone S. & Coquery M., 2011. Guide d'échantillonnage et de prétraitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. Ed. Cemagref. 24p.
- [14] Agences françaises de l'Eau, Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau), Grilles d'évaluation, version 2, Ed. Agence de l'eau, 2003, pp. 1- 40.
- [15] J. Rodier, B. Legube, N. Merlet, L'analyse de l'eau, Ed. Dunod, 2009, pp. 1-1526.
- [16] F. Husson, S. Lê, J. Pagès, Analyse de données avec R. Pratique de la statistique, Ed. Presse Universitaire de Rennes, 2009, pp. 1-224.
- [17] C. Dervin, Comment interpréter les résultats d'une analyse factorielle des correspondances, Ed. STAT-ITCF, 1988, pp. 1-52.
- [18] D. Gaujous, La pollution des milieux aquatiques, Ed. Technique & Documentation, 1995, pp. 1-200.
- [19] F. Ramade, Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau, Ed. Science, 1998, pp. 1-786.
- [20] P. Savary, Guide des analyses de la qualité de l'eau, Ed. Dossier d'Expert/Techni.Cités, 2003, pp. 1- 283.
- [21] P. Bird, S.D.W. Comber, M.J. Gardner, J.E. Ravenscroft, Zinc inputs to coastal waters from sacrificial anodes, Science total Environment, Vol. 181 (1996) 257-264.
- [22] K. Rouibah, R. Mezaouda, A.H. Meniai, B. Touil, S. Ghedrouche, M. Hamze, Évaluation de la contamination des eaux portuaires de la région de jijel par les métaux lourds : Proceeding WATMED 5, Lille, France, (2010) 13-26.
- [23] Société de fertilisants d'Algérie Fertil SPA, Utilisation des engrais, grandes cultures, arboriculture, cultures maraîchères et industrielles, Ed. Fertil, 2010, pp. 1-100.
- [24] F. Le Goff, V. Bonnet, Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM, Ed. INERIS, 2004, pp. 1-87.