



Evaluation de la qualité bactériologique et chimique du Sebou, Maroc (Assessment of the bacteriological and chemical quality of the Sebou River, Morocco)

H.Hayzoun^{1,2}, A. Ouammou¹, O. Saidi¹, F. Khalil³, L.Bouayyadi³

¹LIMOM, Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Dhar El Mehraz B.P. 1796
Atlas Fès 30000, Maroc

²Laboratoire PROTEE, Université du Sud Toulon Var, BP 20132, 83957 La Garde, France

³Laboratoire de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques, Fès, Maroc

⁴Laboratoire de Botanique, Biotechnologie et Phytoprotection, Université Ibn Tofaïl, Faculté des Sciences Kénitra, Maroc.

Received 2 Oct 2014, Revised 02 October 2014, Accepted 20 October 2014

*Corresponding Author. E-mail: hanane.hayzoun@univ-tln.fr

Résumé

La zone du Moyen-Sebou, objet du présent travail, reçoit des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Fès (~1M habitants), entraînant de sérieux problèmes de pollution des eaux de surface ainsi que des eaux souterraines. Cette étude se propose d'évaluer la qualité bactériologique et chimique des eaux du Sebou, en amont et en aval de la ville de Fès, et de son affluent l'oued Fès. Les résultats révèlent des niveaux de pollutions bactériologiques et chimiques supérieurs aux normes marocaines et aux seuils recommandés par l'O.M.S. Les niveaux très élevés des germes fécaux témoignent une forte contamination fécale. Cette densité bactérienne élevée expose les riverains à des risques sanitaires liés aux diverses utilisations des eaux des oueds Fès et Sebou.

Mots clés: Bactériologie, contamination fécale, eaux usées, Oued Sebou, Fès

Abstract

The middle Sebou receives untreated domestic and industrial wastewaters from the city of Fez (~1M hab) leading to serious water pollution problems. The aim of the present study was to assess the bacteriological and chemical quality of the Fez and Sebou Rivers, downstream and upstream from the Fez city. The results showed that the bacterial counts were high and exceeded the Moroccan environmental quality standards and the WHO water guidelines. Elevated levels of fecal contamination germs indicate the fecal contamination of Sebou and Fez rivers and consequently may represent a potential sanitary risk for the local populations due to numerous uses of Fez and Sebou waters.

Keywords: Bacteriology, Fecal contamination, wastewaters, Sebou River, Fez city

Introduction

Les activités humaines sont responsables d'une introduction importante de contaminants dans les milieux aquatiques [1-2]. Les eaux usées contiennent des polluants organiques et inorganiques, ainsi que des contaminants biologiques notamment les microorganismes pathogènes (bactéries, virus et protozoaires) [3-4]. La contamination des eaux par les microorganismes représente un enjeu majeur en termes de santé publique. Parmi ces organismes, les bactéries d'origine fécale sont responsables de près de 4 % des décès dans le monde et d'environ 6 % de la charge globale de morbidité [5].

Les maladies hydriques sont le plus souvent transmises par voie féco-orale et la contamination de l'homme se réalise soit par consommation d'eau de boisson, soit par consommation d'aliments contaminés par l'eau, soit encore lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage récréatif [6].

Les indicateurs bactériologiques de la qualité des eaux, les plus fréquemment utilisés sont les coliformes totaux (CT), les coliformes fécaux (CF) et les streptocoques fécaux (SF). Ils sont considérés comme indicateurs de contamination fécale récente [7].

Le bassin du Sebou, premier bassin versant au Maroc en termes d'apports d'eau est l'un des plus touchés par la pollution [8]. La détérioration de la qualité des eaux est une conséquence directe de l'urbanisation accélérée, du développement agricole et industriel irrespectueux des exigences environnementales. Le Sebou reçoit à son cours moyen les eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Fès (~1M hab), véhiculées par son affluent, l'oued de Fès. Le présent travail s'intéresse à l'étude de la qualité bactériologique et chimique des eaux des oueds Fès et Sebou.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

Situé au nord-ouest du Maroc, l'oued Sebou est l'un des cours d'eau les plus importants au Maroc. Le Sebou est un fleuve long d'environ 600 Km et draine un bassin versant de 40 000 km². Il prend ses sources dans le moyen Atlas et traverse la plaine du Gharb avant d'atteindre l'océan Atlantique.

L'oued Fès représente la principale artère du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Fès (879,37 km²). Il a une direction SW-NE en traversant la ville de Fès et sa médina et reçoit les rejets domestiques et industriels non traités de la ville avant de rejoindre l'oued Sebou.

Les prélèvements ont été réalisés en Mars 2012 dans quatre sites d'échantillonnage (F, S1, S2, S3) : trois sites (S1, S2, S3) situés sur le Sebou (dont un en amont de la confluence Sebou-Fès S1) et un sur l'oued Fès (F) en aval des rejets de la ville de Fès (Figure 1).

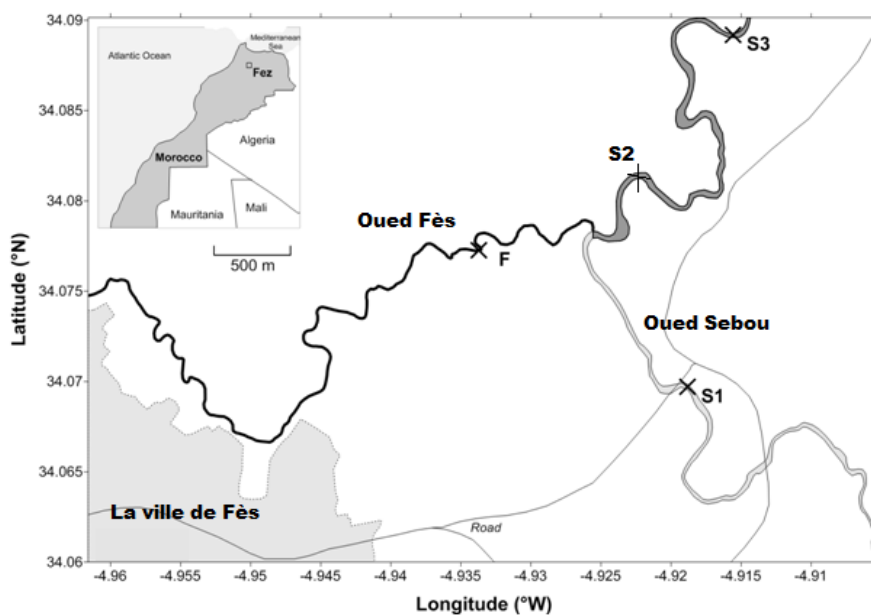


Figure 1: Situation géographique des sites de prélèvement

2.2 Analyses microbiologiques

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en verre stériles et transportés en glacière réfrigérée (4°C) jusqu'au laboratoire. L'analyse bactériologique a porté sur les coliformes totaux, les coliformes fécaux, streptocoques fécaux et les clostridiiums sulfito-réducteurs :

-Coliformes totaux (CT): dénombrement par filtration sur membrane (0,45µm) sur gélose tergitol au TTC 7 Agar à 37°C.

-Coliformes fécaux (CF): dénombrement par filtration sur membrane (0,45µm) sur gélose tergitol au TTC 7 Agar à 44°C.

-Streptocoques fécaux (SF): dénombrement par filtration sur membrane (0,45µm) sur gélose Slanetz à 37°C.

-Anaérobies clostridiiums sulfito-réducteurs (ACSR) : dénombrement par incorporation sur milieu sulfite polymixine sulfadiazine (TSC) à 46 °C.

2.3 Analyses chimique et physico-chimique d'effluents industriels

Dans le but d'évaluer la pollution industrielle en amont de Sebou, nous avons réalisé des analyses chimiques et physico-chimiques sur trois effluents (tannerie, dinanderie et textile). Des analyses de la pollution métallique de l'effluent textile ont aussi été réalisées ainsi que celle au niveau d'atelier de dinanderie. Les échantillons d'effluent ont été prélevés au niveau de sociétés implantés à la ville de Fès.

Les éléments métalliques dans l'effluent ont été analysés par ICP après minéralisation dans l'eau régale. Les analyses des métaux lourds ont été réalisées par ICP au CURI (centre universitaire régionale d'interface de Fès).

3. Résultats et discussion

Le Tableau1 donne les valeurs maximales, minimales et les moyennes des Coliformes totaux (CT) et fécaux (CF), des Streptocoques fécaux (SF) et des Clostridiiums sulfito-réducteurs durant les périodes de prélèvement. Le site (S1) situé en amont de la ville de Fès présente les moyennes les plus faibles en CT, CF, SF et CSR. Les teneurs en coliformes fécaux et streptocoques fécaux oscillent respectivement entre $1,5.10^4$ UFC /100 ml et $1,1.10^6$ UFC /100 ml et entre 4.10^3 UFC/100 ml et $1,02.10^8$ UFC /100 ml. Cette charge bactérienne est supérieure à celle recommandée par l'OMS pour les eaux destinées à l'irrigation et qui est de l'ordre de 10^3 CFU/100 ml [9].

Tableau 1: Résultats bactériologiques en UFC/100 ml dans les sites S1, F, S2 et S3

Variables	CT	CF	SF	ACSR	
S1	Moy	$1,4.10^6$	$3,61.10^5$	$3,02.10^7$	$3,01.10^7$
	Min-Max	$1,1.10^5 - 2,5.10^6$	$1,5.10^4 - 1.10^6$	$4.10^3 - 1,02.10^8$	$2.10^3 - 1,2.10^8$
F	Moy	$3,30.10^8$	$5,5.10^7$	$6,08.10^7$	$1,51.10^7$
	Min-Max	$1.10^7 - 1,10.10^9$	$8.10^5 - 2.10^8$	$3,6.10^5 - 2.10^8$	$1,6.10^5 - 3.10^7$
S2	Moy	$3,08.10^8$	$2,28.10^7$	$2,86.10^7$	$3,10.10^7$
	Min-Max	$1,1.10^6 - 1,1.10^9$	$4.10^5 - 8.10^7$	$1.10^5 - 7.10^7$	$3.10^4 - 8.10^7$
S3	Moy	$5,53.10^8$	$2,08.10^6$	$6,73.10^6$	1.10^7
	Min-Max	$1,1.10^6 - 1,1.10^9$	$1,1.10^6 - 4.10^6$	$1.2.10^5 - 2.10^7$	$4.10^4 - 2.10^7$

L
 es
 con
 cent
 rati
 ons
 les
 plus
 élev
 ées
 en
 para

mètres bactériologiques sont enregistrées dans l'oued Fès et suivent l'ordre suivant : CT>SF>CF>CSR. Les valeurs minimales et maximales varient respectivement de 1.10^7 UFC/100 ml à $1,1.10^9$ /100 ml pour les CT, de 8.10^5 UFC/100 ml à 2.10^8 UFC/100 ml pour les CF et de $3,6.10^5$ UFC/100 ml à 2.10^8 UFC/100 ml pour les SF. La comparaison de ces concentrations avec la valeur limite préconisée par l'OMS pour la qualité des eaux destinées à l'irrigation permet de déduire que ces eaux usées sont inaptés pour l'irrigation des cultures [9]. D'autre part, selon les normes marocaines des eaux de surface, la qualité bactériologique de l'oued Fès peut être classée dans la catégorie très mauvaise. Cette pollution pourrait s'expliquer par les rejets non traités déversés dans ce cours d'eau.

En aval de la confluence des oueds Fès et Sebou, les teneurs moyennes en bactéries dans le site S2 sont de l'ordre de $3,08.10^8$ UFC/100ml pour les CT, $2,28.10^7$ UFC/100 ml pour les CF, $2,86.10^7$ UCF/100 ml pour les SF. L'augmentation des concentrations par rapport à celles enregistrées dans le site S1 reflète l'impact des eaux usées domestiques et industrielles, véhiculées par l'oued Fès, sur le Sebou. Du site S2 au site S3, les concentrations en CF et SF passent respectivement de $2,05.10^7$ UFC/100 ml à $2,08.10^6$ UFC/100 ml et de

2,86.10⁷ UFC/100ml à 6,73.10⁶ UFC/100 ml. Cette régression peut être due au processus d'auto-épuration de l'Oued Sebou.

Comparés aux coliformes fécaux, les streptocoques fécaux sont réputés être plus résistants aux conditions toxiques. En effet, il a été démontré que l'exposition prolongée aux éléments toxiques et à des conditions critiques du milieu est plus létale pour CF que pour SF [10]. Ceci peut expliquer le faible ratio CF/SF trouvé dans les stations F et S3.

Les teneurs élevées en CF et SF dans tous les sites étudiés indiquent une contamination importante de ces eaux par des matières fécales provenant d'humains ou d'autres animaux à sang chaud. L'origine de la pollution fécale est reliée par le rapport quantitatif (R) des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF). Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4, la pollution est essentiellement humaine (rejet des eaux usées). Lorsqu'il est inférieur à 0,7 l'origine est animale. L'origine de la contamination est mixte à prédominance animale si R est compris entre 0,7 et 1. Cette origine est incertaine si R est compris entre 1 et 2 et l'origine est dite mixte à prédominance humaine si R se situe entre 2 et 4 [11]. Pour les sites S1 et S3, R (FCMoy/FSMoy) étant < 0,7 la pollution est d'origine animale ce qui pourrait être attribué à la présence des animaux d'élevage et aussi au lessivage des terrains agricoles chargés en fumier.

Dans les sites F, S2 l'origine de la pollution fécale est mixte à prédominance animale (0.7 < RMoy < 1). Ce résultat peut être lié aux conditions environnementales (pH, la présence des métaux toxiques) régnant dans ces deux sites et qui peuvent influencer les proportions des CF et des SF.

Les résultats de l'étude physico-chimique effectuée sur les différents effluents (tannerie, dinanderie et textile) sont regroupés dans le tableau 2. Par ailleurs, l'analyse des éléments métalliques présents dans l'effluent textile sont regroupés dans le tableau 3. La pollution au niveau de l'atelier de dinanderie est aussi présentée.

Tableau 2 : Caractérisation chimique et physico-chimique des effluents industriels

Paramètres	Tanneries	Textile	Dinanderies
pH	4 ± 0	8.25 ± 0	7.99 ± 0
Turbidité (NTU)	-	214 ± 10	-
DCO (mg/l)	-	1266 ± 30	-
MES (mg/l)	2620 ± 109	860 ± 97	2300 ± 58
COD (mg/l)	1441.59 ± 76.45	253.91 ± 10.27	296.95 ± 47.91
Cl ⁻ (mg/l)	3790.28 ± 32.50	2698.77 ± 56.27	59.65 ± 11.93
NO ₃ ⁻ (mg/l)	10.04 5± 5.02	31.95 ± 2.74	32 ± 0
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	19352.15 ± 860.04	4331.48 ± 326.45	411.36 ± 32.47
Na ⁺ (mg/l)	20005.81 ± 185.41	39876.86 ± 270.94	441.54 ± 28.31
K ⁺ (mg/l)	1824.59 ± 71.89	1921.46 ± 155.24	92.68 ± 8.67
Mg ²⁺ (mg/l)	3396,77 ± 14,96	39,23 ± 2,62	51,76 ± 4,35
Ca ²⁺ (mg/l)	10355,32 ± 172,23	10325,42 ± 100,60	228,71 ± 20,98

Tableau 3: Concentrations des éléments métalliques dans l'effluent textile

Métaux mg/l	Fe	Cr	Zn	Mn	Ni	Cu
Effluent Brut	2,61	0,094	0,36	0,15	0,03	0,09

La pollution métallique en dinanderie est caractérisée par la présence de certains métaux lourds tels le nickel, le cadmium et le cyanure. La concentration en nickel dépasse 1900 mg/l dans le bassin de nickelage et 13 mg/l à la sortie de l'atelier de dinanderie. D'autre part, la concentration en cadmium dépasse 3200 mg/l dans le bassin de nickelage et 17 mg/l à la sortie de l'atelier. Ces concentrations varient selon l'activité dans chaque unité de dinanderie.

Suite à cet ensemble d'analyses, on constate que la composition des rejets analysés est extrêmement variable et dépend de la nature de l'activité : Les effluents des dinanderies et de textile se caractérisent par un pH basique alors que l'effluent de tannage est très acide (PH =4). L'analyse des résultats montre que les eaux usées des tanneries sont caractérisées par une concentration moyenne en MES assez élevée (2620 ± 109 mg/l). Les MES dans les effluents étudiés dépassent largement les valeurs limites de rejet indirect (600 mg/l) selon les normes marocaines (MEM, 2002). Les effets des matières en suspension sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité des eaux, réduction de la pénétration de la lumière donc de la photosynthèse).

Les tanneries génèrent des rejets chargés en sulfates et en matière organique, ceci se traduit par la valeur élevée du carbone organique dissous (1441.59 ± 76.45 mg/l). Les concentrations en sulfates dépassent largement la valeur limite des normes marocaines de rejet indirect (400mg/l) (MEM, 2002). Ces teneurs sont liées à l'utilisation des sels minéraux dans les différentes étapes de traitement des peaux. Ils proviennent principalement de l'étape de picklage destiné d'une part à conserver la peau en empêchant le développement des bactéries de putréfaction. Le sulfate de chrome est utilisé comme agent de tannage alors que le sulfate d'aluminium est employé lors de l'étape de déchaulage. L'utilisation de chlorure de sodium comme agent de conservation des peaux est à l'origine des concentrations élevées en chlorures (3.79 ± 0.03 g/l). La concentration moyenne des nitrates dans les eaux usées des tanneries est la plus faible, la valeur maximale a été enregistrée dans les rejets du bain de rinçage des dinanderies (32 mg/l).

L'industrie de textile qui représente 31% de l'ensemble de l'industrie marocaine et dont les rejets liquides sont estimés à plus de 10 millions de m³ par an [12] consomme de grandes quantités d'eau et produit des rejets liquides ayant une charge élevée en polluants de divers types [13]. La couleur des eaux usées textile est essentiellement due à la présence de colorants, des pigments et d'autres composés colorés. Au cours des différentes étapes de teinture, des quantités importantes de colorants sont perdues par manque d'affinité avec les tissus à colorer. Une opération de teinture unique peut utiliser un certain nombre de colorants de différentes classes chimiques générant des eaux usées très complexes [14]. Ceci malgré les différents procédés de traitements de ces colorants [15-16]. Ces rejets sont caractérisés par une charge élevée en matières organiques (253.91 ± 10.27 mg/l) et en MES (860 ± 97 mg/l), en Na⁺, SO₄²⁻ et en Cl⁻. Les concentrations élevées sont dues aux différents traitements réalisés lors du procédé de production (utilisation de l'eau de javel, bisulfite de sodium, enzymes, les colles...). L'utilisation excessive des sulfates dans les différents processus de l'industrie textile principalement dans l'étape de teinture, explique la concentration élevée dans l'effluent (4331.48 ± 326.45 mg/l). L'excès des minéraux dans les eaux de surface peut avoir des grandes implications écologiques sur l'écosystème aquatique et sur la biodiversité [17-18]. La manifestation la plus visible est l'eutrophisation qui se traduit par une prolifération anarchique des algues dans les cours d'eau et conduit à l'appauvrissement en oxygène.

Les chlorures dans l'eau forment avec l'azote organique des chloramines et des chlorophénols toxiques. D'autre part au-delà d'une teneur de 10 g/l, ils exercent une action inhibitrice sur la croissance et le pouvoir bio-oxydant de la plupart des micro-organismes [19].

Les rejets des tanneries sont fortement chargés en Chrome (1.92 ± 0.05 g/l). Le chrome est un métal nocif caractérisé par ses deux états de valence : le Cr trivalent, Cr(III), et le Cr hexavalent Cr(VI). La forme III est considéré comme la forme la plus stable mais ayant des propriétés chimiques plus complexes que le Cr hexavalent, et peut être oxydée en Cr(VI) en présence d'oxyde de manganèse [20]. Les composés du Cr se révèlent cancérigènes dans les tests sur l'animal. La dose légale chez l'homme est de 0,5 g; il est toxique pour les poissons à partir de 52 mg/l, et pour les algues, à partir de 5 mg/l.

Conclusion

Les unités industrielles génèrent des volumes importants d'eaux usées dont la composition est extrêmement variable selon le type de l'industrie. Les résultats de la caractérisation des effluents industriels montrent qu'ils sont trop chargés en éléments toxiques. Les effluents issus de l'étape de tannage sont très acides, chargés en

chrome, en matière organiques et en sels dissous (SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+). La toxicité de ces rejets pose plusieurs problèmes au cours des traitements biologiques. La présence du chrome et des sulfures inhibe la biodégradation des rejets et prouve l'activité antibactérienne de ces éléments [21]. Le déversement des effluents des tanneries est une menace pour les eaux de surface et entraîne une eutrophisation du milieu récepteur et d'autres effets environnementaux négatifs [22].

Quant aux rejets des dinanderie (bain de rinçage), ils sont chargés en métaux lourds. Les effluents de l'industrie de délavage et de teinture sont hétérogènes et fortement colorés nécessitant un traitement adapté. Les charges organiques et minérales apportées par les effluents industriels sont très élevées et dépassent largement les capacités naturelles d'auto-épuration des cours d'eau. Le déversement de ces effluents sans aucun traitement est un motif de préoccupation croissant dans la région de Fès compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer sur l'environnement de toutes les villes situées à l'intérieur du bassin du Sebou. Ainsi, ces effluents nécessitent un traitement préalable avant leur rejet dans le Sebou, l'exutoire final de tous les rejets de la ville de Fès.

Les résultats obtenus montrent que les niveaux de pollutions bactériologiques sont élevés dans tous les sites étudiés et dépassent les seuils recommandés par l'O.M.S. Cette contamination s'accroît d'amont en aval de la confluence Fès-Sebou, mettant en évidence l'impact des rejets de la ville de Fès sur la qualité des eaux du Sebou.

L'abondance des germes fécaux dans les sites d'étude constitue une menace pour les riverains et les expose à des risques sanitaires associés aux diverses utilisations des eaux des oueds Fès et Sebou.

Références

1. Koukal B, Dominik J, Vignati D, Arpagaus P, Santiago S, Ouddane B, Benaabidate L., *Environmental Pollution* 131 (2004), 163.
2. Malki M, Marin I, Essahale A, Amils R, Moumni M., *Journal of the Science of Food and Agriculture* 6 (2008) 172.
3. Derwich, E., Benziane, Z., Benaabidate, L., *Environmental Earth Sciences* 63 (2011), 839.
4. Tahiri E. M., Benaabidate L., Nejjari C., Fikri Benbrahim K., *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (1) (2012).
5. Pruss A., Kay D., Fewtrell L., Bartram J., *Environ. Health Perspect.* 110 (2002), 537.
6. George I., Servais, P, CNRS, Paris, France (2002), 46 p.
7. Godfree A.F., Kay D., Wyer M.D., *J. Appl. Microbiol.* 83(1997) 110.
8. Perrin JL, Raïs N, Chahinian N, Moulin P, Ijjaali M., *Journal of Hydrology* 510 (2014) 26.
9. Borrego F., Romero P, *Vie journée étude. Pollutions*, Cannes, France (1982) 561
10. Jamwal P., Mittal A.K., Mouchel J.M., *Phys. Chem. Earth* 36 (2011) 490
11. Durai G., Rajamohan N., Karthikeyan C et Rajasimman M. *International Journal of Chemical and Biological Engineering* 3 (2010) 2
12. Etat de l'environnement au Maroc, 2010.
13. Birhanli, A., Ozmen, M., *Drug Chem. Toxicol.* 1(2005), 51.
14. Correia V.M., Stephenson T. et Judd, S.J. *Review. Environmental Technology*, Vol.15 (1994) 917.
15. Maghri I., Kenz A., Elkouali M., Tanane O., Talbi M., *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (1) (2012) 121.
16. Chang, E.-E., Hsing, H.-J., Ko, C.-S., Chiang., *J. Chem. Technol. Biot.* 82 (2007), 488.
17. Hayzoun H, Garnier C., Durrieu G., Lenoble V., Bancon Mantigny, Ouammou A., Mounier S., *Environ. Monit. Assess.* 186 (2014), 2851.
18. Hayzoun H, Garnier C., Durrieu G., Lenoble V., Le Poupon C., Angeletti B., Ouammou A., Mounier S., *Science of the total Environment* 502 (2014) 296.
19. Losi, M.E., Amrhein, C., Frankenberger, W.T.1994. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* 36 (1994), 91.
20. OMS. Directives de la qualité d'eau de boisson : critères d'hygiène et documentation à l'appui Genève. 2 Edition (1986).
21. Durai G et Rajasimman M., *Journal of Environmental science and Technology*, vol. 4 No.1 (2011), 1.
22. Hayzoun H., Ouammou A., Mounier S., Le noble V., Garnier C., *Mor. J. Chem.* 2 N°5 (2014) 502.

(2014) ; <http://www.jmaterenvirosci.com>