



Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la Caractérisation Physico-Chimique des Eaux d'un Ecosystème Aquatique : Cas du Lac Oubéira (Extrême NE Algérien)

Use of the Principal Component Analysis (PCA) for Physico-Chemical Characterization of an Aquatic Ecosystem Waters: Case of Oubeira Lake (Extreme Northeastern Algeria).

S. Mouissi, H. Alayat

Laboratoire Agriculture et Fonctionnement des Ecosystèmes Université Chadli Bendjedid 36000 Algérie.

Received 13 Mar 2016, Revised 27 Apr 2016, Accepted 30 Apr 2016

**Corresponding author. E-mail: samia_sou@yahoo.fr; Tel : (+213667435675)*

Abstract

The Oubeira is a freshwater shallow lake, with 21.73 km² surface, located in the Algerian extreme Northeast. It is endorheic and Ramsar site since 1983, part the national park of El Kala. It receives wastewater discharges from few surrounding communities and suffers from illegal takings for agricultural activities. These actions have so far little effect on water physico-chemical characteristics. To study this aquatic ecosystem, twenty-four observation stations have been previously identified along six transects. To allow topology diagnosis of the lake based on physico-chemical parameters measured in situ and in the labs. The results have been processed statistically by the Principal Component Analysis -ACP- program. This approach of data treatment highlights the results of the year 2015; on the other to identify potentially relevant variables for modeling.

Keywords: Lake, Oubeira, Silica, Dissolved organic nitrogen, Water chemistry, Principal Component Analysis.

Résumé

Le lac Oubeira est un plan d'eau douce, peu profond, d'une superficie de 21,73 Km², situé à l'extrême Nord-Est algérien. Il est endoréique et classé site Ramsar depuis 1983, faisant partie du parc national d'El Kala. Il reçoit des rejets d'eaux usées de petites localités et subit des prélèvements destinés aux activités agricoles. Ces actions ont pour l'instant peu d'effet sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux. Pour étudier cet écosystème aquatique, vingt-quatre stations d'observations ont été repérées préalablement le long de six transects, afin de permettre un diagnostic de la typologie des eaux du lac en fonction des paramètres physico-chimiques mesurés in-situ et au laboratoire. Les résultats obtenus ont subi un traitement statistique par analyse en composantes principales (ACP). Cette méthodologie de traitements des données met en exergue les résultats de l'année 2015, d'une part et permet d'identifier les variables potentiellement intéressantes à la modélisation par les réseaux de neurones, d'autre part.

Mots clés : Lac, oubéira, silice, azote organique dissous, hydrochimie, analyse en composantes principales.

1. Introduction

Les lacs du pourtour méditerranéen, et plus particulièrement ceux de l'Afrique du nord, connaissent une dégradation qualitative et quantitative, résultant de contraintes naturelles (précipitations, écoulements, envasement) et anthropique (prélèvements, rejets). Cette dégradation a eu des conséquences sur le développement économique de la région [1].

Ce lac, qui se maintient depuis le Quaternaire, s'est asséché complètement à la fin de l'été 1990 suite à des pompages importants destinés à l'alimentation en eau potable et à une séquence d'années sèches. Par conséquent, le potentiel hydrique même s'il est suffisant n'est pas inépuisable [2]. L'alternance des saisons sèches et humides, le changement climatique, les actions anthropiques et l'envasement du lac entraînent une dégradation écologique et une modification de la structure et du fonctionnement de l'écosystème. D'un point de vue scientifique, les campagnes de contrôles environnementaux produisent de grandes quantités de données qui, très souvent, ne sont pas simples à interpréter [3 ; 4]. Dans ce contexte, l'utilisation de différentes techniques statistiques multivariées (analyse en composantes principales, méthodes de classification) pour l'interprétation des données semble une solution intéressante pour une meilleure compréhension de la qualité des eaux et des états écologiques des milieux étudiés [5].

L'objectif de ce travail consiste à faire le diagnostic de la typologie des eaux du lac à travers les paramètres physico-chimiques mesurés in-situ et au laboratoire par l'analyse en composantes principales et à identifier les variables potentiellement intéressantes à la modélisation.

2. Présentation de la zone d'étude

Le lac Oubéira, d'une superficie de 21,73 Km², faisant l'objet de cette étude est situé à l'extrême Nord Est algérien -36°51'N, 8°23'E-, à une altitude de 23 m (Fig. 1). Il a une alimentation essentiellement pluviale, ses affluents les plus importants sont les oueds Demenet Er Rehan, Degrah et Bouhchicha. Il s'ensuit que son régime hydrologique est lié aux conditions climatiques.

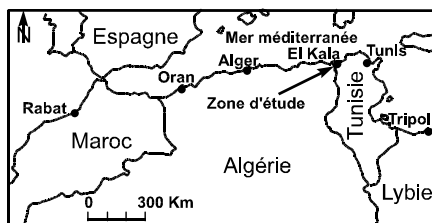


Figure 1 : Situation de la zone d'étude.

3. Matériels et méthodes

Pour assurer un meilleur suivi et limiter les effets anthropiques, vingt-quatre stations d'observations ont été repérées préalablement le long de six transects (Fig. 2) et dix paramètres physico-chimiques ont été mesurés in-situ et/ou au laboratoire, au droit de chaque station.

2. 2. Mesures et prélèvements

Les mesures réalisés in-situ sont :

- la localisation des stations de mesure et d'échantillonnage avec un GPS Garmin 72
- la conductivité électrique et la température de l'eau avec un conductimètre (HACH)
- le pH avec un pH mètre (HACH)
- l'oxygène dissous avec un oxymètre WTW

Les prélèvements d'eau destinés aux analyses physico-chimiques ont été effectués à l'aide d'une bouteille d'échantillonnage, au milieu de chaque verticale, en raison de la faible profondeur (comprise entre 0.60 et 1.90 m) du plan d'eau et transférés dans des bouteilles en verre, étiquetées, préalablement rincées avec l'eau à analyser. Ils ont permis la détermination des concentrations :

- des nitrates par chromatographie ionique
- des cations majeurs par ICP-AES
- de l'azote organique dissous -noté NOD- et de l'orthosilicates -noté $\text{Si}(\text{OH})_4^-$ par spectrophotométrie.
Les prélèvements ont été effectués au courant de l'année 2015.

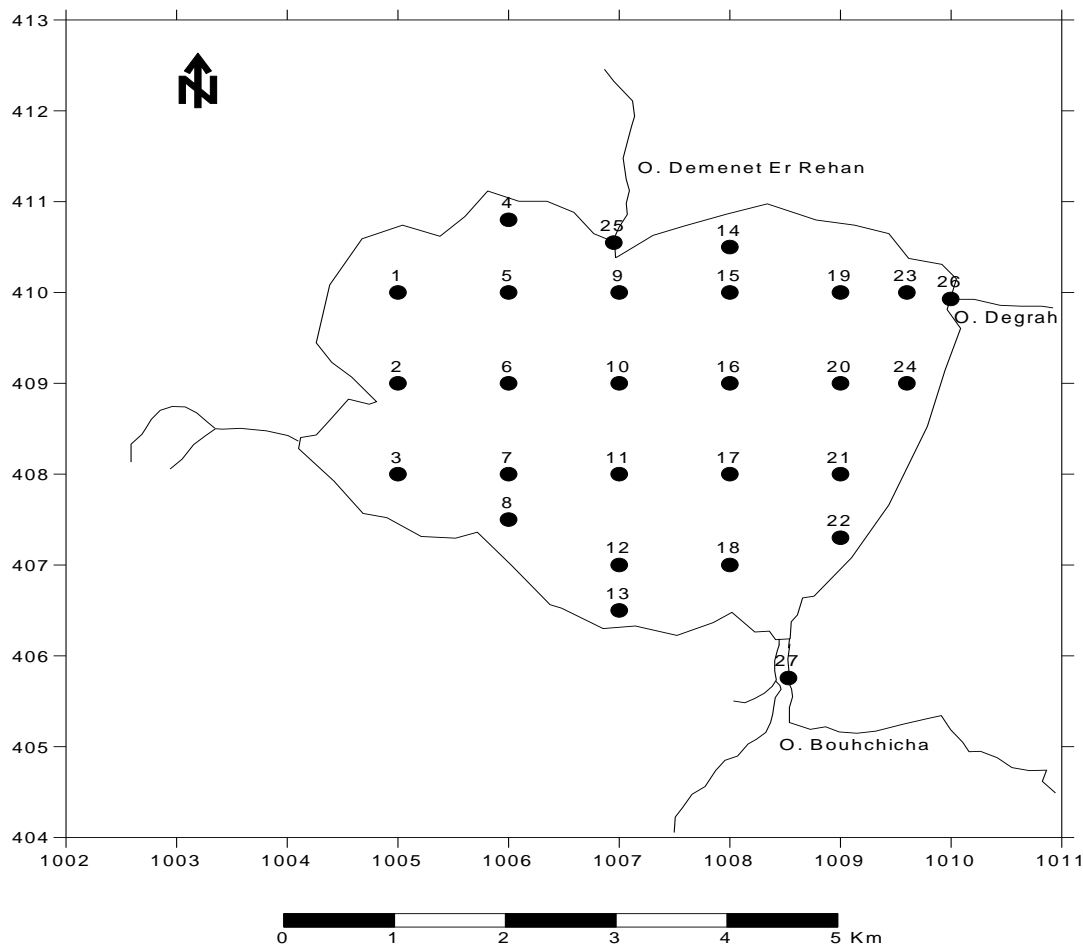


Figure 2 : Localisation des stations d'observations.

4. Résultats et discussion

3. 1. Analyse descriptive des résultats

L'enregistrement thermique est indispensable pour comprendre les processus biologiques, chimiques et minéralogiques qui se déroulent dans un lac. Une élévation de la température perturbe fortement le milieu, mais peut être aussi un facteur d'accroissement de la productivité biologique [6]. La température de l'eau du lac Oubéira varie entre 18 et 22 °C, ce qui permet de le classer dans la catégorie des lacs monomictiques chauds [7 ; 8]. La différence de température entre l'eau et l'air est de 3 à 4 °C.

L'oxygène dissous dépend essentiellement de la respiration et de la photosynthèse des populations planctoniques et de la minéralisation de la biomasse [9]. La teneur en oxygène dissous dans l'eau est étroitement liée au régime thermique du lac [10]. En effet, les faibles teneurs en oxygène dissous (comprises entre 1 et 3 mg/l) observées à travers cet écosystème sont dues à la température de l'eau et à la dégradation de la biomasse par les microorganismes. L'oxygène dissous du lac est donc médiocre.

La conductivité électrique -notée CE- traduit la minéralisation des eaux. L'intérêt des mesures de la CE se manifeste surtout dans leur évolution spatiale [11]. Elle fluctue au niveau du lac entre 300 et 500 $\mu\text{s}/\text{Cm}$. Elle caractérise des eaux douces peu minéralisées. La mesure de la turbidité permet de préciser les informations

visuelles sur l'eau [12]. Elle traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). Elle contribue à réduire la photosynthèse et à abaisser la teneur en oxygène dissous, en raison de la présence de colloïdes biodégradable [13]. Les mesures effectuées montrent que la turbidité varie entre 20 et 120 NTU (nephelometric turbidity unit). Selon la classification de Rodier, qui en compte 3 classes, l'eau du lac Oubeira est trouble. Les variations d'opacité s'expliquent par la prolifération algale, suite à l'augmentation des réserves nutritives, charriées par les affluents et au transfert solide.

Les bases échangeables ont pour origine la dissolution des formations carbonatées, gréseuses et argileuses du bassin versant. La précipitation des carbonates au niveau du lac dépend de la teneur en CO_2 et du pH. Le potassium dépasse les normes recommandées par l'OMS au niveau des stations 5, 8, 14, 19 et atteint son maximum, soit 42 mg/l, au niveau de la station (13). Cet élément contribue à la prolifération de la végétation aquatique envahissante du lac. Par contre, le sodium dépasse les normes uniquement au niveau des stations 5 et 13 où il atteint 320 mg/l.

Le silicium est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre. Il est présent dans les formations géologiques du bassin versant notamment dans les argiles et grès. L'acide orthosilicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ est la forme soluble du silicium ayant une biodisponibilité particulièrement élevée. Les variations des flux de silice sont dépendantes de la lithologie, du taux d'érosion, du climat et de la production des diatomées [14]. Dans les eaux du lac, les teneurs en $\text{Si}(\text{OH})_4$ varient entre 1 et 7,56 mg/l. La valeur la plus élevée est observée au niveau de la station 22. Cet élément, provenant de l'altération du bassin versant, est généralement élevé.

En milieu aquatique, le NOD (azote organique dissous) provient du métabolisme des micro-organismes, de la lyse des cellules, de la décomposition de la matière organique et des eaux de pluie [15]. Il est utilisé par les bactéries comme source d'azote et régénéré sous forme minérale (azote inorganique dissous, noté NID) assimilable par les végétaux. Les valeurs enregistrées varient entre 0,03 et 0,5 mg/l. Le NOD constitue généralement un stock important à travers le lac. Cette fraction organique joue un rôle écologique important.

Les nitrates de l'eau proviennent de la minéralisation de la biomasse du lac et de l'oxydation de l'azote ammoniacal et des nitrites. Les valeurs relevées à travers le lac Oubéira sont faibles, elles varient entre 1,15 et 1,46 mg/l. Slim K. et al ont constaté qu'une quantité infime des nitrates dans les eaux de surface est liée soit à la croissance algale accrue dans ces sites, soit au phénomène conjoint de dénitrification qui transforme le nitrate NO_3^- en azote N_2 grâce à la présence de la matière organique.

3.2 Analyse statistique des résultats

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multi-variée permettant l'étude simultanée d'un grand nombre de variables dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions. Cette méthode permettrait de préciser les relations entre les variables et les phénomènes à l'origine de ces relations. L'objectif est d'avoir une information concentrée sur un minimum d'axe [17]. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques [18 ; 19]. L'ACP est donc un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des écosystèmes aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en compte [20]. L'analyse statistique des données physico-chimiques a été effectuée sur une matrice de données constituée de dix variables et de 24 prélèvements répartis le long de six transects à travers le lac Oubéira, soit 10 variables et 24 individus. Le logiciel statistique XLSTAT 2014 a été utilisé pour le traitement des données.

La matrice de corrélation donne une première idée des associations existantes entre les différentes variables telles que la Turbidité et la silice, le potassium, l'oxygène dissous, le sodium, la température et la conductivité électrique. Ces paramètres sont relativement bien corrélés entre eux (Tableau 1).

Les valeurs propres de la matrice de corrélation permettent de mesurer le pourcentage de la variance expliquée par chaque factoriel (Tableau 2). L'histogramme des valeurs propres montre que le premier plan factoriel, constitué des axes F1 et F2, représente 69,77% de l'inertie totale. Il se révèle suffisant pour traduire l'essentiel de cette inertie. Car si l'on observe la répartition des valeurs propres, on constate que le décrochement principal se fait juste après les deux premières valeurs ce qui signifie que les deux premiers axes sont suffisants pour représenter l'information dans sa globalité.

Tableau 1 : Matrice de corrélation entre les variables sur l'ensemble des stations étudiées

	NO ₃ ⁻	T	O ₂	TUR	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	CE	Si(OH) ₄	NOD
NO ₃ ⁻	1									
T	-0,3866	1								
O ₂	-0,2843	0,4414	1							
TUR	0,2026	-0,2847	-0,1816	1						
K ⁺	-0,2315	0,3513	0,2725	0,3948	1					
Na ⁺	-0,1819	0,3664	0,2448	0,4809	0,9777	1				
Ca ²⁺	0,0081	0,0073	0,1157	0,2686	0,7753	0,7113	1			
CE	0,5038	-0,7575	-0,6017	0,1130	-0,5939	-0,5902	-0,1485	1		
Si(OH) ₄	0,3725	-0,4387	-0,4125	0,8372	0,1787	0,2163	0,1740	0,3449	1	
NOD	-0,4877	0,5476	0,4183	-0,1027	0,2678	0,3216	-0,1929	-0,7215	-0,3129	1

Tableau 2 : Variance totale expliquée

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Valeur propre	4,0121	2,9650	1,0582	0,7111	0,5797	0,3471	0,1411	0,1266	0,0523	0,0068
Variabilité%	40,1207	29,6497	10,5824	7,1112	5,7973	3,4713	1,4106	1,2660	0,5228	0,0681
% cumulé	40,1207	69,7704	80,3527	87,4639	93,2612	96,7325	98,1431	99,4091	99,9319	100

Nous apporterons une attention importante aux variables ayant une forte contribution positive ou négative à l'axe factoriel, ce qui facilitera la compréhension de la source de variabilité expliquée par les axes (Tableau 3).

Tableau 3: Contributions des variables (%)

	F1	F2
NO ₃ ⁻	8,2307	3,0234
T	14,4584	3,0054
O ₂	10,2324	1,9666
TUR	0,0901	23,6409
K ⁺	13,5679	13,7401
Na ⁺	13,1834	14,6304
Ca ²⁺	3,2671	15,6130
CE	21,6451	0,4704
Si(OH) ₄	3,0391	21,0012
NOD	12,2859	2,9086

Les graphiques issus de l'analyse factorielle, mettent en évidence des regroupements, des oppositions et des tendances directionnelles. L'axe I exprime 40,12 % de la variance et oppose la conductivité électrique et les nitrates aux alcalino-terreux, à la température et à l'azote organique dissous. Il traduit la minéralisation et la pollution organique des eaux (Figure 3). Enfin, la turbidité et la silice sont étroitement liées et évoluent dans le même sens et se différencient sur l'axe II, qui exprime (29,65 %) de la variance. Il définit un axe d'érosion. L'analyse en composantes principales permet de déterminer de la façon suivante, la typologie des eaux de l'écosystème (Figure 4) :

Groupe 1 : comprend la majorité des stations caractérisées par une eau minéralisée ;

Groupe 2 : caractérise les stations affectées par la pollution organique.

Groupe 3 : caractérise les eaux troubles riches en colloïdes et en silice.

Enfin, la station 10 se détache des trois groupes par des eaux riches en matières en suspension et en silice en relation avec le fort courant N-S qui développe des remous au droit de cette station.

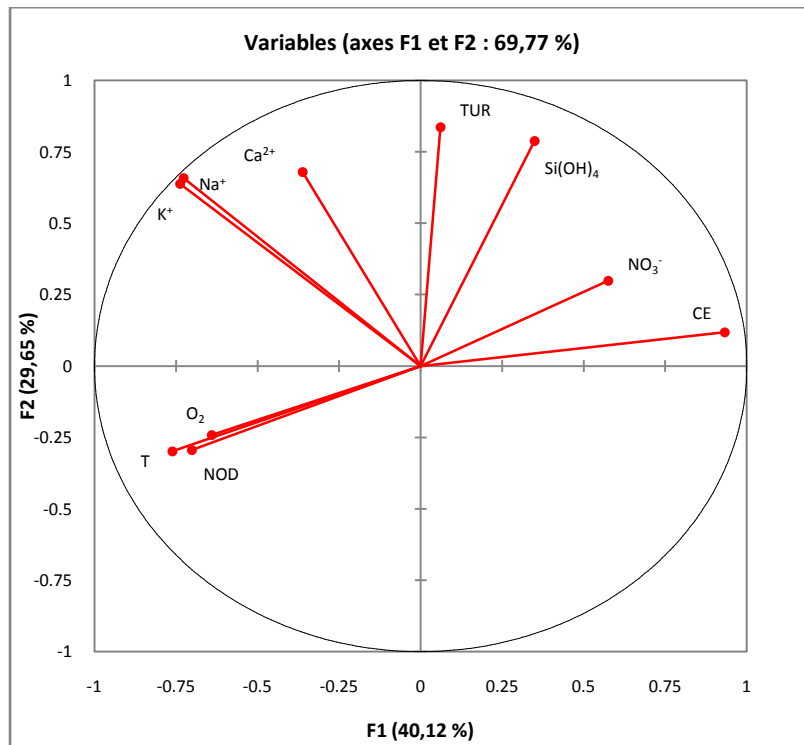


Figure 3 : Projection des variables sur le premier plan factoriel

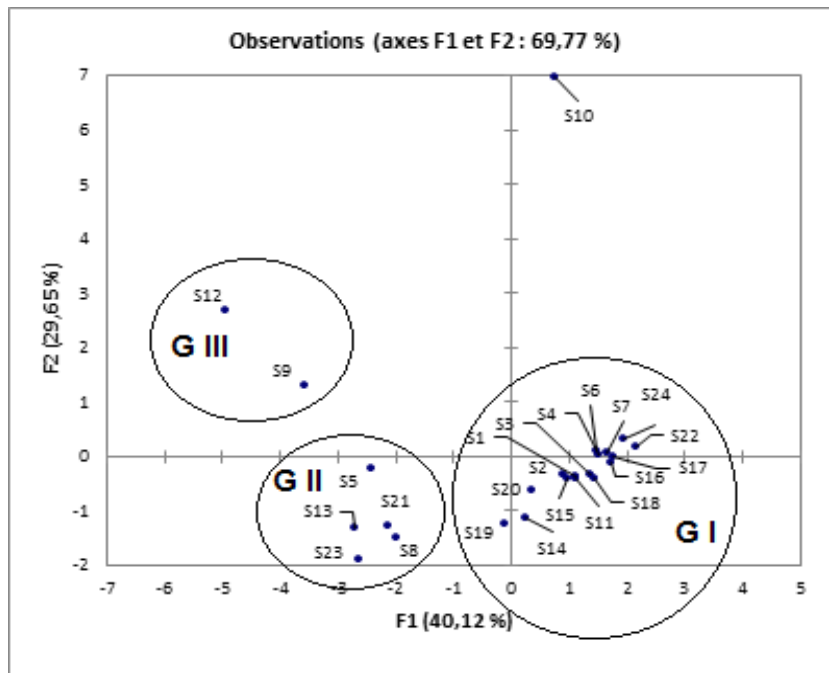


Figure 4 : Projection des individus sur le premier plan factoriel

Conclusion

Dans le cadre de la préservation de cet écosystème, une étude des paramètres physico-chimiques a permis de montrer que les eaux douces et peu minéralisées du lac Oubéira sont troubles et pauvres en oxygène dissous. La dégradation de la biomasse et les températures relevées affectent de manière significative la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Les alcalino-terreuses relevées à travers le lac dépassent par endroit les normes recommandées par l'OMS, notamment au niveau de la station (13). Le silicium est généralement abondant dans les eaux du lac, il provient de l'altération de la trilogie argile-grès-argile du Numidien qui constitue le bassin versant du lac. Il a permis de cibler l'importance de l'érosion du bassin versant à travers la silice et les bases échangeables. La fraction organique de l'azote est généralement importante à travers l'écosystème. Cependant, l'autoépuration activée par le brassage continu des eaux fait que la teneur en nitrate est faible et montre l'absence de dégradation particulière de la qualité de l'eau qui serait à l'origine de l'eutrophisation. Cependant, la prolifération de la végétation aquatique envahissante de l'écosystème montre l'importance de la richesse en nutriment du milieu. Cette étude a montré également l'importance et l'utilité des techniques d'analyses multi-variées pour obtenir des informations sur la qualité de l'eau et prévenir ainsi toutes sortes de pollutions. L'ACP a permis de dégager une typologie dominée par trois groupes d'eau et de retenir huit variables, soit T, CE, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, NOD, Turbidité et Si(OH)₄⁻, pour les travaux de surveillance et de modélisation de l'écosystème.

Acknowledgements - Au terme de cette recherche, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Références

1. Alayat H., *European Scientific Journal* 9 (2013) 36.
2. Alayat H., Les eaux superficielles et la nappe phréatique de la plaine d'Annaba. *Th. Doct., Univ. de Nancy II*, (1991), 382p.
3. Félipo-Sotelo M., Andrade J.M., Carlosena A., Tauler, R., *Analytica Chimica Acta*, 583 (2007) 128-137.
4. Kowaliski T. Zbytniewsky R., Szpeina J., Buszewski B., *Water Res.*, 40 (2006) 744-752.
5. Simenov V., Stratis J.A., Samara C., Zahariadis G., Vousta D., Anthemedis A., Sofoniou M., Koumtzis T., *Water Research*, 37 (2003) 4119-4124.
6. Gaujous D., La pollution des milieux aquatiques Aide-mémoire, 2^{ème} Ed. Lavoisier. ISBN: 2-7430-0021 (1995) 224
7. Lewis JR, William., *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 (1983) 1779-1787.
8. Mehanned S., Chahlaoui A., Zaid A., Samih M., Chahboune M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 1633-1642.
9. Hebert S., Légre S., Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec*, (2000), 5.
10. Villeneuve V., Legare S., Painchaud J., Vincent W., *Rev. Sci. Eau, Géol.*, (2006) 259-274.
11. M. Makhoukh1, M. Sbaa, A. Berrahou1, M. Van. Clooster., *Larhyss Journal*, 09 (2011) 149-169.
12. Perroux A.-S., *Kartologia*, n° 47 (2006) 7-20.
13. Rodier J., Legube B., Merlet N. et coll. L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition. Ed. Dunod Paris. (2009).
14. Conley, D. J., *Limnol. Oceanogr.* 42 (1997) 774-777.
15. Meybeck, M., *Am. J. Sci.*, 282 (1982) 401-450.
16. Slim K., Saad Z., El Samad O., Kazpard V., *Revue Sécheresse*, 16 (2005) 31-35.
17. Ayadi, I., H,Habib., D ,yasmine., *International Water Ressources Association. XIIIth World Water Conress I* (4 Septembre 2008). *Montpellier, France*.
18. Abrid D. Caractérisation physico-chimique, minéralogique et géochimique des sédiments de la retenue du barrage Sidi chahed et des sols du bassin versant de l'oued Mikkés. *Th. Doct., Univ. Moulaya Ismail, Maroc* (2015) 233.
19. Toumi A., Reggam A., Alayat H., Houhamdi M., *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (1) (2016) 139-147.
20. N'diaye A., Salem K., El Korya M., Ould Kankou M., Bauduc M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 320-329.

(2016) ; <http://www.jmaterenvirosci.com/>