

## CARACTERISATION DES MATERIAUX BIOLOGIQUES ISSUS D'UN ECOSYSTEME NATUREL

### « PNEK » SITUE AU NORD-EST DE L'ALGERIE

A. BENDJAMA<sup>1,2</sup>, K. MORAKCHI<sup>1</sup>, H. MERADI<sup>1</sup>, A. BOUKARI<sup>1</sup>,  
T. CHOUCANE<sup>1</sup>, B.E. BELAABED<sup>2</sup>, L. DJABRI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unité de recherche appliquée en sidérurgie et métallurgie, BP, 196, Annaba -, Algérie

<sup>2</sup>Université Badji Mokhtar Annaba, Département Hydrogéologie.

(Reçu le 26/10/10, accepté le 10/07/11)

#### ملخص

هذه الدراسة تهدف إلى تقييم مستوى التلوث بسبعة معادن ثقيلة و المتمثلة في الحديد، الزنك، النحاس، النيكل، الكروم، الرصاص و الكاديوم) و ذلك بالبحيرات الرئيسية الثلاثة (طونقا، أبيرة، الملاح) لمجمع المناطق الرطبة للحظيرة الوطنية بالقالة و ذلك على الرواسب السطحية، مع تبين مصدر التلوث بالمعادن الثقيلة نتائج تحاليل المعادن الثقيلة المنحلة التي أجريت في راسب البحيرات، أظهرت ما يلي :

- راسب بحيرة الملاح أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد، النيكل، الكروم).
- راسب بحيرة طونقا أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد، الرصاص و الكاديوم).
- راسب بحيرة أبيرة أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد، النحاس، النيكل).

هذه النتائج مدعمة بنتائج تقييم عوامل التلوث.

عامل التلوث : راسب، المعادن الثقيلة، التلوث، بحيرة كلمات مفتاحية

#### ABSTRACT:

Our study aims to characterize the composition and degree of contamination of surface sediments from three lakes in the region of El Kala located northeast of Algeria (Tonga Oubeira El Mellah), and distinguishes the sources of this composition (natural or anthropogenic). The determination of metals, iron, copper, zinc, nickel, chromium, lead and cadmium, is obtained in the surface sediment for each site and for four seasons. The analysis results show that the analyzed sediments are characterized by an abundance of certain heavy metals especially iron, lead, nickel and chromium. Indeed, referring to standards Lagoon El Mellah is contaminated by iron, nickel and chromium, Oubeira lake is contaminated by iron and nickel, and Tonga lake is contaminated by iron and cadmium. Other elements copper and zinc show no harm to the environment. These findings are supported by the values of the indices of contamination.

**Key words:** sediment, heavy metals, contamination, lake, indication of contamination,

#### RESUME :

Notre étude a pour objectif de caractériser la composition et le degré de contamination des sédiments superficiels de trois lacs de la région d'El Kala situé au Nord Est de l'Algérie (Tonga, Oubeira, El Mellah), et de distinguer les sources de cette composition (naturelle ou anthropique). Le dosage des métaux, fer, cuivre, zinc, nickel, chrome, plomb et cadmium, est obtenu dans le sédiment superficiel de chaque site et durant quatre saisons. Les résultats d'analyses montrent que les sédiments analysés se caractérisent par une abondance de certains métaux lourds surtout pour le fer, le plomb, le nickel et le chrome. En effet, en se référant aux normes la lagune El Mellah est contaminée par le fer, le nickel et le chrome, lac Oubeira est contaminé par le fer et le nickel, et lac Tonga est contaminé par le fer et le cadmium. Les autres éléments cuivre et zinc, ne présentent aucune nuisance à l'environnement. Ces résultats sont appuyés par les valeurs des indices de contamination,

**Mots clés :** sédiment, métaux lourds, contamination, lacs, indice de contamination.

## INTRODUCTION

Dans les écosystèmes aquatiques naturels, les métaux se trouvent à de faibles concentrations, généralement de l'ordre du nano gramme ou micro gramme par litre [1]. Les métaux lourds ou éléments traces métalliques sont des composants naturels de l'écorce terrestre dans laquelle on les rencontre généralement sous forme de minerais, associés entre eux et à de nombreux éléments (oxygène et soufre en particulier). Ils sont donc aussi naturellement présents dans les roches drainées par les eaux de surfaces et les nappes souterraines [1].

Par ailleurs, les métaux lourds constatés dans l'environnement aquatique émanent de sources naturelles et anthropogènes. Leur présence peut être le résultat soit de déversements effectués directement dans les écosystèmes aquatiques, soit d'un cheminement indirect comme dans le cas des décharges sèches et humides et du ruissellement agricole.

Les lacs étant, par nature, le réceptacle des eaux de pluie qui lessivent leurs bassins versants et, de plus en plus, celui des eaux usées des populations riveraines, il nous a paru utile dans le cadre de ce travail de déterminer les niveaux de la contamination métallique de trois plans d'eau notamment lac El Mellah, lac Tonga et lac Oubeira et cela au niveau d'un compartiment très important qui est le sédiment.

En effet, La surveillance des polluants métalliques est effectuée dans les sédiments dont la fraction est inférieure à 63 millimicron, car en sédimentologie les métaux se fixe préférentiellement sur cette fraction fine, aussi c'est un compartiment qui peut conserver dans leur couches successives toute une histoire chimique d'une région et les premiers centimètres de la couche superficielle peuvent nous donner une idée sur plusieurs années de contamination [2].

Sept éléments métallique font l'objet de notre étude notamment "le plomb, le cadmium, le fer, le zinc, le cuivre, le chrome et le nickel ", car généralement dans les sciences environnementales ce sont ces métaux lourds qui sont associés aux notions de pollution et de toxicité ; [3] .

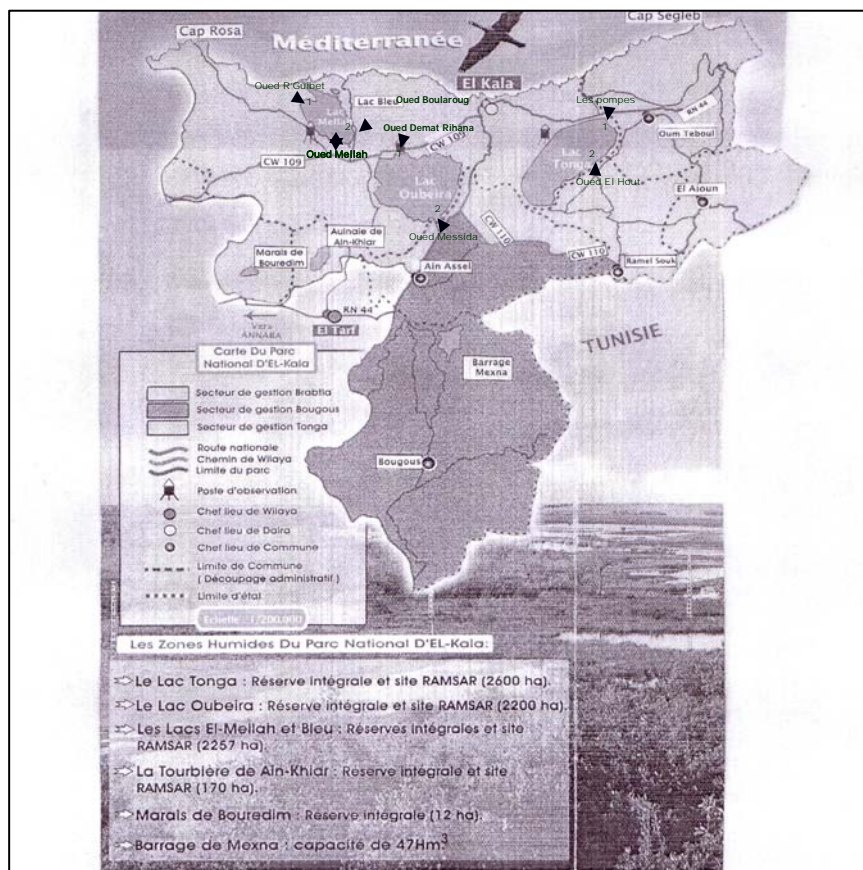
## MATERIELS ET METHODES

### *1-Description de la zone d'étude :*

Les lacs Mellah, Oubeira et Tonga, sont des écosystèmes aquatiques qui appartiennent à un ensemble biogéographique, exceptionnel par sa diversité biologique, qu'on appelle « **Région d'El-Kala** ». Le caractère exceptionnel de la région d'El Kala réside dans sa réserve naturelle théoriquement protégée qui laisse le visiteur de cette région admiratif et contemplateur. Créé en 1983, Le Parc National s'étend sur une superficie de 76438 ha. Situé au nord-est de l'Algérie, il est limité à l'est par la frontière algéro-tunisienne, au nord par la mer, à l'ouest par le Cap Rosa, au sud par les contreforts du djebel El Ghorra. Le Parc est composé d'une mosaïque d'écosystèmes forestiers, lacustres, dunaires et marins, lui conférant une haute valeur biologique et écologique dans le bassin méditerranéen. Sa flore, sa faune et son patrimoine culturel lui ont valu son inscription en tant que réserve de la Biosphère par l'UNESCO en 1990[4].

Les trois lacs précités, d'importance internationale, sont disposés en arc de cercle autour d'El Kala : le lac Mellah (eau salé), réserve intégrale de 860 ha (lagune unique en Algérie), est en contact avec la méditerranée par un chenal ; c'est un écosystème d'une richesse considérable, car il dispose en plus des apports aquatiques marines (poissons, crustacés), des sources de

montagne ; le lac Tonga (eau saumâtre) et le lac Oubeïra (eau douce) sont des lacs poissonneux, plus ou moins profonds et d'une superficie respective d'environ 2600 ha et 2200 ha. Ces zones humides sont situées sur la voie de migration de dizaines de milliers d'oiseaux venant d'Europe et d'Asie soit pour hiverner, et certains pour se reproduire, soit pour faire une halte.



**Fig.1 : Site d'étude et localisation des stations de prélèvement**  
 Carte élaborée par la Direction des forêts d'El kala Wilaya d'El-Tarf  
 (Modifiée par Bendjama amel, 2010) [5].

## 2. Echantillonnage :

L'échantillonnage réalisé durant l'année 2006 a été effectué au niveau de deux stations par lac. Dans chaque station nous avons effectué 3 prélèvements de sédiment par saison.

**Tableau 1 : Stratégie d'échantillonnage**

Le Site	Lac EL-Mellah			
	Nom de la station	Situation	Nature de l'échantillon	Nombre de Prélèvements
Station 1	Embouchure de Oued R'Guibet	Nord-Ouest du lac El Mellah	<u>Sédiment</u> : Sable pur	Sédiment : 3 / saison
Station 2	Entre Oued Boularoug et Oued Mellah	Sud du lac El Mellah	<u>Sédiment</u> : Sable légèrement envasé	Sédiment : 3 / saison
Lac Tonga				
Station 1	Les pompes	Nord du lac Tonga	<u>Sédiment</u> : Vaseux	Sédiment : 3 / saison
Station 2	Oued El-Hout	Sud-est du lac Tonga	<u>Sédiment</u> : Vase légèrement sableuse	Sédiment : 3 / saison
Lac Oubeira				
Station 1	Embouchure de Demet Rihana	Nord du lac Oubeira	<u>Sédiment</u> : Vaseux	Sédiment : 3 / saison
Station 2	Embouchure de Oued Messida	Sud est du lac Oubeira	<u>Sédiment</u> : Vase Sableuse	Sédiment : 3 / saison

#### 4. Prélèvement et préparation des échantillons pour l'analyse :

Les sédiments destinés aux analyses ont été prélevés à l'aide d'un seau en polyéthylène, dans des zones à sédimentation calme et riches en matériaux fins et en dépôts organiques, max 1 mètre de profondeur. Les sédiments sont recueillis dans des sachets en plastique ; ces sachets sont ensuite conservés depuis le prélèvement jusqu'au laboratoire, dans une glacière à température de 4° C°, puis congelé.

##### 4.1. Minéralisation des échantillons

Arriver au laboratoire, la minéralisation du sédiment qui consiste en une attaque acide pour détruire la matière organique, a été assurée selon la voie humide. Elle a été réalisée après séchage et broyage du sédiment, dans des béchers en présence d'un mélange d'acide nitrique/acide chlorhydrique pur (2v/l v) puis chauffés sur un bain de sable pendant 24 heures environ, tout en étant recouverts par des verres de montre afin de condenser la vapeur. Le chauffage se poursuit jusqu'à disparition totale des vapeurs nitreuses rousses et apparition de fumée claire. Ensuite, les échantillons sont évaporés à sec. Le minéralisât est repris par rinçages successifs avec de l'eau distillée puis filtrés et complétés à un volume final de 100 ml dans des fioles jaugées [6]

La solution obtenue est prête pour analyse par le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA). Le dosage des métaux dans la solution finale a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique en flamme et en four pour les faibles concentrations.

##### 4.2. Précaution à prendre avant la minéralisation

La verrerie doit être soigneusement décontaminée, A cette effet, les récipients recevant les échantillons doivent être remplis avec de l'acide chlorhydrique ou nitrique à 6mol/l pendant une semaine, puis abondamment lavés à l'eau distillée ( ou déminéralisée ) et séchés à l'étuve à 60°C.

##### 4.3. Précaution à prendre avant l'analyse des échantillons

Pour éviter les interférences entre éléments de l'échantillon, on est souvent amené à rajouter des réactifs spécifiques tel que la solution de lanthane qui est apporter à la préparation

de notre échantillon de façon à limiter les interférences dues notamment au  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Na}^{++}$  et cela pour effectuer des mesures directes dans les meilleures conditions possibles.

#### 4.4. Calcul de la concentration métallique en mg / kg de poids sec :

La concentration ( $C_m$ ) de l'élément métallique dans le sédiment est obtenue par la formule de [7].

$$\frac{CE \cdot V}{M} C_m \text{ (mg / Kg)} =$$

**C<sub>m</sub>** : concentration du métal en mg/kg de poids sec de sédiment.

**CE** : concentration lue sur la courbe d'étalonnage en ppm ou mg /l.

**V** : Volume de la solution finale après digestion (l).

**M** : Masse du sédiment minéralisé (Kg).

#### 7. L'Appareille d'analyse des échantillons « SAA » :

La spectrométrie d'absorption atomique « SAA » est une méthode d'analyse élémentaire tels que les métaux lourds qui utilise la propriété des atomes d'être excités par apport à une énergie extérieure sous forme de photons à de fréquence bien définie

L'absorption d'un photon de fréquence  $\nu$  par un atome A n'est possible que si la différence d'énergie entre le niveau initial  $E_0$  et le niveau  $E_i$  après absorption correspond à une transition entre deux niveaux énergétique de l'atome A soit, [8].

$$\nu = (E_i - E_0) / h$$

Avec :

$h$  : la constante de Planck

Par suite un atome, ne peut absorber que des radiations de fréquence bien déterminée, qu'il est en outre capable d'émettre. L'absorption se fait à partir du niveau inférieur de la transition correspondant à l'énergie  $h \nu$ .

##### 7.1. La loi d'absorption en absorption atomique :

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer Lambert selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique A, au trajet optique B et à la concentration C. [8]

$$\text{Log } I_0/I = A \cdot B \cdot C$$

Avec :

$I$  = intensité après absorption par les atomes

$I_0$  = intensité initiale de la source lumineuse.

Cependant en pratique, cette relation n'est pas toujours vérifiée. On n'obtient pas toujours une droite d'étalonnage. C'est le cas si la concentration devient trop élevée. La gamme de dosage est le domaine dans lequel la droite d'étalonnage est pratiquement une droite. Il est limité pour les faibles concentrations par la limite de détection et pour les fortes concentrations par l'erreur sur la fidélité : à une très forte variation de la concentration

correspond une faible variation de l'absorbance. La gamme de dosage est généralement donnée par le constructeur. Elle dépend de la raie de dosage utilisée.

### 7.2. Les instruments de mesures

La source de mesures pour l'absorption atomique la plus courante est la lampe à cathode creuse. Elle consiste en une anode de tungstène et une cathode cylindrique sise dans un tube en verre contenant un gaz inerte, comme l'argon. La cathode est composée de l'élément à analyser [8].

### 7.3. L'analyse de l'échantillon

Il faut de la chaleur pour faire passer l'échantillon à l'état gazeux. La chaleur est générée par une flamme ou un four de graphite. La SAA de flamme analyse seulement les solutions, tandis que la SAA de four de graphite analyse les solutions, les boues liquides et les échantillons à l'état solide.

Un atomiseur de flamme consiste en un nébuliseur qui convertit l'échantillon en un aérosol, qui est alimenté dans le brûleur. L'atomisation se produit dans la flamme qui est habituellement alimentée par de l'acétylène et du protoxyde d'azote. [8]

## RESULTATS ET DISCUSSION

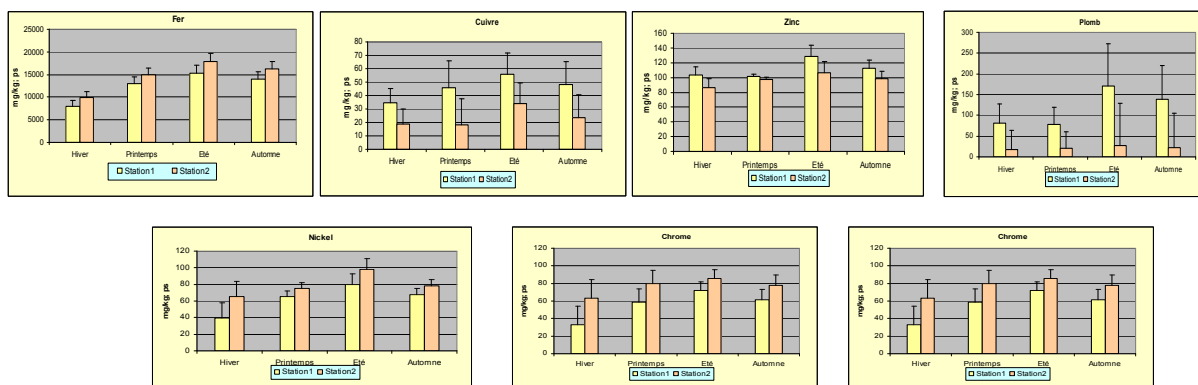
L'évaluation du niveau de la contamination des lacs est basée sur les normes de la communauté européenne, et les recommandations algériennes.

### 4.1. Résultats lac Tonga

**Tableau 2 : concentrations de 7 métaux lourds en mg/kg de poids sec dans les sédiments superficiel du lac Tonga au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006.**

Saison/élément	Fe		Cu		Zn		Ni		Cr		Pb		Cd	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>Hiver</b>	7950	9900	34.45	19	103	86.90	39,75	432,5	33	63,1	82,05	17,35	1,78	0,19
<b>Printemps</b>	13000	1500	46	18	102	98.00	65	480	59	80	78	20	3,2	0,32
<b>Eté</b>	15200	17800	56	34	128.6	106.8	80	600	72	86	171	27,2	2,2	0,2
<b>Automne</b>	14000	16300	48	23.5	113,2	98.95	67,5	541,5	61,51	77,95	138,7	22,5	1,94	0,19
<b>Moyenne</b>	12537	14750	46,11	23,6	111,7	97,66	63,06	513,5	56,37	76,76	117,4	21,76	2,28	0,22
<b>Ecart-type</b>	± 3187.35	± 3429.7	± 8.89	± 7.31	± 10.69	± 8.18	± 16.87	± 72.91	± 16.56	± 9.72	± 45.20	± 4.19	± 0.63	± 0.06

Les résultats des 7 métaux lourds obtenus pour les sédiments superficiels du lac Tonga durant les quatre saisons de l'année 2006, nous permettent de conclure que le sédiment du lac Tonga est pollué par le fer. Ce résultat est appuyé par les valeurs d'indices de contamination relevées par cet élément et qui sont supérieures à 3 (voir tableau 2), permettant ainsi de classer lac Tonga en tant que zone polluée par le fer et de classe « 2 ».



**Fig.2 : Teneurs de 7 métaux lourds dans les sédiments superficiels du Lac Tonga au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006.**

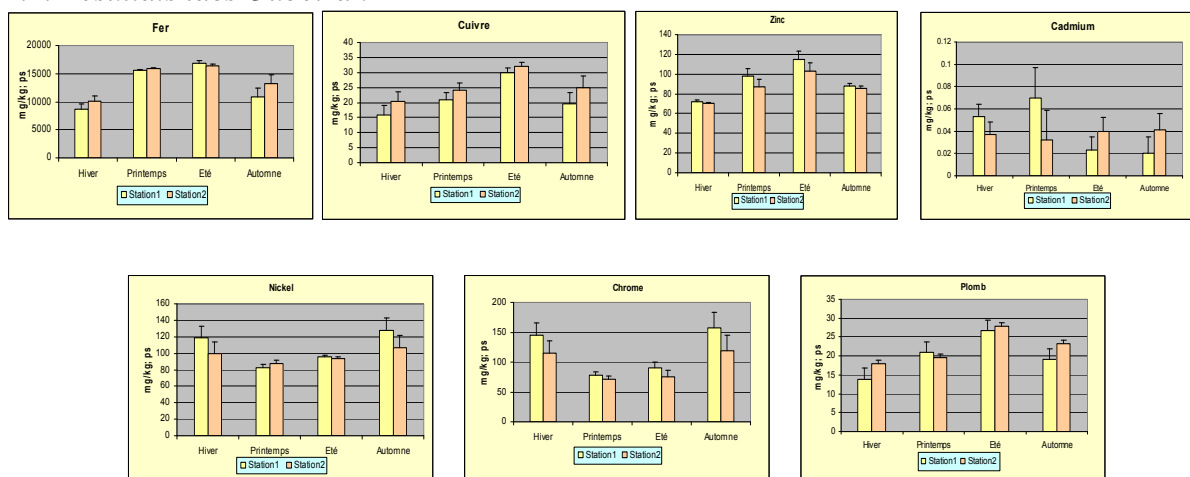
Alors que pour le plomb et le cadmium, seules les teneurs de la station 1 sont supérieures aux normes admises avec des indices de contaminations relativement supérieurs aux normes françaises (voir tableau n° 3), permettant de classer cette station autant que zone polluée par le Pb et le Cd et de classe « 2 ».

Pour les autres métaux (Cu, Zn, Ni, Cr) considérés pour notre étude, les résultats ne suscitent aucune inquiétude, permettant ainsi d'énoncer que le sédiment du lac Tonga est non pollué par ces éléments et de classe « 1 » et cela durant les quatre saisons.

**Tableau 3 : Indice de contamination dans lac Tonga par élément et par station durant l'Année 2006**

Lac Tonga	Ic <sub>Pb</sub>	Ic <sub>Cd</sub>	Ic <sub>Fe</sub>	Ic <sub>Cu</sub>	Ic <sub>Zn</sub>	Ic <sub>Cr</sub>	Ic <sub>Ni</sub>
<b>Station 1</b>	5.33	1.25	6.26	1.77	1.26	1.25	01.40
<b>Station 2</b>	0.98	1.70	7.37	0.90	1.10	1.70	11.41

**4.2. Résultats lacs Oubeira :**



**Fig. 3 : Teneurs de 7 métaux lourds dans les sédiments superficiels du Lac Oubeira au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006.**

**Tableau 3 : teneurs de 7 métaux lourds en mg/kg de poids sec dans les sédiments superficiels du lac Oubeira au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006**

Saison/élément	Fe		Cu		Zn		Ni		Cr		Pb		Cd	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>Hiver</b>	8700	10050	15,95	20,35	72,1	70,05	119	99,6	144	115,	13,9	17,9	0,05	0,03
<b>Printemps</b>	15600	15900	21	24,2	98,1	87,6	82,6	87,8	78,5	71,2	21	19,5	0,07	0,03
<b>Été</b>	16900	16300	30	32	114,8	102,8	96	94	90	76	26,6	27,8	0,02	0,04
<b>Automne</b>	10850	13190	19,5	25	88,4	85,8	128,3	107	157	119	19	23,15	0,02	0,04
<b>Moyenne</b>	13012	13860	21,61	25,38	93,35	86,56	106,4	97,1	117	95,3	20,12	22,08	0,04	0,03
<b>Ecart-type</b>	± 3876.5	± 2891.3	± 5.97	± 4.85	± 17.87	± 13.39	± 20.92	± 8.17	± 39.11	± 25.25	± 5.25	± 4.39	± 0.02	± 0.005

De même, les sédiments superficiels du lac Oubeira présentent une pollution par le fer du fait que les teneurs de ce métal relevées dans les sédiments de la station 1 et 2, dépassent les normes admises dans notre étude. Ce résultat est appuyé par les 8 valeurs d'indices de contamination supérieurs à 3 relevés au niveau des deux stations et durant les quatre saisons de l'année 2006 ; permettant ainsi de classer les sédiments des deux stations du lac Oubeira comme zones polluées par le fer et de « classe 2 ».

**Tableau 5 : concentrations de 7 métaux lourds mg/kg de poids sec dans les sédiments superficiels du lac Oubeira au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006**

Lac Oubeira	Ic <sub>Pb</sub>	Ic <sub>Cd</sub>	Ic <sub>Fe</sub>	Ic <sub>Cu</sub>	Ic <sub>Zn</sub>	Ic <sub>Cr</sub>	Ic <sub>Ni</sub>
<b>Station 1</b>	0.91	0.069	6.50	0.83	1.06	2.61	2.36
<b>Station 2</b>	1.00	0.062	6.93	0.97	0.98	2.11	2.15

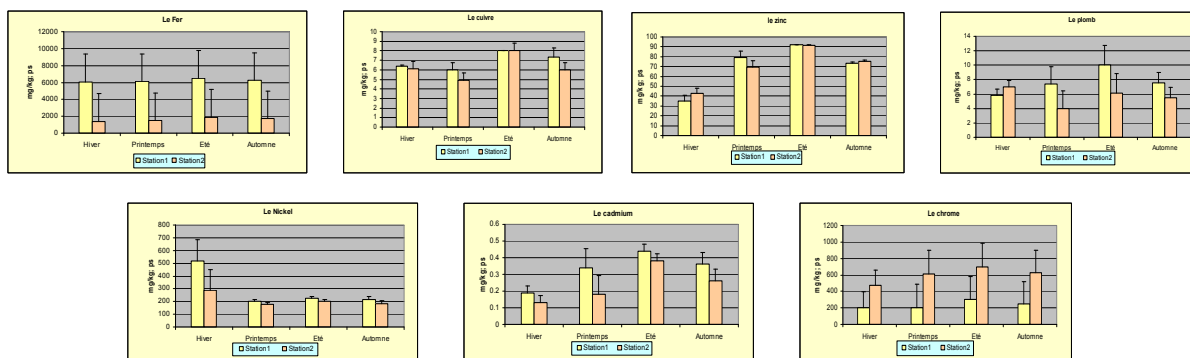
Quant aux autres éléments analysés (Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd) les sédiments superficiels des deux stations considérées ne montrent aucune contamination par ces huit éléments métalliques. Cette observation est appuyée par les valeurs d'indices de contamination qui sont nettement inférieurs aux normes admises, permettant de classer le sédiment des deux stations du lac Oubeira, comme zones normales et de « classe 1 ».

#### 4.3. Résultats lac El Mellah :

**Tableau 6: concentrations de 7 métaux lourds mg/kg de poids sec dans les sédiments superficiels du Lac El-Mellah au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006**

Saisons/élément	Fe		Cu		Zn		Ni		Cr		Pb		Cd	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
<b>Hiver</b>	6045	1370	6,35	6,1	35,2	42,85	519,6	287,5	205	470	5,8	7	0,19	0,13
<b>Printemps</b>	6100	1500	6	4,9	79	69,5	200	178	203	610	7,4	4	0,34	0,18
<b>Été</b>	6500	1900	8	8	92,2	91,8	224	200	300	700	10	6,1	0,44	0,38
<b>Automne</b>	6250	1725	7,34	6	73,7	75,45	214,2	181,1	251,5	630,5	7,55	5,5	0,36	0,26
<b>Moyenne</b>	6223	1623	6,92	6,25	70,02	69,9	289,4	211,6	239,8	602,6	7,68	5,6	0,33	0,23
<b>Ecart-type</b>	± 203.52	± 235.42	± 0.91	± 1.28	± 24.48	± 20.34	± 153.74	± 51.49	± 45.92	± 96.44	± 1.73	± 1.2	± 0.1	± 0.1





**Fig. 4: Teneurs de 7 métaux lourds dans les sédiments superficiels du Lac El-Mellah au niveau des stations 1 et 2 durant l'année 2006.**

Les résultats relatifs aux sédiments superficiels de la lagune El Mellah, nous permettent de conclure que les deux stations considérées sont fortement polluées voire contaminées par le nickel et le chrome, du fait que ces deux éléments métalliques montrent des indices de contamination supérieurs à 3 et même supérieurs à 10, permettant ainsi de classer les deux stations en tant que zones polluées et même à risque et de classe « 2 » et « 3 » en fonction des saisons.

Comme pour les deux autres lac, le sédiment superficiel de la lagune El Mellah montre une pollution par le fer qualifiant uniquement la station 1 située au nord ouest de ce plan d'eau. Les indices de contamination relevés par le fer confirment ce résultat du fait que les valeurs sont supérieures à 3 permettant ainsi de classer cette station en tant que zone polluée et de classe « 2 ».

**Tableau 7 : Indice de contamination dans lac El-Mellah par élément et par station durant l'Année 2006.**

Lac Mellah	Ic Pb	Ic Cd	Ic Fe	IcCu	IcZn	IcCr	IcNi
Station 1	0.34	0.55	3.11	0.26	0.79	5.33	6.43
Station 2	0.25	0.39	0.81	0.24	0.19	13.39	4.70

Pour les autres éléments dosés Cu, Zn, Pb, Cd, les teneurs enregistrées et les indices de contamination relevés par ces métaux durant les quatre saisons, sont nettement inférieurs aux valeurs normes, permettant ainsi de conclure que les deux stations considérées ne sont pas polluées par les éléments précités et que leur sédiment est de classe « 1 ».

## DISCUSSION

Dans cette étude, nous avons recherché la présence des métaux lourds dans les sédiments superficiels des trois lacs Tonga, Oubeira et Mellah, l'étude de ces métaux est réalisée sur la fraction sédimentaire inférieure à 63 $\mu$ m. Celle-ci représente une coupure sédimentologique entre le sable d'une part et la vase (argile, boue) d'autre part. Ce choix est important de prime abord. La comparaison des résultats obtenus écarte l'effet des variations granulométriques. En effet, une vase argileuse retiendra facilement les métaux en suspension dans l'eau. Ce qui n'est pas le cas pour la fraction quartzique (sable) [2].

Pour chaque élément métallique analysé, les teneurs varient généralement d'un site à l'autre. Cette évolution serait liée au faciès sédimentaire et à l'hydrogéologie des écosystèmes lacustres.

L'analyse des sept métaux lourds dosés dans les sédiments superficiels du complexe lacustre (Lac El Mellah, lac Oubeira, lac Tonga), fait apparaître un indice de contamination inférieur aux normes admises à l'exception du fer, du nickel et du chrome dans la lagune, du fer et du plomb et cadmium à Tonga et uniquement du fer au lac Oubeira. Par ailleurs, les teneurs de ces métaux lourds sont nettement élevées en période d'étiage qu'en période de crue.

Le **fer** élément très abondant montre des teneurs élevées par rapport aux autres éléments métalliques. Les valeurs les plus élevées sont observées au lac Tonga (17,8 mg/g, ps : 8 fois plus que la norme du fer qui est de l'ordre de 2mg/g de p.s) au niveau de la station 2 située au sud du lac sous l'influence des rejets entraînés par les eaux drainées par les deux grands oueds : oued El-Hout au sud-est et oued El-Eurg au nord-Est.

Il est à signaler que les valeurs les plus élevées pour les trois lacs sont observées durant la saison estivale. Ces valeurs élevées du fer sont dues essentiellement à l'érosion pendant les crues, à des émanations et poussières sidérurgiques provenant du complexe sidérurgique Mittal Steel (El.Hadjar) situé à 55 km à vol d'oiseau de la région d'El-Kala et en grande partie à la présence d'un substratum d'origine acide caractérisant les sols du bassin versant du lac Tonga et Oubeira, favorisant davantage la fixation des métaux lourds. Aissi et Siblot., 1980 [9] ont montré que les teneurs les plus élevées sont observées dans les sédiments sableux situés près des rejets des oueds ; ces derniers déversent dans le lac des eaux chargées de résidus métalliques et/ou chimiques. A l'hydrodynamisme des eaux, selon [10] et [11], des teneurs élevées en fer peuvent être liées aux conditions hydrodynamiques et physico-chimiques et surtout à la précipitation des oxydes de fer.

En effet, pendant les crues, d'une part la forte agitation par les courants favorise une bonne oxygénation augmentant ainsi la précipitation des oxydes de fer, facilitant la formation et l'agrégation des particules organiques et minérales, selon [10] et [12], et d'autre part l'obtention de la matière à l'état colloïdale, cette dernière constitue un support aux phénomènes d'adsorption, de complexation et de précipitation des métaux [13],[14],[15].

Pour les deux éléments **cuivre et zinc**, la distribution est assez homogène voire peu variable au niveau des deux lacs Oubeira et Tonga. Les teneurs les plus élevées pour ces deux sites, sont observées au niveau des rejets des oueds de Demet El Rihana au lac Oubeira et celle de oued El Hout au lac Tonga (Tonga : 128mg/kg de p.s au nord du lac, Oubeira : 114.8mg/kg de p.s) pendant la saison estivale. Ces teneurs dépassent les valeurs admises par la communauté européenne, mais restent très loin des recommandations algériennes.

Toutefois c'est la lagune El Mellah qui présente les teneurs les plus faibles en cuivre et en zinc, cela est certainement lié à la nature du sédiment du lac El Mellah (sable), contrairement aux lac Oubeira et Tonga dont la nature de leur sédiment est argileuse et constitue davantage un meilleur support d'adsorption pour ces éléments métalliques. Alors que les teneurs les plus élevées du zinc et du cuivre sont soulignées dans le sédiment du lac Tonga, cet apport de ces deux éléments est dû essentiellement à la nature argileuse du sédiment et aux rejets de Oued El-Hout. Dans la littérature scientifique, la concentration normale du zinc dans les sédiments argileux est de l'ordre de 80 à 120 mg/kg de p.s, alors qu'elle est plus faible dans les roches mères sableuses. Ainsi Angelidis, 1995 [16] montre que

les valeurs élevées en zinc et en cuivre sont relevées dans les sédiments sablo-argileux près des rejets, leur répartition correspond à la nature du sédiment dont la teneur en argile et en matière organique joue un rôle déterminant. C'est le cas dans notre étude. Par ailleurs, Sericano et Pucci ;(1994) [17] trouvent que le cuivre et le zinc sont associés aux faciès sableux exposés directement aux rejets. On note aussi que les teneurs moyennes annuelles en cuivre (21.61 et 25.38 mg/kg, ps) pour l'année 2006 relevées au niveau des deux stations du lac Oubeira sont très proches de celles relevées au niveau du lac Bouseham au Maroc (26 mg/kg, ps). Ce dernier constitue une zone non polluée et de classe « A » (selon [18]). Enfin, la lecture des indices de contamination par les deux éléments cuivre et zinc fait ressortir des indices inférieurs aux normes admises et classent les stations considérées pour chaque lac, comme, zones normales et de classe « A ».

Le **nickel** montre une distribution particulière. Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau de la lagune El Mellah (Max/Min; 519/178 mg/kg, p.s). En revanche les valeurs les plus faibles sont relevées au niveau du sédiment superficiel du lac Tonga (Max/Min ; 98/40 mg/kg, p.s) alors que les teneurs intermédiaires en nickel sont relevées au niveau du sédiment superficiel du lac Oubeira (Max/Min ; 128/83mg/kg, p.s).

Toutes les études sont arrivées à la conclusion suivante : les teneurs en nickel sont déterminées par la nature du sédiment et restent liées aux conditions hydrodynamiques et physico-chimiques et sont sensibles aux variations du pH, selon [19] et [14]. Normalement ce sont les fond argileux qui montrent des teneurs élevées ; ce qui n'est pas le cas dans notre étude où les teneurs les plus élevées sont notées au niveau d'un substrat sableux caractérisant la station 1 située au nord ouest de la lagune à l'embouchure de Oued R'Guibet où la nature du sédiment est purement sableuse. Cette contamination reste toujours liée à la nature du sol, néanmoins elle exige une étude plus approfondie afin de déterminer d'une manière plus précise son origine. Surtout que cet élément (nickel), à des concentrations élevées, inhibe la reproduction des mollusques bivalves [20], [21]. D'ailleurs cela peut expliquer la mortalité qui touche les bivalves peuplant la lagune El.Mellah.

Concernant le **chrome**, sa distribution est presque similaire à celle du nickel car les teneurs les plus élevées sont enregistrées en été (700 mg/kg de ps) et toujours au niveau de l'embouchure de Oued R'Guibet. En outre les valeurs les plus faibles sont observées au niveau du lac Tonga pour la même saison et toujours au niveau de la station 1 ; tandis que les valeurs intermédiaires sont relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira durant la saison automnale.

Le chrome présente des valeurs très variables d'un site à un autre et d'une saison à l'autre et les plus fortes teneurs sont relevées au niveau des rejets des oueds et pendant la saison estivale. Des études ont montré que cet élément semble être lié à l'agriculture. Rain et Fernex ; 1982[22] , Anagnostou et al [23] ; 1998 ; Boguer et al ; 1998[24] , montrent que des teneurs élevées en chrome peuvent provenir de la sédimentation d'organismes morts et aussi de l'origine géologique des roches.

Pour le **plomb**, les teneurs les plus élevées sont relevées au niveau de la station 1 du lac Tonga (171mg/kg, ps) durant la saison estivale. Cette valeur est 8 fois plus élevée que celle relevée dans la station 2 du lac Oubeira (27.8mg/kg, p.s) et durant la même saison et 17 fois plus que la valeur relevée dans la station 1(10 mg/kg, p.s) pour la même saison au niveau de la lagune El Mellah. De ce fait les valeurs les plus élevées sont notées au niveau du lac Tonga où le sédiment superficiel est pollué avec un indice de contamination de 7.77 comme

valeur maximale enregistrée en été au niveau de la station 1 qui est sous l'influence des rejets de oued El.Hout, alors que la station 2 est de classe « A » avec un indice de contamination égale à 0.78. L'ensemble du lac présente un indice moyen de contamination de l'ordre de 3,15.

L'observation de la distribution des valeurs de l'indice de contamination par cet élément relevés dans le lac Tonga nous conduit à la conclusion suivante : le sédiment superficiel de ce plan d'eau est fortement pollué par le plomb au niveau de la station1 (Pompes) .Cette pollution à pour origine les rejets domestique entraînés par les eaux de oued El.Hout et à l'axe routier devenant important durant l'été .D'où notre première conclusion est que la contamination par le plomb est liée aux activités anthropiques .cet élément est utilisé comme anti-détonateur dans l'essence ( [25],[26]) ;une deuxième origine probable,les nasses, les filets de pêche, la corrosion des pompes en ce qui concerne notre site. D'autre part ce métal est assimilé par le phytoplancton qui brouté par le zooplancton herbivore est transféré en grande partie dans le sédiment. Selon [20], les apports de plomb dans les eaux continentales se font majoritairement par voix atmosphérique, la source principale étant encore à l'heure actuelle la combustion des carburants automobiles. Enfin, seule la station 1 du lac Tonga est qualifiée en tant que zone polluée par le plomb et de classe « B ».

Quant à l'élément **cadmium**, les teneurs relevées dans les sédiments superficiels des trois lacs montrent une distribution assez variable d'un lac à un autre. Les valeurs les plus faibles sont notées au niveau du lac Oubeira. Pour ce dernier, la station 1 montre une valeur maximale de 0.07mg/kg, p.s pendant le printemps, et une valeur minimale de 0.02mg/kg,p.s pendant l'automne et l'été et pour la même station. En revanche, lac El-Mellah montre des valeurs nettement supérieures de 6 fois pendant l'été à la station1, et 23 fois plus pendant l'hiver à la station 2 à celles relevées au niveau des sédiments superficiels du lac Oubeira. Toutefois ces teneurs des deux lacs précités ne suscitent aucune inquiétude si on se réfère aux normes admises. C'est le sédiment superficiel du lac Tonga qui montre les teneurs en cadmium les plus élevées, 3.2 mg/kg de p.s comme teneur maximale au niveau de la station 1 qui est sous l'influence des rejets liquides et solides entraînés par oued El-Hout avec un indice de contamination supérieur à la norme  $I_c = 5.33$  classant cette station en tant que zone polluée par le cadmium et 0.19mg/kg de p.s comme valeur minimale au niveau de la station 2 du lac, avec un indice de contamination inférieur à la norme et n'appelle aucune remarque particulière. Ainsi, seule la station 1 du lac Tonga est polluée par le Cd et le Pb, et son sédiment superficiel est de classe B. Par conséquent nous pouvons conclure que la pollution par le cadmium est anthropique et provient essentiellement du lessivage des terres agricoles de son bassin versant (engrais phosphatés) et donc son origine reste, d'une manière générale en relation avec une influence anthropique.

A ce titre, on peut énoncer que les sédiments peuvent donc constituer une source interne de contamination par les métaux lourds par le biais de plusieurs processus ;physiques, notamment remobilisation, sédimentation, précipitation et accumulation sur les fonds et chimiques par adsorption .

## CONCLUSION

Notre étude porte sur la présence et la distribution de neuf métaux lourds analysés au niveau de trois matrices écologiques ; eau, sédiment et organismes aquatiques. Il ressort ainsi de cette étude que :

Les résultats obtenus, concernant la répartition des 7 métaux lourds dans les sédiments superficiels des trois lacs montrent une distribution spatiotemporelle assez variable. Cependant, les teneurs des métaux analysés suivent une évolution saisonnière et se répartissent selon un cycle saisonnier, montrant un accroissement se faisant dans le sens saison humide, saison sèche, c'est-à-dire hiver, printemps et été, s'ensuit alors d'une décroissance se faisant dans le sens été, automne.

On note aussi, pour les trois lacs, qu'au niveau des six stations de prélèvement, les teneurs des 7 métaux lourds se caractérisent soit par une baisse soit par un accroissement. Par exemple, les variations des concentrations des métaux dans les deux stations considérées au niveau du lac El Mellah, on note une baisse assez sensible en fer, en nickel et en cadmium, cette baisse s'accompagne d'un accroissement en zinc, en cuivre, en chrome, et en au niveau de la station 2 située entre oued Mellah et oued Boularoug.

Cette évolution serait liée soit à un piégeage par les sédiments provoquant ainsi la baisse remarquée soit à une forte vitesse d'écoulement entraînant d'une manière quasi-instantanée les métaux lourds vers la sortie par effet de pousse pousse.

On se basant sur les valeurs d'indices de contamination, on note que, le sédiment superficiel du lac El Mellah est contaminée par le nickel et le chrome, cependant, le sédiment est pollué voire à risque et de classe « 2 ». Quant au sédiment superficiel du lac Tonga, il est contaminé par le plomb et le cadmium ainsi, le sédiment de ce dernier est de classe « 2 ». Quant à l'élément fer, le sédiment superficiel des trois lacs est contaminé et de classe « 2 ».

## REFERENCES

- 1 C.A. Biney, C.A. Beeko, *Trop. Ecol.* 1991, 32(2), 197.
- 2 D. Claisse, Surveillance du milieu marin « Les métaux lourds dans les sédiments de la baie de Seine » .Travaux Du RNO ; 1995 : p 25.
- 3 H. Pariselle, Matières en suspension dans l'eau - source AFNOR, NF T 90-105, Juin 78-Chimie (tome II - métaux), Editions Masson, 1956.
- 4 G. Belair, structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre éco complexe lacustre et marécageux El Kala (Est-algérien). Thèse de doctorat de l'université U.S.T.L Mont Pellier II 1990, p 193.
- 5 Direction des forets d'El kala, Wilaya d'El Taref. Carte géographique des zones humides de la région d'El kala.
- 6 M. Fekhaoui, L. Bennasser, M. Bouchrine, *Bull. Inst. Sci.* 1996, 20,143.
- 7 M. Joanny, M. Chaussepied, F. Corre, Présentation des résultats des océans. centre océanologique de Bretagne (CNEXO/COB), 1980, p 49.
- 8 M.Pinta, *Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique.* Paris, Masson. 2e ed., 2 vol ; 1980, p 696.
- 9 A. Aissi, D. Siblot, Etude du lac Mellah (Wilaya d'Annaba) : Les métaux lourds dans certains organismes. V<sup>es</sup> des journées Etud. Pollution. Cagliari., 1989,: 151-154
- 10 J.D. Burton, Basic properties and processes in estuarine chemistry . In: estuarine chemistry, Ed. Burton J.D and Liss P.S, Londres. 1976, 12.
- 11 J. Rodier, C. Bazin, J.P. Broutin, P. Chambou, H. Champsaur, L. Rodier, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer . 8<sup>eme</sup> édition. Paris. Collection DUNOD, 1996, p 383.
- 12 G. Copin-montecut, Chimie de l'eau de mer. Edition Institut océanographique. Paris., 1996, 319.

- 13 M.A. Rashid, *Soil*. 1971.
- 14 E.R. Sholkovitz, *Earth Planetary Sci. Lett.* 1978, 41, 77.
- 15 B. Hart, *Tech. Lett.* 1982, 95.
- 16 M.O. Angelidis, V.A. Catsiki, Metal bioavailability and bioaccumulation in the marine environment: methodological questions, CIESM Workshop Monograph, Monaco., 2002, p 128.
- 17 J. Sericanot, A. Pucci, *Pollution. Bull.* 1982, 5(13), 429.
- 18 J.H. Ben Bouih, H. Nassali, M. Leblans, A. Shiri, *Afrique Science* 2005, 01, 109.
- 19 G. CAWET, D. Faguet, The role of organisme matter in transport processer of metals in estuarine environnements. *Thalassa ogoslavia*, 1982, pp 379-392.
- 20 J. F. Chiffolleau, D. Claisse, D. Cossa, A. Ficht, G. GonzaleZ, T. Guyot, P. Michel, P. Miramand, C. Oger, F. Petit, La contamination métallique, Programme scientifique Seine Aval., 2001, 39.
- 21 S. Casas, Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu, et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat., 2005, 356.
- 22 F. Rain, F. Fernex, Teneurs en métaux lourds dans les sédiments des baies de Nice et de Ville Franche-sur-mer (méditerranée, France). Origine de contamination. *Rev. INT. Oceanogr. Medit Tomes L. XIII- L.XIV.*, 1982, 85-96
- 23 C. Anagnostou, H. Kaber, A. Karageorgie, Horizontal and vertical distribution of heavy metals in sediment from thermaikos golf . Rapport du 35 Congrès ( Dubromik); CIESM., 1998, 313 .
- 24 D. Boguer, M. Juracic, A. Barie, Cr and Vi contant in sediment from Kastela bay, A Adreatic sea, Croatia. Rapport du 35 congrès Croatia ( Dubrovnote), CIESM., 1998, 313 .
- 25 F. Fernex, F. Miznon, C. Fevrier, A.G. Arnonx, Transport du plomb atmosphérique en méditerranée occidentale et stockage de ce métal dans les sédiments d'une zone profonds. *Rapp. Comm. Int. Mer, Médit. Malte (valette)*. CIESM Vol 34., 1995, 263 .
- 26 X. D. Li, D. C. Wang, M.H. Waio, Y. S. Li, W. X. Liu, Z. G. Shen, *Environmental Pollution*, 2003,377.