

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Badji Mokhtar – Annaba
Département des Sciences de la Mer



Laboratoire d'Ecobiologie des
Milieux Marins et Littoraux

Année 2007

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magistère
en Sciences de la Mer

**NIVEAUX DE CONTAMINATION PAR LES METAUX LOURDS
DU COMPLEXE LACUSTRE « TONGA, OUBEIRA, EL-
MELLAH » DU PARC NATIONAL D'EL-KALA**

Option

Biologie et physiologie des organismes marins

Présentée par : M^{lle} Amel BENDJAMA

Directeur

Dr Mourad BENSOUILAH.

Professeur

Université Badji Mokhtar Annaba

Devant le jury:

Président

Slim BENYACOUB

Professeur

Université Badji Mokhtar Annaba.

Examineurs

Abdallah Borhane DJEBAR

Professeur

Université Badji Mokhtar Annaba

Abdel Madjid BAIRI.

Maître de conférence

Université Badji Mokhtar Annaba

Bourhane Eddine BELABED

Maître Assistant

Université Badji Mokhtar Annaba

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A

Mon père et ma mère qui ont tant voulu me voir à ce niveau, et que J'adore et je ne peux jamais leur rendre le bien et l'amour qu'ils m'ont offert, je vous aime.



A

*Ma grande et adorable sœur
Assia et ma cousine
Farida Qui ont toujours
été proches de moi pour
m'aider*

A

*Mes deux frères Karim et
Salah-Eddine*

A

Mon beau frère Mourad



A

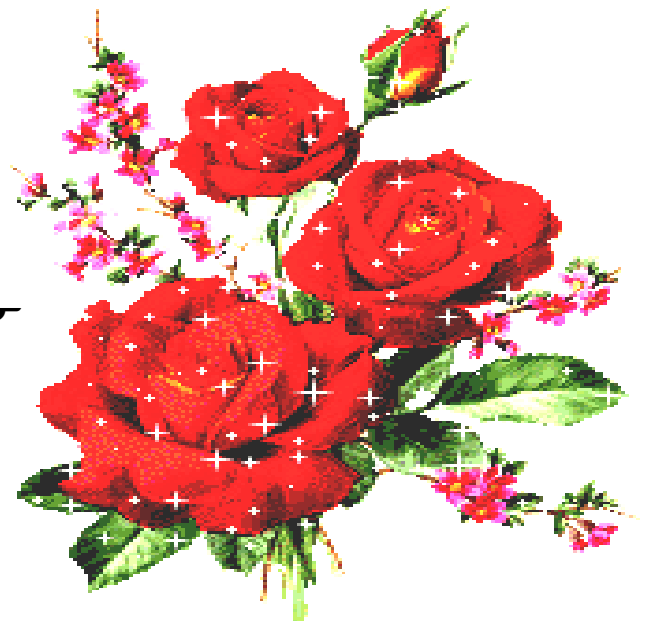
*Mes oncles, Boulsane Said,
Abdelkader, et Mouloud.*

A

*Mes Oncle Bendjama,
Abdel-Hafid, Hocine,
Abd-Allah et Abdel-Wahab*

A

*Ma très chère et adorable
Voisine Zhora
Et mes chères et adorables
cousines
Sabrina, Lilya et Bessma*



Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous les intervenants et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation, en particulier :

Monsieur le professeur Mourad BENSOUILAH de l'université Badji Mokhtar –Annaba - qui m'a accueilli dans son laboratoire et m'a encadré durant 18 mois. Je le remercie vivement pour son assistance et ses conseils en sa qualité de promoteur.

Monsieur Bourhane-Eddine BELABED enseignant à l'université Badji Mokhtar de Annaba pour son grand aide à réaliser ce travail en se préoccupant constamment de son avancement. Ses critiques et ses appuis pour améliorer ce travail ont été d'un grand soutien pour moi, il m'a toujours fait bénéficier de ses connaissances .je le remercie très sincèrement et éternellement.

Monsieur Selim BENYACOUB, Professeur à l'université Badji Mokhtar de Annaba, d'avoir bien voulu examiner ce travail et fait l'honneur de présider le jury.

Monsieur Abdallah Bourhane DJEBAR, Professeur et chef du département des sciences de la mer à l'université Badji Mokhtar de Annaba, d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie également Monsieur Abd El-Madjid BAIRI enseignant à l'université Badji Mokhtar de Annaba qui a bien voulu examiner ce travail et faire partie du jury.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur le Professeur Ali TAHAR de l'Université Badji Mokhtar de Annaba pour son aide précieuse dans le domaine traitement statistique. Je le remercie sincèrement pour ses conseils et encouragements.

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur Abdkhalek RETIMA, chargé de cours à l'université Badji Mokhtar de Annaba pour ses conseils et encouragements.

Je remercie également monsieur Meftah BOUSSAHA pour le temps qui m'a consacré à réaliser ce travail et de m'avoir guidé pendant mes travaux de terrain.

Un grand merci à monsieur Mihoub, employé à la bibliothèque de l'Université Badji Mokhtar de Annaba.

Mes remerciements s'adressent également à mes amis Mebarki Fatma Zohra technicienne de laboratoire EMMAL, Farhati Mounia, Hadj moussa wilia, Belouahem Samih, Khaldoun Latifa.

Ce mémoire n'aurait pas pu aboutir sans le concours de bien d'autres personnes, aussi je me dois remercier ;

L'ensemble du personnel de la Direction de la recherche appliquée nommée actuellement U.R.A.S.M –Sider -El-Hadjar, Annaba- en particulier Monsieur BOUTCHICHA ex directeur de la DRA et Monsieur Malek LAHRACHE le présent directeur de la DRA, Monsieur CHOUCHENE et Mr et Mme BEN ABDREZEG .

Un remerciement très particulier et éternel à Madame Leila SALAHY et Mr Zine-eddine BOUHEDJA pour leur aide précieux et leurs conseils durant mon stage pratique au niveau de la DRA.

L'ensemble du personnel de la Direction de l'ENIP du CP1K à SONATRACHK - Skikda - en particulier Monsieur Mehdi CHAKROUD, Mme Leila BARDOUDI.

Un remerciement très particulier à Mr Rachid CHLIGHEM, Madame Leila BENDJAMA, Mr kamel CHOUGUI, Mr Hocine CHAYEB, Abdel-Ghani BENDJAMA ,Ahmed BENDJAMA pour leur aide et soutien durant mes jours de stage au niveau du laboratoire centrale du CP1K.

L'ensemble du personnel de la Direction de la police scientifique d'Alger en particulier l'équipe du laboratoire de qualité

Un remerciement particulier à Mr Lhachemi BENRADJA et Mr Mahfoud DENENE de la police scientifique.

Enfin tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de ce travail directement ou indirectement, par leur amitié et leur sympathie, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Sommaire

Remerciements	03
Sommaire	06
Liste de figures	10
Liste de tableaux	13
Liste de abréviations	17
Introduction	19

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES METAUX LOURDS

1.Définition des métaux lourds	22
2.Caractéristiques des métaux lourds analysés dans cette étude	23
2.1.Le mercure	23
2.1.1.Propriétés fondamentales: physiques, chimiques et biologiques.....	23
2.1.2. Utilisations du mercure.....	24
2.1.3.Cycle et sources naturelles et anthropiques.....	24
2.1.4.Propriétés biologiques et toxicité	24
2.2.Le cadmium	25
2.2.1.Propriétés fondamentales	25
2.2.2.Utilisations du cadmium.....	26
2.2.3.Cycle et sources naturelles et anthropiques.....	26
2.2.4.Propriétés biologiques et toxicité	26
2.3.Le plomb	27
2.3.1.Propriétés fondamentales	27
2.3.2.Utilisations du plomb.....	27
2.3.3.Cycle et sources naturelles et anthropiques	27
2.3.4.Propriétés biologiques et toxicité.....	28
2.4.Le cuivre	28
2.4.1.Propriétés fondamentales	28
2.4.2.Utilisation du cuivre.....	28
2.4.3.Cycle et sources naturelles et anthropiques.....	29
2.4.4.Propriétés biologiques et toxicité.....	29
2.5.Le zinc	30
2.5.1.Propriétés fondamentales.....	30
2.5.2.Utilisation du zinc	30
2.5.3.Cycle, sources naturelles et anthropiques.....	30
2.5.4.Propriétés biologiques et toxicité.....	31
2.6 .Le Chrome	31
2.6.1.Propriétés fondamentales.....	31
2.6.2.Composés du chrome	31
2.6.3. Utilisations du chrome.....	32
2.6.4.Propriétés biologiques et toxicité.....	32
2.7.Le Nickel	32
2.7.1.Propriétés fondamentales.....	32
2.7.2. Utilisation du nickel	32

2.7.3.Sources de pollution par le nickel	33
2.7.4. Effets biologiques et toxicité.....	33
2.8.Le manganèse	34
2.8.1.Propriétés fondamentales	34
2.8.2. Sources naturelles et anthropiques.....	34
2.8.3.Utilisation du manganèse.....	34
2.8.4.Effets biologiques et toxicité.....	35
2.9.Le fer	35
2.9.1.Propriétés fondamentales.....	35
2.9.2.Utilisation du fer	35
2.9.3.Pollution, Sources naturelles et anthropiques	36
2.9.4.Effets biologiques et toxicité	37
3.Le devenir des métaux lourds	37
3.1. Bioaccumulation	37
3.1.1. Assimilation	37
3.1.2.Bioconcentration	38
3.1.3.Bioamplification	38
4. Classification des organismes aquatiques en fonction de la bioconcentration.....	38

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1.Description du site d'étude.....	40
1.1. Le lac Mellah et son bassin versant	40
1.2 .Lac Oubeira et son bassin versant.....	43
1.3. Lac Tonga et son bassin versant.....	45
2. Echantillonnage	47
3. Mode de prélèvement et traitement des échantillons	48
3.1.Mode de prélèvement de l'eau	48
3.2.Traitement de l'échantillon d'eau	49
3.3.Mode de prélèvement du Sédiment	49
3.4.Traitement du sédiment.....	49
3.5. Mode de Prélèvement des bivalves et des anguilles.....	50
3.6.Traitement de la chair des bivalves et du foie des anguilles par la méthode du « dry Ashing Procedure ».....	52
4.Analyses statistiques	54
4.1.Analyses statistiques univariées.....	54
4.1.1.Description des données.....	54
4.1.2.L'analyse de la variance à un critère de classification (AV1)	54
4.1.3. Le test de la PPDS ; « Plus Petite Différence Significative »	54
5. Normes de qualité admises pour évaluer les niveaux de contamination.....	55
5.1. Les normes de qualité dans les eaux de surface.....	55
5.2. Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans le sédiment	55
5.3.L'indice de contamination Ic pour évaluer le degré de pollution	56
5.4 .Nomes de qualité de la chair des bivalves	56
5.5.Normes des éléments traces métalliques chez les poissons.....	57
6. Méthode d'analyse des métaux lourds.....	57

**CHAPITRE III : RESULTATS
PREMIERE PARTIE : LAC TONGA**

1. Teneurs en métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel du lac Tonga.....	60
1.1.Le fer	60
1.2.Le cuivre	62
1.3.Le zinc.....	64
1.4.Le manganèse	66
1.5.Le nickel.....	68
1.6.Le chrome.....	70
1.7.Le plomb	72
1.8.Le cadmium.....	75
1.9.Le mercure	77
2 - Teneurs en métaux lourds relevées dans le foie de l'anguille peuplant le lac.....	79
Tonga.....	79
3 .Détermination du niveau de la contamination métallique au niveau du lac Tonga.....	81

DEUXIEME PARTIE : LAC OUBEIRA

1. Teneurs en métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel du lac Oubeira.	83
1.1.Le fer	83
1.2.Le cuivre	85
1.3.Le zinc.....	87
1.4.Le manganèse	89
1.5.Le nickel.....	91
1.6.Le chrome.....	93
1.7.Le plomb	95
1.8.Le cadmium.....	97
1.9.Le mercure	99
2. Teneurs en métaux lourds relevées dans la chair d'Anodonte peuplant le lac	101
Oubeira.....	103
3. Détermination du niveau de la contamination au niveau du lac Oubeira.....	

TROISIEME PARTIE : RESULTATS LAC EL-MELLAH

1.Teneurs en métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.....	106
1.1.Le fer	108
1.2.Le cuivre	110
1.3.Le zinc.....	112
1.4.Le manganèse	114
1.5.Le nickel.....	116
1.6.Le chrome.....	118
1.7.Le plomb	120
1.8.Le cadmium.....	122
1.9.Le mercure	124
2.Teneurs en métaux lourds relevées dans la chair de palourde récoltée dans la lagune El-Mellah	126
3. Détermination du niveau de la contamination métallique au niveau de la lagune El Mellah.....	126

	129
Discussion.....	140
Conclusion et perspectives.....	143
Résumé français.....	144
Résumé anglais.....	145
Résumé arabe	147
Références bibliographiques.....	157
Annexes.....	

Figure 1 : Carte de situation des lacs Oubeira, Tonga et El Mellah. (BNEDER 2004).
Figure 2 : Réseau hydrographique du lac Mellah (BNEDER 2004, modifié).
Figure 3 : Occupation du bassin versant du lac Mellah. (BNEDER 2004).
Figure 4 : Réseau hydrographique du lac Oubeira (BNEDER 2004, modifié).
Figure 5 : Occupation du sol du bassin versant du lac Oubeira (BNEDER 2004).
Figure 6 : Réseau hydrique du lac Tonga. (BNEDER 2004, modifiée).
Figure 7 : Occupation du sol du bassin versant du lac Tonga. (BNEDER 2004).
Figure 8 : Protocole de digestion du sédiment.
Figure 9 : Protocole de minéralisation de la chair des mollusques bivalves par la méthode du « Dry Ashing Procedure ».
Figure 10 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en fer relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.
Figure 11 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Figure 12 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en cuivre relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.
Figure 13 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Figure 14 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en zinc relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.
Figure : Distribution spatio-temporelle des concentrations en zinc relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga au niveau de deux stations –année 2006.
Figure 15 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Figure 16 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en manganèse relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.
Figure 17 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Figure 18 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en nickel relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga
Figure 19 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga
Figure 20 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en chrome relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga
Figure 21 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga
Figure 22 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en plomb relevées dans l'eau superficielle
Figure 23 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga
Figure 24 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en cadmium relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga au niveau de deux stations –année 2006.
Figure 25 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Figure 26 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en mercure relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Figure 27 : Distribution saisonnières des teneurs en métaux lourds dans le foie des Anguilles peuplant lac Tonga.
Figure 28 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en fer relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 29 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira

Figure 30 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en cuivre relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 31 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira durant
Figure 32: Distribution spatio-temporelle des concentrations en zinc relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 33 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira
Figure 34 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en manganèse relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 35: Distribution spatio-temporelle des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira
Figure 36 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en nickel relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 37: Distribution spatio-temporelle des teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Figure 38: Distribution spatio-temporelle des concentrations en chrome relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 39 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Figure 40 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en plomb relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 41 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira
Figure 42: Distribution spatio-temporelle des concentrations en cadmium relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 43 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira
Figure 44 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en mercure relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.
Figure 45 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en mercure relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Figure 46 : Distribution saisonnière des teneurs en métaux lourds relevées dans la chair des Anodontes peuplant lac Oubeira.
Figure 47 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en fer relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 48 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel de la lagune.
Figure 49 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en cuivre relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 50 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El- Mellah.
Figure 51 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en zinc relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 52 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.
Figure 53 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en manganèse relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 54 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.
Figure 55 : Distribution spatio-temporelle des concentrations en nickel relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.

Figure 56 :Distribution spatio-temporelle des teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Figure 57 :Distribution spatio-temporelle des concentrations en chrome relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 58 :Distribution spatio-temporelle des teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.
Figure 59 :Distribution spatio-temporelle des concentrations en plomb dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 60 : Distribution spatio-temporelle des teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.
Figure 61 :Distribution spatio-temporelle des concentrations en cadmium relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 62 :Distribution spatio-temporelle des teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.
Figure 63 :Distribution spatio-temporelle des concentrations en mercure relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.
Figure 64 :Distribution spatio-temporelle des teneurs en fer dans le mercure relevées superficiel de la lagune El-Mellah.
Figure 65 :Distribution saisonnière des teneurs en métaux lourds relevées dans la chair des palourdes peuplant la lagune El-Mellah.

Tableau 1 : Classification périodique des éléments métalliques analysée.
Tableau 2 : Les principales espèces du mercure dans les eaux naturelles.
Tableau 3 : Les diverses industries utilisatrices du chrome.
Tableau 4 : Les applications industrielles du manganèse.
Tableau 5 : Les sources potentielles industrielles de rejets de fer .
Tableau 6 : l'importance de la bioconcentration des métaux lourds de quelques espèces marines.
Tableau 07 : Protocole d'échantillonnage au niveau des trois lacs.
Tableau 08 : Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans les eaux de surface en ppm Directive de la CE pour les eaux de surfaces (In Débièche, 2002).
Tableau 09 : Valeurs guides françaises des teneurs en métaux lourds dans les sédiments en mg/Kg de p.s.
Tableau 10 : Valeurs guides algériennes des teneurs en métaux lourds dans les sédiments.
Tableau 11 : Classement du sédiment en fonction de l'Ic
Tableau 12 : Valeurs guides et normes des teneurs en métaux lourds dans la chair des mollusques bivalves.
Tableau 13 : Normes en éléments traces métalliques admises dans les denrées alimentaires d'après le règlement CE/78/2005 établi le 01/03/2006.
Tableau 14 : Normes en éléments traces métalliques dans les denrées alimentaires d'après le décret exécutif n°04.189 établi le 07/juillet 2004.
Tableau 15 : Teneurs en fer relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga
Tableau 16 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le fer dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 17 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le fer
Tableau 18 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le fer dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 19 : Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.
Tableau 20 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cuivre dans la comparaison entre les saisons
Tableau 21 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cuivre.
Tableau 22 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 23 : Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.
Tableau 24 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le zinc dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 25 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le zinc.
Tableau 26 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 27 : Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.
Tableau 28 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le manganèse dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 29 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le manganèse.
Tableau 30 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le manganèse dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 31 : Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.
Tableau 32 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le nickel dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 33 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le nickel.
Tableau 34 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le nickel dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 35 : Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du la Tonga.
Tableau 36 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le chrome dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 37 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le chrome.

Tableau 38 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le chrome dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 39 : Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.
Tableau 40 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le plomb dans la comparaison entre les saisons
Tableau 41 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le plomb
Tableau 42 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le plomb dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 43 : Teneurs en cadmium relevées dans l'eau ($\mu\mu$) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.
Tableau 44 :Résultat de l'AV1 appliquée pour le cadmium dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 45 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cadmium
Tableau 46 :Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 47 :Teneurs en mercure relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga
Tableau 48 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le mercure dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 49 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le mercure.
Tableau 50 :Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le mercure dans le sédiment superficiel du lac Tonga.
Tableau 51 : Teneurs en métaux lourds (mg/kg ; ps) dans le foie des anguilles peuplant Lac Tonga durant la saison hivernale et estivale.
Tableau 52 : Teneurs en fer relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.
Tableau 53 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le fer dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 54 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le fer
Tableau 55 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le fer dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 56 : Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.
Tableau 57 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cuivre dans la comparaison entre les saisons
Tableau 58 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cuivre .
Tableau 59 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 60 : Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.
Tableau 61 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le zinc dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 62 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le zinc.
Tableau 63 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 64 : Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.
Tableau 65 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le manganèse dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 66 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le manganèse.
Tableau 67 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le manganèse dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 68 : Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac Oubeira.
Tableau 69 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le nickel dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 70 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le nickel.
Tableau 71 :Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le nickel dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 72 : Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du la

Oubeira.
Tableau 73 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le chrome dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 74: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le chrome.
Tableau 75 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le nickel dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 76: Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac Oubeira.
Tableau 77 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le plomb dans la comparaison entre les saisons
Tableau 78 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le plomb
Tableau 79 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le plomb dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 80: Teneurs en cadmium relevées dans l'eau ($\mu\text{g/l}$) et le sédiment du lac Oubeira.
Tableau 81 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cadmium dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 82: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cadmium.
Tableau 83 : Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 84: Teneurs en mercure relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac Oubeira
Tableau 85 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le mercure dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 86: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le mercure.
Tableau 87: Variations spatio-temporelles de l'indice de contamination par le mercure dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.
Tableau 88: Variations de 9 métaux lourds (mg/kg ; ps) dans la chair d'Anodontes peuplant lac Oubeira.
Tableau 89: Teneurs en fer relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg) du lac El-Mellah.
Tableau 90: Résultat de l'AV1 appliquée pour le fer dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 91: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le fer
Tableau 92: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le fer dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 93: Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg, p.s) du lac El-Mellah.
Tableau 94 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cuivre dans la comparaison entre les saisons
Tableau 95 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cuivre.
Tableau 96: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le cuivre dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.
Tableau 97 : Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg, p.s.) du lac El-Mellah.
Tableau 98 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le zinc dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 99 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le zinc.
Tableau 100: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le zinc dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 101 : Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg, p.s.) du lac El-Mellah.
Tableau 102 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le manganèse dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 104 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le manganèse.
Tableau 105 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le manganèse dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 106 : Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s) du lac El-Mellah.
Tableau 107 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le nickel dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 108 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le nickel.
Tableau 109: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le nickel dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah

Tableau 110 : Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac El-Mellah
Tableau 111 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le chrome dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 112 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le chrome.
Tableau 113 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le chrome dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 114: Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac El-Mellah.
Tableau 115 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le plomb dans la comparaison entre les saisons
Tableau 116: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le plomb
Tableau 117: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le plomb dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 118 : Teneurs en cadmium relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac El-Mellah.
Tableau 119 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cadmium dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 120 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cadmium
Tableau 121 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le cadmium dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 122 : Teneurs en mercure relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment du lac El-Mellah
Tableau 123 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le mercure dans la comparaison entre les saisons.
Tableau 124 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le mercure.
Tableau 125 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le mercure dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah
Tableau 126: Variations des teneurs en métaux lourds (mg/kg ; ps) dans la chair des palourdes récoltées au niveau du lac El-Mellah.
Tableau 127 : La comparaison de quelques teneurs en métaux (en mg/kg de poids sec) étudiés des trois lacs Tonga, Oubeira, El-Mellah avec d'autres lacs Africains, Asiatiques et Européens.
Tableau 128 : La comparaison de quelques teneurs en métaux (en mg/l) étudiés des trois lacs Tonga, Oubeira, El-Mellah avec d'autres lacs Africains, Asiatiques et Européens (les eaux intérieures)

LISTES DES ABREVIATIONS

- ATSDR** : Agency for toxic substances and disease registry
- AV1** : Analyse de la variance à un critère de classification
- BNEDER** : Bureau national des études et du développement rural Alger.
- BCF** : Facteur de bioconcentration.
- BV** : Bassin Versant
- CCE** : Conseil De la Communauté Européenne
- CE** : Communauté Européenne
- DRA** : Direction de la Recherche Appliquée
- ENIP** : Entreprise Nationale de la pétrochimie
- ETM** : Eléments traces métalliques.
- Ft** : Facteur de transfert.
- GDR** : Groupement de recherche.
- HCl** : Acide chloridrique.
- HNO3** : Acide nitrique.
- INERIS** : Institut National de l'Environnement industriel et des Risques.
- JECFA**: Joint Expert Comitte for Food Additives.
- µm** : millimicron
- NA** : Numéro Atomique.
- OMS** : Organisation Mondiale de la santé
- PPDS** : Plus Petite Différence Significative
- P.s** : Poids sec.
- P.h** : Poids humide.
- SAA** : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique.
- URASM** : Unité de Recherche Appliquée en Sidérurgie Métallurgie
- WQC** : Water Quality Criteria.

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 (C.Biney et al, 1991)

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 présent dans les roches drainées par les eaux de surfaces et les nappes souterraines (C.Biney et al, 1991).

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 de trois compartiments eau, sédiment et faune.

En effet, La surveillance des polluants métalliques est effectuée dans les sédiments (fraction < 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 (D.Claissé, 1995-RNO).

D'autre part, le choix d'étudier la contamination chez les bivalves est en raison de la capacité de ces organismes aquatiques à bioaccumuler les métaux lourds présents dans l'environnement. En plus ces mollusques ont un habitat très étendue et diversifié (benthique, saumâtre, douce, marins...); et se sont des bioindicateurs de pollution, et des organismes de choix dans les programmes de surveillance de la contamination métallique (Jean François Chiffolleau ; 2001).

L'anguille aussi figure au premier rang des espèces de références pour la surveillance de la qualité des eaux continentales et littorales. En effet, ce poisson euryhalin, doté d'une grande valence écologique, constitue une excellente espèce « sentinelle » des zones humides en raison de son aptitude à bioconcentrer les polluants persistant, qu'il soit minéraux ou organiques (Nunez-Delgado, 1996 ; Buet, 2002). En outre elle possède une caractéristique importante pour être utilisée comme espèce animale bioindicatrice (selon, Halène Roche, Astrid Buet et François Ramade ; 2003).

Neuf éléments métallique font l'objet de notre étude notamment "le plomb, le cadmium, le mercure, le fer, le zinc, le cuivre, le chrome, le nickel et le manganèse", car

généralement dans les sciences environnementales ce sont ces métaux lourds qui sont associés aux notions de pollution et de toxicité ; (H.Pariselle , 1956).

- Organisation du manuscrit : Ce manuscrit s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à des « généralités sur les métaux lourds ». Le second chapitre « Matériels et méthodes » évoque une description de la zone d'étude, avec ses divers aspects, implantation des stations de prélèvement, échantillonnage et traitement des échantillons (Eau, sédiment et organisme aquatique) et les normes admises pour cette étude). Le troisième et dernier chapitre aborde la partie résultats et une discussion. Enfin, On terminera cette étude par une conclusion dans laquelle on évoquera également des recommandations et des perspectives.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES METAUX LOURDS

1. Définition des métaux lourds :

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser. D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

- tout métal ayant une densité supérieure à 5,
- tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (Z=11),
- tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Tableau 1 : Classification périodique des éléments métalliques analysés

CLASSIFICATION PERIODIQUE DES ELEMENTS																																													
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: left;"> <p>■ Métaux</p> <p>■ Semi-conducteurs</p> <p>■ Non-métaux</p> <p>■ Gaz nobles</p> </div> <div style="text-align: left;"> <p>Li : Solide à 25°C, sous 1 bar</p> <p>He : Gaz à 25°C, sous 1 bar</p> <p>Br : Liquide à 25°C, sous 1 bar</p> <p>Tc : Obtenu par synthèse</p> </div> </div>																																													
I																	VIII																												
1	H 1																	He 2																											
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10																											
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18																											
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36																											
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54																											
6	Cs 55	Ba 56	Lu 71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86																											
7	Fr 87	Ra 88	Lw 103	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Uun 110	Uuu 111	Uub 112																																	
			<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: left;"> <p>Série des Lanthanides</p> <p>Série des Actinides</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6;">La 57</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Ce 58</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Pr 59</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Nd 60</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Pm 61</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Sm 62</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Eu 63</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Gd 64</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Tb 65</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Dy 66</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Ho 67</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Er 68</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Tm 69</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Yb 70</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6;">Ac 89</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Th 90</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Pa 91</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">U 92</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Np 93</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Pu 94</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Am 95</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Cm 96</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Bk 97</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Cf 98</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Es 99</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Fm 100</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">Md 101</td> <td style="background-color: #ADD8E6;">No 102</td> </tr> </table> </div>															La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70																																
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102																																

Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques encore. Le géologue par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec la pyrimidine.

Dans le traitement des déchets liquides, les métaux lourds indésirables auxquels on s'intéresse principalement sont : As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn.

Dans les *sciences environnementales*, les métaux lourds associés aux notions de *pollution* et de *toxicité* sont généralement : As, Cd; Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn.

Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et /ou pour l'homme. (In Di Benedetto., 1997).

Dés qu'on aborde la problématique des métaux lourds, il faut avoir présent à l'esprit que ces éléments se trouvent dans notre environnement quotidien sous des formes chimiques très diverses. En effet, à coté des formes minérales les plus simples par exemple le Pb^{2+} , les métaux lourds peuvent exister aussi sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le Plomb tétra-éthyl des essences) mais aussi sous forme de complexe (exemple la salicylate de plomb) ou encore sous forme de chélate (exemple : complexe de plomb EDTA). Toutes ces formes, même si elles sont présentes en quantité minime, et quelles que soient les transformations qu'elles subissent lors de leur cheminement dans l'environnement, doivent être prises en compte lorsque l'on étudie les métaux lourds et ceci confère à ce sujet toute sa complexité. L'étude de toutes ces formes de métaux lourds constitue une discipline à part entière, connue actuellement sous le terme d'étude de la « spéciation des métaux lourds ».

2. Caractéristiques des métaux lourds analysés dans cette étude :

2.1. Le mercure :

2.1 .1. Propriétés fondamentales:

De symbole **Hg** et NA **80** (tableau 1), le mercure est un métal dont la dynamique dans l'environnement est conditionnée par trois propriétés fondamentales: physique, par sa forme liquide à température ambiante ; chimique, par la stabilité de ses liaisons avec le carbone et le soufre et biologique par sa très forte bioconcentration et sa toxicité. Son cycle biogéochimique fait intervenir des conversions d'espèces chimiques qui se traduisent par des changements de phase (liquide, solide, gaz) et, en conséquence des comportements très différents dans l'environnement. Les composés du mercure se divisent en deux classes chimiques principales: le mercure inorganique (incluant le mercure élémentaire) et le mercure organique (incluant le Méthyl-mercure).

Tableau 2 : Les principales espèces de mercure dans les eaux naturelles
(Cossa et Ficht, 1999)

Valence	Dénomination	Formule chimique
0	Mercure élémentaire	Hg^{2+}
II	Ion mercurique libre	$HgCl^+$, $HgCl_2$, $HgCl_3$
II	Chlorocomplexes	$Hg(OH)^+$, $Hg(OH)_2$
II	Hydroxocomplexes	$HgSR$, CH_3HgSR
II	Thiocomplexes	CH_3HgCl
II	Monométhylmercure	CH_3HgCl_3
II	Diméthylmercure	HgS
II	Sulfure de mercure	$HgSe$
II	Sélénure de mercure	$Hg(OH)^+$, $Hg(OH)_2$
II	Complexe fulviques et humiques	$HgSR$, CH_3HgSR

2.1.2. Utilisations du mercure:

Le mercure est rare dans le milieu naturel: il se trouve cependant dans les roches, parfois à des concentrations justifiant une exploitation. Le mercure est extrait du cinabre (sulfure de mercure), par des techniques minières classiques. Le mercure, libéré sous forme de vapeur, est recueilli par condensation.

Le mercure est utilisé par l'homme dans de multiples domaines. Il a été largement utilisé dans l'agriculture (pesticide), comme fongicide pour les papeteries et les industries de peinture, pour le traitement des minerais d'or et d'argent, dans l'industrie catalytique et l'électrolyse, dans les équipements électroniques et électriques, les lampes, les explosifs, les batteries et les instruments de mesures (A.Boudou, 1982; D.Cossa et J.Rondeau, 1985; Fitzgerald et Clarkson, 1991; Lindqvist, 1991.).

2.1.3. Cycle, sources naturelles et anthropiques :

Le mercure est dégazé ou émis vers l'atmosphère par différents processus naturels qui sont principalement : le dégazage par les sols et la végétation, la volatilisation du mercure à partir des eaux naturelles et les émissions d'origine volcanique (Lindqvist et Rhode, 1985; Schröder *et al.*, 1989; Lindqvist, 1991).

Le dégazage naturel de l'écorce terrestre et les activités humaines constituent les sources principales de mercure mobilisé dans l'environnement. Le transfert du mercure s'effectue très schématiquement par volatilisation, déposition sèche et pluie, transport fluvial et sédimentation.

La part anthropique du mercure mobilisé à l'échelle planétaire est estimée à plus de 50 %. La contamination par le mercure est ubiquiste en raison de sa grande mobilité et les systèmes aquatiques en sont particulièrement affectés.

Actuellement, la principale source est la rémission de mercure anthropique déposé. Les sources ponctuelles anthropiques sont par ordre d'importance: la combustion des hydrocarbures fossiles, en particulier le charbon, l'incinération d'ordures ménagères et hospitalières et les procédés industriels (fabrication de la soude caustique, métallurgie non ferreuse, etc.).

Les sources diffuses sont nombreuses: tubes fluorescents, piles, thermomètres, peintures, gaz d'échappement des véhicules, décharges d'ordures, certains dépôts d'armes, sols contaminés et certaines exploitations de gaz naturel (Cossa et Ficht, 1999).

Les émissions atmosphériques de mercure dues à l'activité humaine ont augmenté d'environ 4,5 fois depuis le début du siècle dernier (Mason *et al.* 1994) et plus des deux tiers de la production du mercure ont été effectués au cours du vingtième siècle. Selon Fitzgerald (1989), environ 30 à 40 % des émissions totales annuelles de mercure dans l'atmosphère sont d'origine anthropique (Fitzgerald et Watras, 1989).

Les estimations de Mason *et al.*, 1994 sont beaucoup plus sévères: c'est de 70 à 80 % des émissions actuelles vers l'atmosphère qui sont estimées être d'origine anthropique.

L'augmentation des émissions anthropiques de mercure a entraîné depuis le siècle dernier une augmentation d'un facteur trois des concentrations en Hg dans l'atmosphère et les eaux de surface de l'océan.

2.1.4. Propriétés biologiques et toxicité :

Le mercure est le seul élément métallique dont l'introduction dans le milieu aquatique par l'activité humaine à avoir entraîné la mort d'hommes. Le grand exemple est : Quarante huit décès, sept cents paralysés et plusieurs milliers d'individus atteints ont en effet été recensés suite au déversement de cent cinquante tonnes de mercure dans la baie de Minamata, au sud du Japon, au cours des années cinquante et soixante. Cette maladie tragique fut le

résultat de l'ingestion, par des pêcheurs et leur famille, de poissons contaminés par un dérivé neurotoxique du mercure, le méthyl-mercure. La toxicité aiguë du mercure (introduit sous forme inorganique) pour les mollusques varie de 5 µg/L à plus de 5000µg/ L. Elle varie en outre avec la température et la salinité du milieu: elle augmente généralement avec la température et à faible salinité (Marchand et Kantin, 1997).

Les larves et les embryons figurent parmi les plus sensibles. Le mercure est donc considéré comme un élément extrêmement toxique pour la vie aquatique puisque les doses létales les plus basses sont inférieures à 10 µg.L.l à certains stades du développement d'espèces déjà constatées comme très sensibles (GESAMP, 1997). Les concentrations sans effet sont inférieures à µg /L. Pour des teneurs inférieures à 100 µg/ L, différents effets sublétaux peuvent se manifester comme une perturbation de la respiration, un retard de croissance et des effets sur la reproduction. Les effets histopathologiques relevés concernent surtout les branchies et le système digestif des organismes marins. Ils sont observés pour des concentrations supérieures à 100 µg/L et des durées de contamination relativement longues.

Il est donc normal que les taux de mercure soient contrôlés. En France par exemple, le Conseil supérieur de l'hygiène publique (CSHP) propose une norme de tolérance de 0,7 mg/kg (poids humide) chez les poissons en bout de chaîne alimentaire (dont le thon) et de 0,5 mg/kg (poids humide) pour les autres produits de la pêche. (Marchand et Kantin, 1997).

Le Règlement (CEE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de certains contaminants: nitrates, aflatoxines, plomb, cadmium, mercure, dioxines, patuline et l'étain inorganique. La fixation des teneurs maximales pour certains contaminants vise à réduire la présence de ces contaminants dans certaines denrées alimentaires aux niveaux les plus faibles que permettent raisonnablement de bonnes pratiques de fabrication ou agricoles, afin d'obtenir un niveau élevé de protection de la santé publique, en particulier pour les groupes sensibles de la population: enfants, personnes allergiques, etc.

2.2. Le cadmium :

2.2.1. Propriétés fondamentales :

De symbole **Cd**, NA 48 (tableau 1) et de couleur blanc brillant le cadmium a une grande résistance à la corrosion ; son point de fusion est bas ; il a une bonne conductivité de l'électricité ; ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures ; il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (Borchardt, 1985). Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique). Un ensemble de variables physico-chimiques du milieu (salinité, pH, potentiel redox, caractéristiques sédimentologiques, nature géochimique des particules, concentration en chlorures) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (Gonzalez *et al*, 1999; Chiffolleau *et al.*, 2001).

La distinction entre les trois formes dissoutes, colloïdales et particulières se fait par filtration et ultrafiltration, dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille : 1 - Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres (Cd^{2+}) et formées par des associations (complexation) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant) minéraux ou organiques. Contrairement au mercure, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à pH=8, la quasi-totalité du cadmium est présent sous forme Cd^{2+} . Plus la salinité augmente, plus la concentration en Cd^{2+} diminue (Cossa D,1989 ; Campbell, 1995). Pour des pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures: les chloro-complexes (CdCl_2 , CdCl^+ , CdCl_3). Pour des salinités faibles, c'est l'espèce CdCl^+ qui domine, alors qu'en milieu marin, c'est CdCl^2 qui est majoritaire (Cossa et Lassus, 1989).

- Les formes colloïdales (de 450 à 1 nm) lorsqu'il se fixe à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale.
- Les formes particulaires ($> 0,45 \mu\text{m}$) se font par iégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques (bruit de fond géochimique), par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différents fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matières organiques, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse)(Gonzalez *et al.*, 1999).

2.2.2. Utilisations du cadmium:

Le cadmium est naturellement présent à l'état de traces dans les roches superficielles de l'écorce terrestre, ce qui en fait un élément plus rare que le mercure et le zinc. Il y a deux origines principales de présence de cadmium:

- Le cadmium primaire est principalement associé au zinc dans les minerais de zinc (blende) (0,01 à 0,05%) et donc sous-produit de la métallurgie du zinc qui donne en moyenne 3 kg de cadmium par tonne de zinc.
- Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre ainsi que dans des phosphates naturels (Jordanie, Tunisie).
- Les usages de cadmium se situent principalement en électricité (accumulateurs), en électronique, en métallurgie (traitement des surfaces par cadmiage) et dans l'industrie des matières plastiques (stabilisateur de polymères) (F.Ramade, 1992).
- Le cadmium est le produit de recyclage (accumulateurs Ni/Cd, alliages Cu/Cd, poussières d'aciéries, incinération d'ordures ménagères).

2.2.3. Cycle et sources naturelles et anthropiques :

Le cadmium rejeté dans l'atmosphère provient de sources naturelles et anthropiques. Le cadmium présent dans la croûte terrestre peut être dispersé dans l'air par entraînement de particules provenant du sol et par les éruptions volcaniques. Cependant, les activités industrielles telles que le raffinage des métaux non ferreux, la combustion du charbon et des produits pétroliers, les incinérateurs d'ordures ménagères et la métallurgie de l'acier constituent les principales sources de rejet atmosphérique.

Dans l'eau, le cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines.

2.2.4. Propriétés biologiques et toxicité :

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants. Il remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (Price et Morel, 1990; Lane et Morel, 2000).

Le cadmium présente des risques chez le consommateur. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. Chez l'homme, le phénomène de toxicité aiguë est connu depuis 1950 sous le nom de syndrome d'Itai-Itai défini par l'association d'une insuffisance rénale avec ostéoporose (déméralisation et fragilisation des os) et ostéomalacie (déméralisation et déformation des os). Son nom provient des cris poussés par les malades, riziculteurs âgés de 40 à 60 ans, du bassin de la rivière Jintsu au Japon, intoxiqués par l'eau de boisson et la consommation de riz contaminés par les rejets d'une usine de métaux non ferreux.

Le JECFA (Joint Expert Comitte for Food Additives) comité mixte FAO/OMS, a recommandé chez l'homme une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 7 µg de cadmium par kilogramme de poids corporel et par semaine. Il faut noter que, outre la boisson et la nourriture, le tabagisme est une source importante de cadmium notée dans toutes les études épidémiologiques. De la même façon que pour le mercure, le règlement (CCE) n° 466/2001 fixe les quantités maximales de cadmium dans les denrées alimentaires (1mg/kg de poids humide) Cependant, il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. Au niveau subléta, des concentrations de 0,05 à 1,2µg/ L peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance (Chiffolleau *et al.*, 2001).

2.3. Le plomb :

2.3.1. Propriétés fondamentales :

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, de symbole **Pb** et de numéro atomique **82**(tableau 1), peu ou rarement disponible à l'état natif, il est présent dans de nombreux minerais, la galène PbS, associé au zinc PbZn.

Il existe sous trois formes essentielles: le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire.

- Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer par exemple sont $PbCO_3$, $PbCl_2$ ou $PbCl^+$. Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute et le fait que le plomb, dans l'eau de mer, se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques labiles. De même que pour le mercure, le plomb peut-être méthyle par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance.

- Aussi, le plomb présente une forte affinité pour la matière particulaire. A peine 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du pH et augmente avec ce dernier.

2.3.2. Utilisations du plomb:

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments: Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As, Ag, qui sont en grande partie (sauf Fe) récupérés lors des opérations métallurgiques. Les minerais mixtes Pb-Zn représentent 70 % de la production minière de plomb, les minerais de plomb en représentent 20 %, et 10 % de la production de plomb proviennent d'une coproduction lors du traitement du minerai de cuivre, de zinc ou d'autres métaux. Le principal minerai du plomb est la galène (PbS) très souvent associé à la blende et à la pyrite (Chiffolleau *et al.*, 2001).

L'utilisation du plomb est directement liée à la métallurgie. Dans l'antiquité, pour la production de la monnaie, les canalisations et la vaisselle ; et actuellement dans l'industrie, l'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles. Cette dernière utilisation qui consistait à ajouter du plomb à l'essence comme antidétonant est aujourd'hui prohibée (Miquel, 2001).

2.3.3. Cycle et sources naturelles et anthropiques :

Dans l'air, les émissions de plomb provenant de poussières volcaniques véhiculées par le vent sont reconnues d'importance mineure. Les rejets atmosphériques sont principalement anthropiques.

Les apports de plomb à l'océan se font majoritairement par voie atmosphérique, la source principale étant encore à l'heure actuelle la combustion des carburants automobiles.

Dans les sédiments, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé. Cette solubilisation s'observe également en sub-surface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse (Marchand et Kantin, 1997).

2.3.4. Propriétés biologiques et toxicité :

Les doses létales du plomb, sous la forme de sel minéral, sont souvent supérieures à sa limite de solubilité dans l'eau de mer, c'est à dire 4 mg/L. Le plomb inorganique peut donc être considéré comme toxique (concentration létale de 1 à 10 mg/L) ou modérément toxique (concentration létale de 10 à 100 mg/L).

Le seuil de qualité sanitaire réglementaire est de 1,5 mg/kg (p.h) du règlement européen CE 221/2002.

Des effets sur la croissance de certaines espèces phytoplanctoniques ont été enregistrés à partir de 0,5µ/L.

Les invertébrés marins aux stades embryonnaires sont plus sensibles que les adultes. Ainsi, la concentration inhibitrice du développement embryonnaire de la moule (*Mytilus galloprovincialis*) est d'environ 500 µg/L ; de plus, à cette concentration, un grand nombre de larves sont anormales. L'effet toxique du plomb peut se traduire par une compétition avec des métaux essentiels. Chez la moule, *Mytilus edulis*, en présence de plomb (0,1 mg/L), il y a perturbation du métabolisme des autres métaux divalents: notamment le calcium, le magnésium et le cuivre (Marchand et Kantin, 1997).

Enfin, le saturnisme désigne l'ensemble des manifestations de l'intoxication humaine par le plomb. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se caractérise par une anémie et une perturbation du métabolisme par compétition avec les ions Ca^{2+} .

2.4. Le cuivre

2.4.1. Propriétés fondamentales :

Élément chimique métallique de couleur rouge-brun, de symbole **Cu** et NA **29** (tableau 1). Il est indispensable au métabolisme des êtres vivants (oligo-éléments). L'ion Cu^{2+} forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, comme les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques (ATSDR, 1990; Dameron et Howe, 1998). Dans les milieux aqueux, le comportement du cuivre est influencé par de nombreux processus:

- Complexation avec des ligands organiques (surtout sur les groupes NH_2 et SH , et dans une moindre mesure sur le groupe OH) ou minéraux,
- Adsorption sur des oxydes métalliques, des argiles ou des matières organiques particulières,
- Bioaccumulation, présence de cations de compétition (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}).
- Echanges entre les sédiments et l'eau (ATSDR, 1990; Dameron et Howe, 1998).

L'oxyde cuivreux Cu_2O est insoluble dans l'eau alors que les formes CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$ et CuCl_2 le sont. La majorité du cuivre rejeté dans l'eau est sous forme particulaire et tend à se déposer, à précipiter ou à s'absorber à la matière organique, au fer hydraté, aux oxydes de manganèse ou aux argiles. Dans l'eau, le cuivre particulaire représenterait de 40 à 90 % du cuivre (ATSDR, 1990). Après introduction du cuivre dans le milieu aquatique, l'équilibre chimique est généralement atteint en 24 heures.

2.4.2. Utilisations du cuivre:

Le cuivre existe à l'état natif et est extrait d'une grande variété de minerais. Il se rencontre surtout sous forme de sulfures CuS et Cu_2S dans la tétrahédrite et l'énargite, et sous

forme d'oxydes. Le minerai le plus important est la chalcoppyrite. La teneur en cuivre dans les minerais varie de 0,5 à 5 %. Elle est de 0,01 % dans les roches volcaniques et de 0,0055 % dans les roches cristallines.

Le cuivre est l'un des métaux les plus employés à cause de ses propriétés physiques et de sa conductibilité électrique et thermique. Il est utilisé dans la métallurgie, dans la fabrication des alliages de bronze (avec étain), de laiton (avec zinc) ou de bijouterie (avec or et argent).

Il est très largement employé dans la fabrication de matériels électriques (fils, enroulements de moteurs, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie.

L'acétate de cuivre est utilisé comme catalyseur, notamment dans la fabrication de caoutchouc, comme pigments pour les céramiques et les teintures, comme fongicide et comme insecticide.

Le chlorure cuivrique est employé comme catalyseur, agent désodorisant, désulfurant ou purifiant, fixateurs pour la photographie. Il est utilisé pour la production de couleurs dans les compositions pyrotechniques ou encore pour la conservation du bois et le raffinage des métaux. Aussi, le sulfate de cuivre anhydre est utilisé en analyse pour la détection et l'élimination de traces d'eau provenant des alcools.

La forme hydratée est utilisée comme fongicide agricole, bactéricide et herbicides. Il entre aussi dans le traitement des vignes .

2.4.3. Cycle et sources naturelles et anthropiques :

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquiste. Sa concentration dans l'écorce terrestre est estimée à environ 70 mg/kg.

Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts et les aérosols marins constituent les principales sources naturelles d'exposition.

Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération de ordures ménagères, la combustion de charbon, d'huile et d'essence et la fabrication de fertilisants (phosphate).

Le milieu environnemental le plus exposé au cuivre est le sol: 97 % du cuivre libéré dans l'environnement s'y retrouve contre seulement 3 % dans les eaux et 0,04 % dans l'air (ATSDR, 1990).

La contamination des sols est due principalement aux résidus d'extraction et de broyage des minerais de cuivre, les boues des usines de traitement des eaux usées, les déchets de la galvanoplastie, l'industrie du fer et de l'acier.

Dans les eaux, le cuivre provient pour la majeure partie de l'érosion des sols par les cours d'eau (68 %), de la contamination par le sulfate de cuivre (13 %) et des rejets d'eaux usées qui contiennent encore du cuivre, même après traitement.

La viticulture, principale monoculture dans la région méditerranéenne constitue une source potentielle de pollution métallique. Divers fongicides à base de cuivre sont, par exemple, largement utilisés pour protéger la vigne.

En plus, dans la zone Méditerranéenne, l'importance du ruissellement et de l'érosion est susceptible d'accroître les transferts vers les eaux superficielles des produits phytosanitaires issus du traitement de la vigne, le cuivre inclus. Par conséquent, ce métal, connu pour son effet fongicide sur les végétaux, se retrouve présent dans l'écosystème aquatique récepteur et peut être à l'origine de perturbations au niveau des populations phytoplanctoniques.

2.4.4. Propriétés biologiques et toxicité :

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal. Il est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques, notamment pour la formation d'hémoglobine et la maturation des polynucléaires neutrophiles. De plus, il est un cofacteur spécifique de nombreuses enzymes et métalloprotéines de structure intervenant dans un métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire, la pigmentation (OMS.IPCS, 1998). Il a une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques. Chez les mollusques, le sang renferme un pigment respiratoire à base de cuivre, l'hémocyanine.

La toxicité vis à vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. En particulier, la concentration létale en 48 h pour 50 % des larves d'huîtres plates serait de 1 à $\mu\text{g/L}$ et des inhibitions de croissance du phytoplancton se produisent à partir de 4 $\mu\text{g/l}$.

Les caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH, dureté, teneurs en autres éléments inorganiques) agissent sur le degré de dissociation entre les formes métalliques et ioniques. Le cuivre complexé est moins toxique que le cuivre à l'état ionique.

2.5. Le zinc :

2.5.1. Propriétés fondamentales :

Le zinc est un élément chimique métallique, bleuâtre, de symbole **Zn** et de NA **30** (tableau 1). Il s'agit d'un oligo-élément indispensable au développement de la vie, son utilisation est variable et multiple, une grande partie de la pollution provient de la métallurgie. Sa toxicité pour les organismes marins n'est pas prouvée, sauf à de fortes concentrations, il s'agit sur la reproduction des moules et le croissance larvaire.

2.5.2. Utilisation du zinc :

Il est assez présent dans la croûte terrestre, on le trouve pas à l'état libre dans la nature, mais sous forme d'oxyde de zinc (ZnO), de silicates (2ZnO , SiO_2 , H_2O), de carbonates de zinc (ZnCO_3)...etc. A l'état pur le zinc est un métal cristallin, insoluble dans l'eau. Son origine artificiel ne peut être qu'industrielle.

Il est principalement utilisé comme revêtement protecteur anti-corrosif des aciers, on le trouve également dans les plaques des piles électriques sèches et il est utilisé dans le traitement des eaux industrielles.

Il est souvent associé au plomb et au cadmium dans les minerais, avec une teneur variant de 4 à 20 %. Le minerai principal est la blende, sulfure de zinc (ZnS). Il est produit principalement suivant un procédé hydro-métallurgique ou encore pyro-métallurgique.

Le zinc est principalement utilisé pour les revêtements de protection des métaux contre la corrosion (galvanoplastie, métallisation, traitement par immersion). Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers). Il est utilisé dans la construction immobilière, les équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés. Il constitue un intermédiaire dans la fabrication d'autres composés et sert d'agent réducteur en chimie organique et de réactif en chimie analytique.

2.5.3. Cycle, sources naturelles et anthropiques :

Le zinc principalement sous forme de sulfure (blende) est assez uniformément distribué dans les roches magmatiques (40 à 120 mg.kg.1). Sa concentration est un peu plus

élevée dans les sédiments argileux (80 à 120 mg/kg), alors qu'elle est plus faible dans les roches mères sableuses.

Il entre naturellement dans l'atmosphère à partir du transport par le vent de particules du sol, des éruptions volcaniques, des feux de forêts et d'émission d'aérosols marins.

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement résultent des sources minières industrielles (traitement minéral, raffinages, galvanisation du fer, gouttières de toitures, piles électriques, pigments, matières plastiques, caoutchouc), des épandages agricoles (alimentation animaux, lisiers) et des activités urbaines (trafic routier, incinération ordures).

Dans les zones portuaires, le zinc est introduit à partir de la dissolution des anodes destinées à la protection des coques de bateaux contre la corrosion, et est contenu dans certaines peintures antisalissures.

2.5.4. Propriétés biologiques et toxicité :

Comme le cuivre, le zinc est un métal essentiel, nécessaire à la vie d'un grand nombre d'organismes, en quantité généralement faible.

Le zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme (besoins 15 mg/jour).

Il intervient au niveau de la croissance, du développement osseux et cérébral, de la reproduction, du développement foetal, du goût et de l'odorat, des fonctions immunitaires et de la cicatrisation des blessures (NAS/NRC, 1989).

Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il agisse, à de fortes concentrations, sur la reproduction des moules et la croissance des larves.

2.6 .Le Chrome :

2.6.1. Propriétés fondamentales :

Le chrome est un élément chimique de symbole **Cr**, et de NA **24** (tableau 1). Son étymologie vient du grec : *chroma* signifiant couleur, car les composés du chrome sont différemment colorés.

- Le chrome fait partie de la série des métaux de transition. C'est un métal dur, d'une couleur gris acier argenté. Il résiste à la corrosion et au ternissement.

- Les états d'oxydation les plus communs du chrome sont ⁺², ⁺³, et ⁺⁶; ⁺³ étant le plus stable et les ⁺⁴ et ⁺⁵ sont relativement rares.

- Les composés du chrome d'état d'oxydation ⁺⁶ (chrome hexavalent) sont de puissants oxydants. (B.Brown ; 1971).

Le chrome est essentiellement obtenu à partir de la chromite, minéral du type spinelle, ce dernier est un minéral assez répandu sur le globe. Dans ce minéral le chrome est pratiquement toujours associé au magnésium sous forme de chromite de fer FeCr_2O_4 mais peut être également associé au magnésium sous forme de chromite de magnésium (MgCr_2O_4).

On y trouve également de l'oxyde d'aluminium Al_2O_3 et de la silice .D'après M. Sittig 1976, le chrome représente 0.037% de la croûte terrestre.

2.6.2. Composés du chrome :

Il existe un grand nombre de combinaisons du chrome, ces composés ayant un éventail très large d'applications dans les industries les plus diverses .Les combinaisons du chrome sont subdivisées en deux grands groupes :

- Les combinaisons du chrome trivalent, le chlorure chromique, le nitrate de chrome, l'acétate de chrome. (Coriou et L.Grall, 1970, in Levesque 1975)
- Les combinaisons de chrome hexavalent dont principalement l'acide chromique ou plus exactement le trioxyde de chrome, mais aussi les chromates de baryum, de zinc, de plomb et les bichromates d'ammonium et de potassium. (Guenent. , 1974 -1975).

2.6.3. Utilisations du chrome: Les diverses industries utilisatrices du chrome sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau 3 : Les diverses industries utilisatrices du chrome

Industrie chimique
Industrie des couleurs et laques
Industrie des films et photographie
Industrie galvanique et électrique
Industrie du bois
Protection contre la corrosion
Industrie du cuir
Industrie des métaux
Industrie métallurgique
Industrie pharmaceutique
Industrie de polissages
Industrie textile
Industrie des allumettes.

2.6.4. Propriétés biologiques et toxicité :

Le chrome trivalent est un oligo-élément essentiel pour le métabolisme du sucre chez l'être humain. Une déficience en chrome peut affecter le potentiel de l'insuline à réguler le niveau de sucre dans l'organisme. L'impact immédiat de sa présence dans le milieu marin se manifeste par sa concentration dans les différents organismes aquatiques.

Des études ont montré qu'une alimentation adéquate en chrome améliore la croissance et la longévité et de paire avec l'insuline, favorise un bon métabolisme du glucose, des lipides et des protéines.

D'après le « Water Quality Criteria » (1963), les poissons sembleraient plus résistants que les autres espèces aquatiques aux sels de chrome. Dans l'ensemble les tests biologiques montrent le chrome hexavalent comme étant plus toxique pour les poissons que le chrome trivalent. Bon nombre d'auteurs ont constaté dans leurs études expérimentales que le chrome trivalent est la forme la plus toxique pour les poissons.

D'après les études de R.Renhwoldt (1976) et ses collaborateurs sur la distribution du chrome chez la carpe, cet élément a tendance à s'accumuler principalement dans le foie et les reins des organismes intoxiqués. D.C.Zeher, (1970).

2.7. Le Nickel :

2.7.1. Propriétés fondamentales :

Le nickel est un élément chimique de symbole **Ni**, et de NA **28** (tableau 1). Le nickel, d'après M.GRANIER, 1975 ; occupe la 23^{ème} place dans l'ordre d'abondance des éléments minéraux dans la croûte terrestre. Il représente environ 0.016 % de celui-ci. Malgré cette abondance relative, les minerais exploitables économiquement ne sont localisés qu'en quelques sites, les deux principales formes sous lesquelles le nickel est exploité étant les amas sulfurés et les latérites nickélifères M.Sittig, 1976.

2.7.2. Utilisation du nickel :

Le nickel trouve une large gamme d'utilisation dans le domaine industriel. Une grande partie de la consommation de Ni sert à la production d'alliages avec le cuivre, le fer, le manganèse, le zinc, le chrome, le molybdène... l'acier inoxydable contient de 3 à 35 % de Ni et les alliages cuivre – nickel contiennent environ 70% de Ni. Les alliages sont utilisés, en raison de leur grande résistance à la corrosion, dans les circuits d'eau de mer, entre autres, dans les unités de dessalement d'eau de mer.

Le nickel est d'ailleurs utilisé pour la fabrication d'aciers spéciaux résistants à la corrosion et à la chaleur. Sous forme d'alliage, le nickel sert également à la fabrication de pièces de monnaie.

Le nickel est employé aussi dans bon nombre d'autres applications industrielles dont notamment selon (H.C.Branch, 1973).

- Le revêtement électrolytique ou chimique ;
- La préparation de catalyseurs largement utilisés pour l'oxydation et la réduction de composés organiques, le séchage des huiles, la purification des eaux résiduaires,
- La production de céramiques, et de verre ;
- La production de batteries Ni-Cd ...etc. (M.Granier, 1975).

2.7.3. Sources de pollution par le nickel :

La principale source de rejet de nickel dans les eaux résiduaires industrielles est représentée par l'industrie métallurgique, notamment les opérations de revêtement faisant intervenir le nickel.

Les eaux usées provenant de revêtement contiennent des sels de nickel, principalement les formes sulfates et chlorures.

Le nickel se trouve en moindre importance, dans les eaux résiduaires de raffineries d'argent, des fabriques d'acier, des fonderies, des industries automobile et aéronautique, des fabriques de peintures.

Le nickel se trouve aussi dans les eaux de ruissellement en milieu urbain. Le salage des routes en période hivernale contribue à augmenter de façon notable la teneur en nickel des eaux de ruissellement.

2.7.4. Effets biologiques et toxicité :

D'après le Water Quality Criteria, le nickel apparaît moins toxique à la vie aquatique que le cuivre et le zinc. Il semble néanmoins plus toxique pour les poissons que le fer et le manganèse. Des études réalisées par A.R.Friedrich & F.P.Filice, 1976 sur l'accumulation du nickel chez un mollusque bivalves d'eau de mer ont montré que pour des concentrations en nickel entre 0.018 mg/L et 0.03 mg/L, il n'y a pas d'accumulation significative du nickel dans les tissus des organismes exposés. Celle-ci devient significative pour des concentrations supérieures comprises entre 0.03 et 0.107 mg/L.

L'ingestion quotidienne à partir de l'alimentation et les boissons est estimée être de 300 à 600 µg / jour pour un adulte.

Certaines boissons peuvent contribuer de manière importante à l'apport de nickel à l'organisme : thé, café, qui peuvent contenir jusqu'à 100 µg Ni / 100 g.

D'après les analyses effectuées sur plusieurs groupes d'êtres humains, le nickel absorbé par l'organisme, suite à une ingestion orale, se trouve surtout dans le foie, les reins, l'aorte, le cœur, la rate et le cerveau. Selon A.R.Friedrich & F.P.Filice, 1976.

La toxicité du nickel se manifeste plutôt lorsqu'il est administré par injection ou lorsqu'il est inhalée. Le carbonyle du nickel est le seul composé reconnu pour être

systématiquement toxique vis à vis de l'homme. De nombreux cas d'empoisonnement par ce produit ayant été répertoriés chez les ouvriers de l'industrie du nickel. Les principales lésions sont une hémorragie et un œdème pulmonaire ainsi qu'une hémorragie cérébrale.

Le carbonyle de nickel d'autre part est reconnu comme étant un élément carcinogène touchant principalement les voies respiratoires (poumons, cavité nasale).

Les normes européenne pour le nickel dans l'eau de consommation est fixée à 0.05 mg/L selon la directive du conseil des communautés européennes du 16 juin 1975.

2.8. Le manganèse :

2.8.1. Propriétés fondamentales :

Elément chimique métallique, blanc argenté, de symbole **Mn** et de NA **25**(tableau 1).il existe à l'état soluble dans les eaux, mais une fois collecté il s'oxyde rapidement, précipite de la solution échantillonnée ou s'adsorbe sur les parois du récipient. Il occupe la 12^{ème} place des éléments dans la croûte terrestre.

C'est un oligo-élément indispensable ; on le trouve dans tous les tissus. Il catalyse les réactions d'oxydo-réduction et la phosphorylation et favorise aussi l'hydrolyse des esters d'acides aminés et des peptides car il est indispensable au métabolisme des lipides ; il stimule la synthèse du cholestérol.

Ses propriétés caractéristiques sont principalement les points d'ébullition et de fusion très élevées ainsi que des chaleurs de vaporisation et de fusion élevées.

2.8.2. Sources naturelles et anthropiques :

On le trouve dans la nature sous forme d'oxyde (pyrolusite, braunite, manganite), de sulfure, oxyde de carbonate et de sellicate.

Les principaux pays producteurs de manganèse sont l'URSS, l'Afrique du sud, le Brésil, le Gabon dont le gisement de Moanda assure à lui seul 10% de la production mondiale.

D'autre part les fonds océaniques offrent une réserve importante de nodule de manganèse Des estimations donnent pour l'Océan Pacifique une réserve en Mn de l'ordre de 300 milliards de tonnes. W.J.Traversy et *al.*, 1979.

Le Manganèse peut être relargué dans les eaux, de manière naturelle par lessivage des terrains miniers. Il est intéressant également de signaler que le drainage des sols et litières peut entraîner une certaine quantité de manganèse dans les eaux (W.B.Kirchner et S.Brabowxski, 1972).

Il a été montré que les forêts de conifères et de diverses espèces à feuille caduque accumulaient du manganèse.

La principale source de rejet de Mn dans les eaux concerne le décapage d'alliage métallique comportant du manganèse. Ces opérations résultent de la dissolution d'ions manganéux et la présence de ces ions dans les bains usés de décapage et les eaux de rinçage .

2.8.3. Utilisation du manganèse:

Par ses propriétés, le manganèse se trouve dans de nombreuses applications industrielles.

Tableau 4 : Les applications industrielles du manganèse.

Alliages en métallurgie
Batteries sèches
Glace et céramique
Peintures et vernis
Encre et colorants
allumettes et fusées pour les feux d'artifice.

2.8.4. Effets biologiques et toxicité :

D'après A.L.Wilson, (1972) « le manganèse aurait un effet sur le métabolisme du phytoplancton ; seule la photosynthèse serait affectée et pas la respiration ni la formation de chlorophylle. Une déficience en manganèse réduirait considérablement le taux de photosynthèse en faible lumière, cet effet étant moins marqué en lumière forte. D'autre part P. HECKER, (1972) émet une hypothèse que le Mn est impliqué dans le système de libération de l'O₂ durant la photosynthèse.

Chez les poissons, le manganèse se concentre principalement dans les parties du squelette.

L'introduction quotidienne de Mn dans l'organisme humain par l'eau est d'ordinaire de 0.01 mg et dépasse très rarement 1 mg et son élimination par le corps humain se fait presque exclusivement par le tractus gastro-intestinal et très largement à travers la bile, l'élimination par l'urine est très faible et ne représentant que 0.1 à 3 % du total.

Le manganèse peut être toxique pour l'homme quand il est inhalé, et ce sont les travailleurs exposés dans l'industrie du manganèse qui sont particulièrement touchés. De ce fait, des normes ont été établies par la communauté européenne de telle manière à limiter le taux de manganèse dans l'eau domestique à 0.05ppm.

2.9. Le fer :

2.9.1. Propriétés fondamentales :

Le fer du latin « *ferrum* », est un élément métallique blanc argenté, de symbole **Fe**, magnétique et malléable. C'est un élément de transition de numéro atomique **26**. A l'état libre, le fer métallique se trouve dans les météorites, en général allié au nickel. Le métal est largement présent dans certains composés chimiques. Il occupe la 4^{ème} quatrième place juste après l'Al (aluminium) dans la classification d'abondance des éléments dans la croûte terrestre. Proche de l'aluminium par ses propriétés, c'est le plus abondant des métaux. De petites quantités de fer sont présentes sous formes combinées dans les eaux naturelles, les plantes et le sang.

Le fer se trouve généralement à l'état divalent dans les eaux qui ne se trouvent pas en contact avec l'air par contre dans les eaux superficielles exposées à l'air le fer est entièrement ou partiellement à l'état ferrique ⁺³.

Les caractéristiques chimiques du fer et du manganèse sont semblables, mais il existe néanmoins certaines différences, par exemple le Mn se réduit plus facilement que le fer et il est plus difficile à oxyder que le fer.

Dans la lithosphère le rapport Fe/Mn est de 50 / 1, donc le manganèse tend à rester dans l'eau en plus grande quantité que le fer .

Les concentrations en manganèse rencontrées généralement dans les cours d'eau sont rarement supérieures à 2 mg/l.

2.9.2. Utilisation du fer :

Le décapage, dont le but est d'éliminer les écailles et la rouille des surfaces métalliques, est l'une des sources de pollution de l'eau par le fer, les plus importantes. Les quantités d'eau nécessaire pour le décapage varie selon le type d'installation, dans les grandes usines qui traitent plus de 10000 tonnes d'acier par mois, les quantités de liqueurs utilisées sont de 20 à 60 m³ / jour pour les liqueur concentrées et de 25 m³ /heure pour l'eau de rinçage.

Plusieurs composés de fer sont utilisés pour les étapes de floculation et coagulation dans le traitement des eaux.

La corrosion dans les circuits de distribution d'eau et dans les circuits de refroidissement de diverses industries a toujours posé de sérieux problèmes pour la présence de fer dans ces eaux.

L'agressivité des eaux vis à vis du fer est causée par la présence d'ion H^+ libres et d' O_2 .

Les sulfatobactéries et les ferrobactéries jouent également un rôle prépondérant dans le phénomène de corrosion du fer, les secondes bactéries transforment les sels solubles de fer et de Mn en composés insolubles par oxydation.

Concernant le fer et le manganèse ce sont deux éléments minéraux présents généralement ensemble dans le milieu mais existent sous différentes formes selon le pH et le potentiel d'oxydo-réduction de l'eau ou ils se trouvent.

Selon les conditions du milieu, le manganèse se trouve sous forme soluble ou sous forme d'oxyde et d'hydroxyde de faible solubilité.

Dans la plupart des eaux de surface, à un pH neutre, le Mn se trouve à l'état soluble ou Mn^{2+} ou sous forme de complexe inorganique : bicarbonate de manganèse et sulfates de manganèse.

2.9.3. Cycle, Sources naturelles et anthropiques :

Le fer peut être entraîné dans les eaux par diverses voies dont principalement la dissolution superficielle des roches, le lessivage des terrains miniers, les rejets industriels directement dans les eaux ou bien dans l'atmosphère et les particules émises retombant à la surface de la terre avec les pluies.

Les sources potentielles industrielles de rejets de fer soluble dans les eaux sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 5: Les sources potentielles industrielles de rejets de fer.

Extraction des minerais
Transformation des minerais
Industrie chimique
Industrie de teinture
Métallurgie – sidérurgies
Conservation alimentaire
Tanneries et production du dioxyde de titane.

C'est l'industrie sidérurgique qui semble la source de pollution la plus importante .Le déversement des eaux résiduelles des ateliers de décapage dans les cours d'eau et les égouts est particulièrement dangereux en raison de la présence de concentrations d'acides et de sels de fer et les formes de pollution de l'eau imputable au décapage sont les suivants :

- Transformation par hydrolyse des sels ferreux en hydroxydes ferreux insolubles qui oxydés par l'oxygène dissous dans l'eau se transforme en hydroxydes ferriques donnant un important précipité brunâtre.
- Réduction de la teneur en oxygène dissous ce qui diminue le pouvoir auto épurateur du cours d'eau.
- Dépôt ferrique sur la faune et la flore et prolifération des bactéries assimilant les matières ferrugineuses.

D'autre part, les rejets dans l'atmosphère des fumées rousses d'oxyde de fer sont un autre type de pollution due à l'industrie sidérurgique. Ces fumées se forment lors des procédés d'élaboration de l'acier (cas du complexe sidérurgique d'El-Hadjar).

En effet, dans les principaux procédés d'élaboration de l'acier, la fonte mélangée à une certaine quantité de ferraille et de matériaux favorisant la formation du laitier, est affinée par des oxydes de fer ou par des injections d'air ou d'oxygène qui font disparaître en grande partie les impuretés, le carbone, le soufre, le phosphoreetc.

2.9.4. Effets biologiques et toxicité :

Le fer dans les eaux semble avoir un effet de stimulation sur la croissance algale vis à vis des poissons, la toxicité du fer dépend du pH et est reliée au dépôt d'hydroxyde ferrique sur les branchies.

Vis à vis des organismes inférieurs et microorganismes, la limite de toxicité est considérablement plus élevée et dans le plus défavorable des cas est de l'ordre de 80 mg/L.

Selon Chernyev (*in* Levesque., 1975), le fer à une concentration de 0.52 mg/L cause la mort d'œufs de poissons incubés. Celle-ci résulterait d'une précipitation du fer sous forme d'oxydes sur la membrane de l'œuf.

Le fer est un oligo-élément indispensable à la vie et, de ce fait, il est indispensable dans le régime alimentaire de l'homme et des mammifères ;néanmoins sa présence en trop forte concentration dans l'eau ,si elle ne présente pas de problèmes de toxicité entraîne divers inconvénient : goût et odeur désagréable et plus particulièrement dans les systèmes de distribution d'eau, des dépôts dans les canalisations favorisant le développement de bactéries filamenteuses dont leur présence peut être gênante dans certaines eaux à usage industriel et dans bien des cas un prétraitement de l'eau devra être impliqué afin d'éliminer le fer .

3. Le devenir des métaux lourds, cas des organismes aquatiques :

3.1. Bioaccumulation :

C'est le phénomène par lequel une substance présente dans un biotope pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire si elle est toxique pour ce dernier (F.Ramade., 1999). Si on parle de métaux lourds; c'est un processus d'assimilation et de concentration de ces derniers dans l'organisme. Ce processus se déroule en trois temps :

- L'assimilation.
- La bioaccumulation par l'individu ou « bioconcentration »,
- La bioamplification entre individus ce qu'on appelle « biomagnification».

3.1.1. Assimilation :

Il existe deux voies principales d'exposition aux polluants : la voie externe, par contact direct et qui provoque un phénomène d'adsorption (la substance toxique reste à la surface) et la voie interne par *assimilation* ou absorption.

Il est à noter que la *bioaccumulation* concerne tous les métaux lourds en général mais plus particulièrement le mercure lorsqu'il est présent sous forme organique (méthyl-mercure) qui est sa forme la plus toxique.

3.1.2. Bioaccumulation :

C'est le phénomène par lequel des êtres vivants absorbent des substances naturellement présentes dans leurs biotope ou polluantes et les accumulent dans leurs organismes à des concentrations supérieures à celles auxquelles elles se rencontrent dans le milieu naturel. Le phénomène de bioaccumulation concernent divers éléments, qu'ils s'agissent de métaux ou de métalloïdes, qu'ils y aient ou non polluants de l'environnement .Il est fréquent aussi pour de nombreux corps simples qu'ils soient ou non biogènes.

3.1.3. Bioamplification :

C'est le phénomène par lequel une substance naturelle, ou un contaminant présent dans un biotope connaît un accroissement de sa concentration au fur et à mesure qu'il circule vers les maillons supérieurs d'un réseau trophique. Cela se produit lorsque le facteur de transfert dans la chaîne trophique Ft du polluant considéré est de valeur supérieure à 1.

Les termes de transfert et d'accumulation sont fortement liés. Le premier représente un changement d'état du second. Les transferts représentent le flux de contaminants entre les différents compartiments de la chaîne trophique et l'accumulation représente la quantité stockée dans chacun des compartiments.

3.1.4. Classification de quelques organismes aquatiques en fonction de la bioconcentration :

Les espèces aquatiques sont classées également selon leur capacité à concentrer les métaux lourds .Par exemple en premier lieu les fruits de mer, mollusques et crustacés, et dans une moindre mesure certains poissons sont d'excellents capteurs de polluants, tandis que le FBC dans les plantes varie de 0.01 à 1 pour le mercure, et dans les poissons il est de l'ordre de plusieurs milliers, voire de plusieurs dizaines pour les mollusques et les invertébrés.

Aussi les concentrations de Cd et de Pb chez les poissons sont de deux à dix fois inférieures à celles des mollusques et crustacés mais concentrent beaucoup de Hg.

Le tableau ci-dessous donne une indication de l'importance de la bioconcentration des métaux lourds de quelques espèces aquatiques.

Tableau 6 : l'importance de la bioconcentration de quelques métaux lourds chez certaines espèces aquatiques - Source : (WWW.INERIS / AFSSA / CNRS, 2005) -

Métal / espèces	Cadmium	Plomb	Mercure
Plantes aquatiques	Faible	Faible	Faible
Invertébrés	Moyenne à forte	Moyenne	Moyenne à forte
Vers	Moyenne	Moyenne	Moyenne à forte
Mollusques	Moyenne	Moyenne	Moyenne à forte
Crustacés	Forte	Moyenne	Moyenne à très forte
Les Moules	Forte	Forte	Moyenne
Huîtres	Très Forte	Moyenne	Faible
Poissons	Faible	Faible	Moyenne à forte
Hareng / Sardine	Faible	Faible	Faible
Plie / sole	Faible	Faible	Moyenne
Bar / roussette	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Espadon / thon	Moyenne	Moyenne	Forte

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

1. Description du site d'étude :

Les lacs Mellah, Oubeira et Tonga qui font l'objet de notre travail se singularisent par la pérennité de leurs plans d'eau qui persistent au plus fort de la saison sèche. Ce sont des écosystèmes aquatiques qui appartiennent à un ensemble biogéographique, exceptionnel par sa diversité biologique, qu'on appelle « **Région d'El-Kala** ».

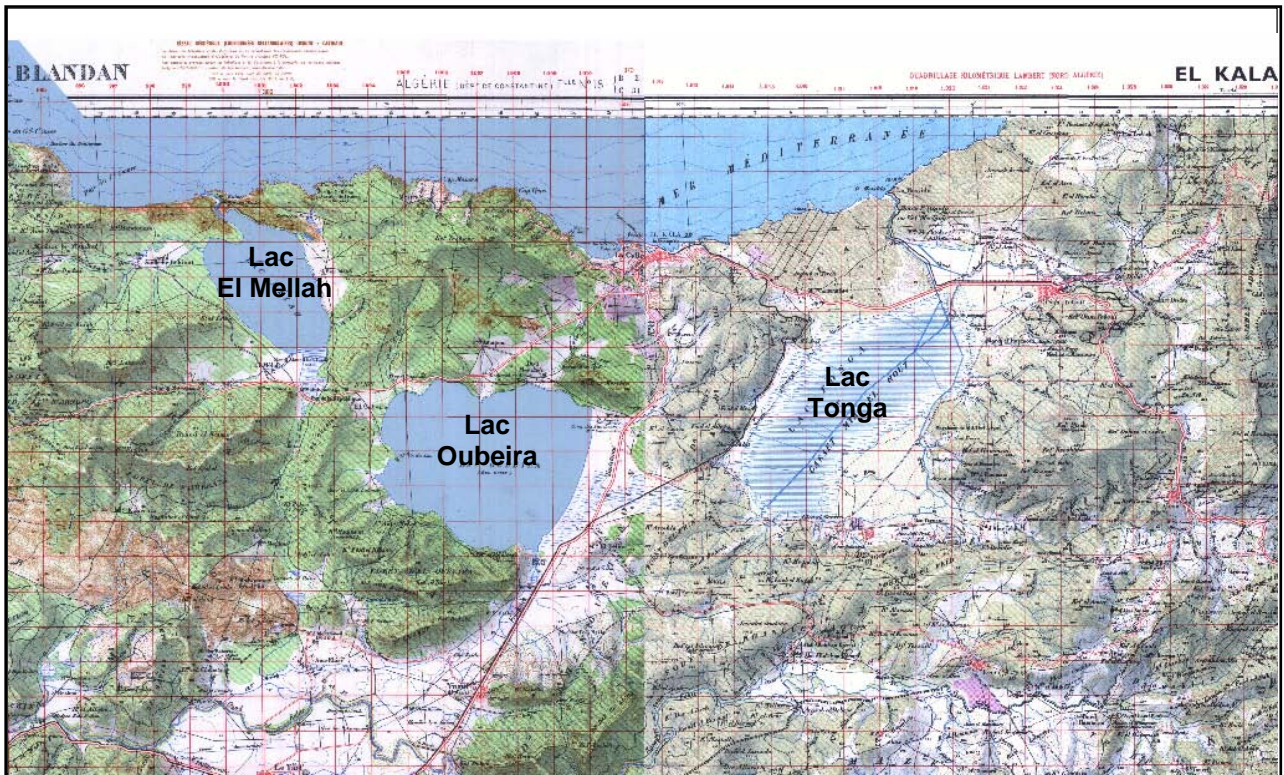


Figure 1 : Carte de situation des lacs Tonga, Oubeira et El Mellah (BNEDER 2004, modifiée)

1.1. Lac El-Mellah et son bassin versant :

Le lac Mellah est une lagune côtière située à 9 km à l'ouest d'El Kala et 48 km à l'est d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre du plan d'eau sont 36° 53' 565 Nord – 8° 19' 560 Est.

C'est une ancienne vallée fluviale envahie par la mer et qui s'est transformée en lagune, reliée à la mer par un chenal de 900 mètres de long. Sa profondeur maximale est de 6 m pour une profondeur moyenne de 2,5 m et une superficie totale de 860 ha. Le lac Mellah est alimenté par l'Oued El-Aroug, Oued Mellah et Oued R'Guibet.

Le bassin versant du lac Mellah s'étend sur une superficie de 8 250 hectares soit 82,5 km². Le plan d'eau du lac représente le un dixième (1/10) de la surface totale.

Le bassin versant est limité à l'ouest par de petits chaînons montagneux (kef Karussa 247 m, djebel Koursi 329 m, djebel BeZeze 309 m, kef Fegaia 325 m), leurs versants exposés au nord-est sont entaillés par une multitude de talwegs qui donnent naissance à deux des trois principaux oueds du bassin versant, l'oued Reguibet et l'oued Mellah.

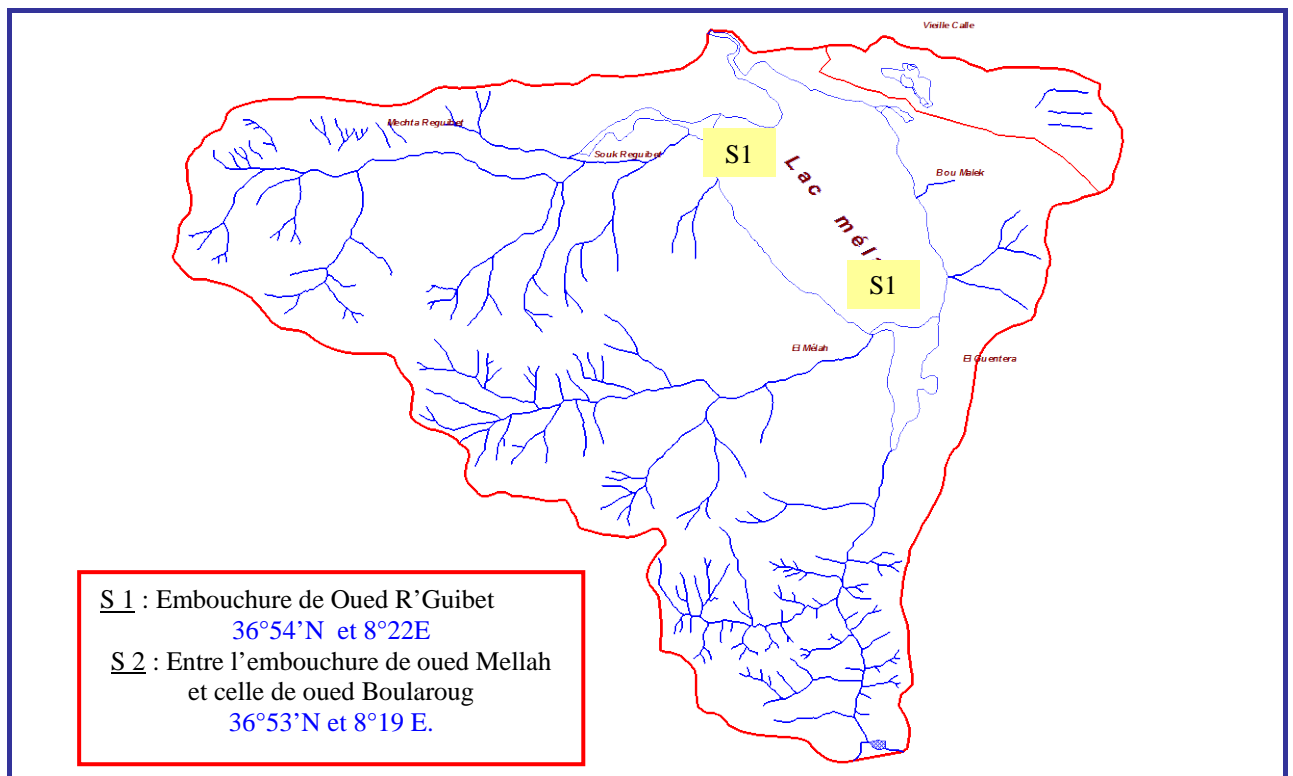


Figure 2 : Réseau hydrographique du lac Mellah (BNEDER 2004, modifiée)
et localisation des stations de prélèvement

La carte d'occupation des sols montre que la couverture végétale naturelle est dominante 6533 ha ce qui représente 78 % de la superficie du BV (fig. 3).

La superficie de terres agricoles est voisine de 734 hectares, ce qui représente en valeur absolue, 9 % de la superficie du BV.

Les maquis qui forment la fraction dominante de la couverture végétale naturelle occupent une superficie de 3866 hectares.

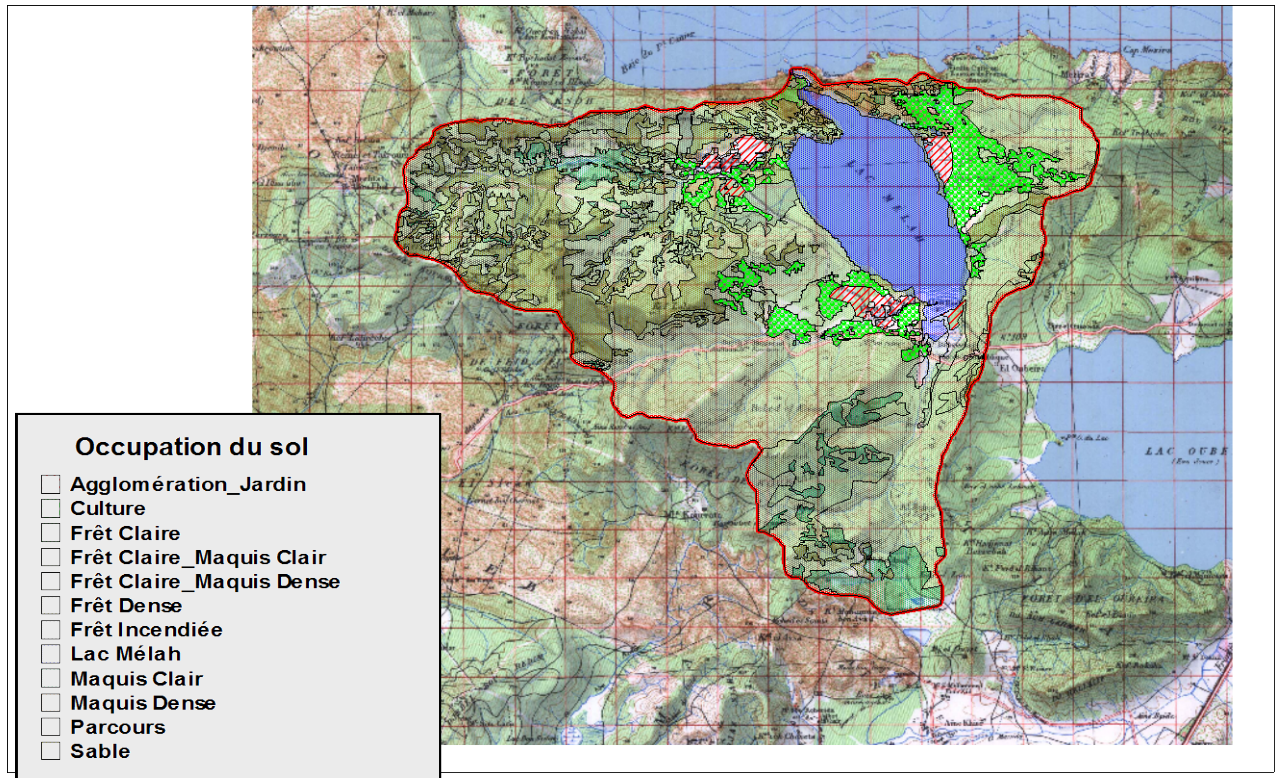


Figure 3 : Occupation du bassin versant du lac Mellah. (BNEDER 2004).

L'activité pastorale s'articule principalement autour de l'élevage bovin mené en extensif. Le nombre élevé de bovin, mais aussi des ovins se traduit par une pression sur les ressources végétales naturelles.

La population du BV du Mellah représente le 1/10 de la population totale de la commune d'El Kala. La densité est de 36 habitants/ km².

Les rejets essentiellement des eaux usées domestiques ont pour destination finale l'exutoire. Le réseau hydrographique et les eaux souterraines qui rejoignent en dernier lieu le plan d'eau du lac.

La faune malacologique de la lagune est représentée par neuf espèces de coquillages autochtones : cinq bivalves et quatre gastéropodes. La richesse maximum (9 espèces) est enregistrée au Nord de la lagune.

Parmi les bivalves peuplant la lagune El-Mellah, nous avons choisit la palourde *Ruditapes decussatus*.

La faune ichthyologique de la lagune El-Mellah est composée de vingt deux espèces de poissons dont quatre poissons présentent un intérêt halieutique certain pour la lagune. Il s'agit du mulot doré *Liza aurata*, du mulot commun *Mugil cephalus*, de la daurade *Sparus aurata* et du loup *Dicentrarchus labrax*.

I.2 . Lac Oubeira et son bassin versant :

Le lac Oubeira est plan d'eau douce de moins de 6 m de profondeur, situé à 5 km au sud-ouest d'El-Kala et 54 km à l'est d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre du plan d'eau sont 36° 50' 695 Nord – 8° 23' 272 Est. Il est distant de 2,3 km du lac Mellah qui se trouve au nord ouest.

C'est un site de 2200 ha, profond de 4 mètres au maximum. Il s'inscrit dans un quadrilatère de 5 x 4 km et développe 19 km de rives.

Il est alimenté par quatre cours d'eau importants : l'oued Demet Rihana au nord, l'oued Boumerchène au Nord-Est, l'oued dey El Garâa à l'est et l'oued Messida au Sud.

En hiver, à l'occasion des fortes précipitations, les eaux de l'Oued El-Kebir parviennent au lac principalement par l'oued Messida. En été, quand le niveau de l'oued El-Kebir est au plus bas, le système hydrologique fonctionne en sens inverse, l'oued Messida ayant cette singularité de couler dans les deux sens selon la crue ou l'étiage.

Le bassin versant du lac Oubeira, d'une superficie de 12500 ha, fait partie de la zone lacustre d'El-Kala.

Sa limite nord s'étend d'est en ouest de l'altitude 170 m à 182 m. Cette ligne de crête, légèrement sinueuse où culmine le kef Trébiche à 256 mètres marque la limite avec le BV du Mellah.

La bordure Ouest du bassin versant progresse vers le sud en longeant les sommets du Djebel Oubeira (100 m) jusqu'au voisinage de fedj Zana (91 m) avant d'être relayés dans la partie Sud par les Djebels Ach Lahmar (138 m) et Hellilif (189 m) qui constituent les flancs ouest de l'oued Messida.

A l'est, le bassin versant est formé d'une bordure plane qui s'étale au pied du Djebel Bou Merchène (184 m) au Nord-est.

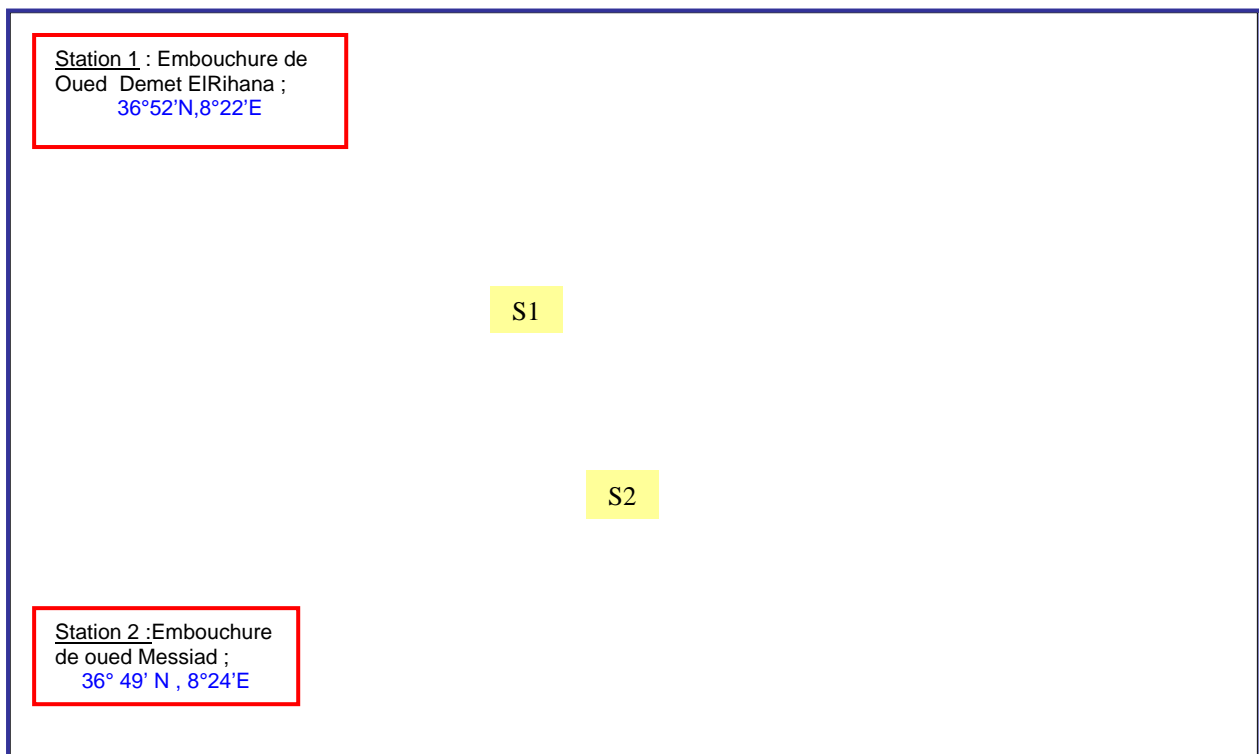


Figure 4 : Réseau hydrographique du lac Oubeira (BNEDER 2004, modifiée) et localisation des stations de prélèvement

La couverture végétale naturelle assimilée au domaine forestier s'étend sur une superficie de 7 123 ha soit de 73% de la superficie du BV. Des disparités importantes apparaissent d'un endroit à un autre. Les forêts de Khanguet Aoun, celle d'El-Kala, celle d'El Oubeira et celle d'El Frin présentent une densité de boisement appréciable de 26% ,alors que la couverture forestière est de 15% au nord du bassin versant.

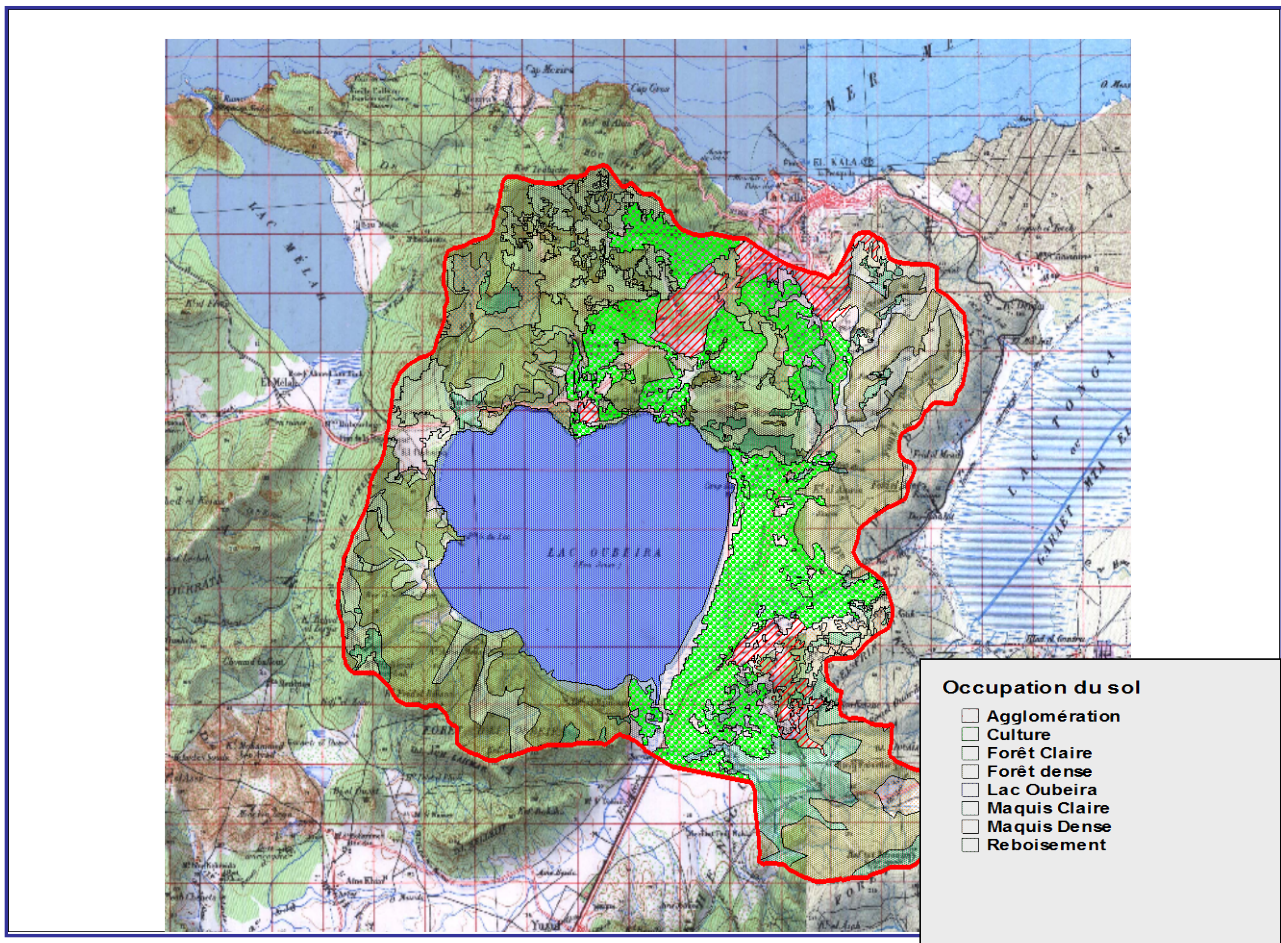


Figure 5 : Occupation du sol du bassin versant du lac Oubeira (BNEDER 2004).

Il y a une nette régression des forêts et maquis denses. Depuis quatre décennies les formations qui ont subsisté dans le bassin versant de l'Oubeira ont considérablement diminué sous la pression d'une population riveraine en extension. Les défrichements et les incendies de forêts sont perpétrés pour disposer de nouvelles terres à cultiver.

L'intensification du parcours en forêt complique la situation en ne laissant aucune chance de régénération aux massifs qui ont été touchés.

Aujourd'hui, les formations arborescentes homogènes (forêt naturelle et reboisement) ne représentent plus que 50 % de l'ensemble du domaine forestier du bassin versant.

La densité de la population du BV est de 135 habitants par km². La population d'El Frin, s'est accrue de 17,30% entre 1998 et 2000 ; elle représente 30 % de la population totale du bassin versant et Meridima, représente 24 % de la population totale du bassin versant.

A Meridima, les habitations sont raccordées au réseau d'AEP et au réseau d'assainissement qui rejette les eaux usées collectées dans l'oued Boumerchen et en fin de course dans le lac.

Six espèces de poissons peuplent le lac Oubeira, trois espèces allochtones (*Carassin Carassius carassius*, Carpe commune *Cyprinus carpio*, Carpe miroir *Cyprinus carpio*) et trois espèces autochtones (Barbeau *Barbus callensis*, Mulet *Liza ramada*, Anguille *Anguilla anguilla*).

La faune benthique du lac Oubeira se caractérise par la présence d'une seule espèce de mollusque bivalve autochtone, qui peut atteindre 15.1 cm de diamètre, abondante mais sans intérêt économique l'anodonte *Anodonta sp.*

I.3.Lac Tonga et son bassin versant :

C'est une zone marécageuse qui prend, par endroit, en hiver, les formes d'un étang d'eau douce et, en été, celles d'un marécage. Il occupe une vaste dépression côtière d'une superficie de 2200 ha Il est situé à 5 km au sud-est d'El-Kala et à 65 d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 51' 511 Nord – 8° 30' 100 Est.

Il est limité à l'ouest et au sud - est par les contreforts des monts de la Kroumirie, au nord-ouest par des collines sableuses qui le séparent du lac Oubeira et au Nord par les dunes qui le séparent de la mer.. Son bassin versant est plus important que celui de l'Oubeira, il s'étend sur 165 Km² (16 390 ha).

En pleine eau, sa superficie est égale à 2300 ha. Elle est sensiblement réduite en été du fait de l'évaporation. Les zones exondées sont localisées à l'ouest et à l'ensemble de la partie sud du lac. Son altitude moyenne est 2,20 mètres. D'une profondeur moyenne de 1 à 1.5 m, et relié à la mer par le canal de Messida.

Il se distingue par la présence d'îlots flottants colonisés par des saules et de grandes plages d'eau libre occupées partiellement par le nénuphar blanc. C'est la plus importante zone de nidification d'Afrique du nord. C'est une zone humide d'importance internationale inscrite sur la liste RAMSAR et une réserve intégrale du Parc National d'El-Kala.

Le lac Tonga est à l'origine, avant les tentatives d'assèchement entreprises dès la fin du XIX siècle, le réceptacle des eaux de deux importants cours d'eau, l'oued El-Hout dont le réseau hydrographique s'étend au sud puis à l'est et l'oued El-Eurg qui draine le nord-est et à l'est. Son émissaire, le canal de la Messida, a été rectifié pour drainer les eaux du lac vers la mer.

Aujourd'hui, il ne reçoit plus les eaux de l'oued El-Eurg canalisées directement vers le canal de la Messida. Le plan d'eau du lac joue un rôle important dans la maîtrise des crues en période hivernale, comme il retient les sédiments arrachés en amont qui participent à son comblement.

Le bassin versant du lac Tonga, est situé à l'extrême Est de la wilaya où il fait frontière avec la Tunisie. Il s'étend sur 16 390 ha. Son altitude moyenne est comprise entre 10 et 550 m et croît d'est en ouest, elle culmine à 562 m au Kef El Hammam. Son plan d'eau de 2300 ha, (12% de l'ensemble), est le réceptacle de deux oueds qui ont édifié les cônes de déjection fertiles qui forment les plaines de Oued El Hout (225 ha) et de Oum Teboul (200 ha).

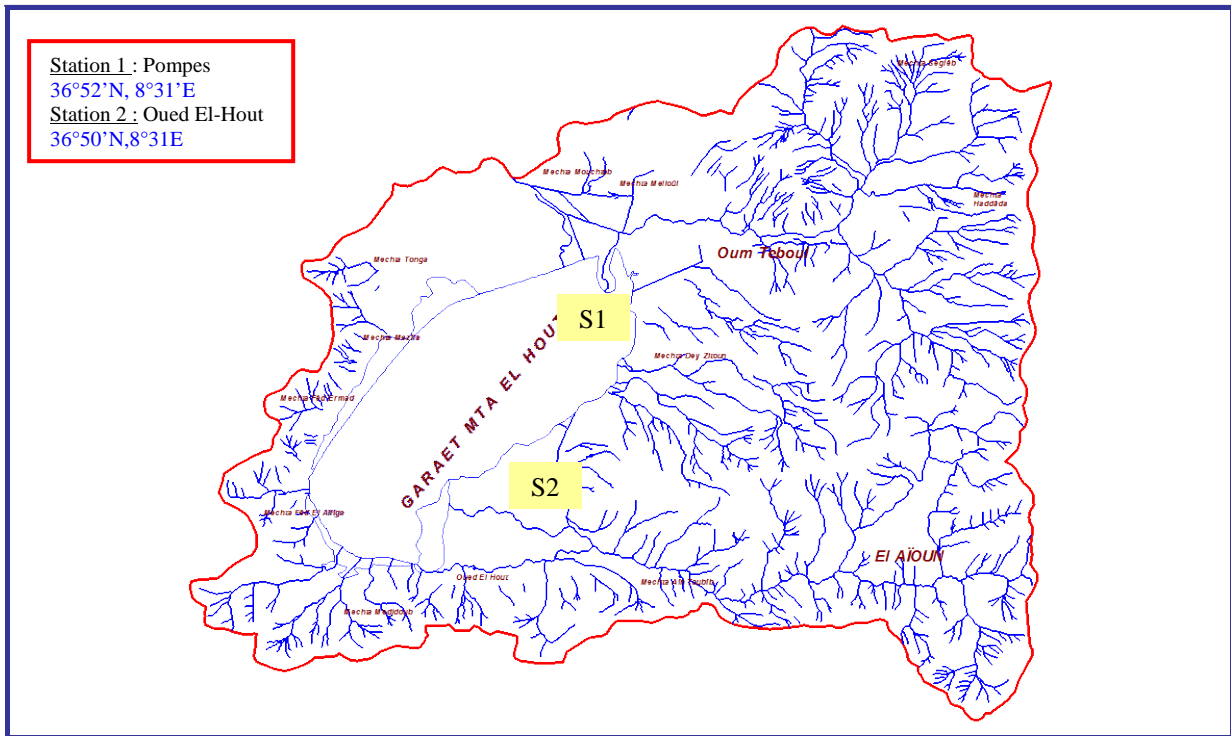


Figure 6 : Réseau hydrique du lac Tonga. (BNEDER 2004, modifiée) et localisation des stations de prélèvement

Les formations forestières occupent une superficie de 10354 ha, soit 63 % de la superficie totale. Elles sont favorisées par les fortes pentes du bassin versant. Les forêts denses se localisent sur le versant de djebel Haddada, kef El Hammam et une partie de kef Oum Tebou ou elles occupent une superficie de 3982 ha, soit 38.5% de la superficie totale des formations forestières, et 24% de la surface totale du bassin versant.

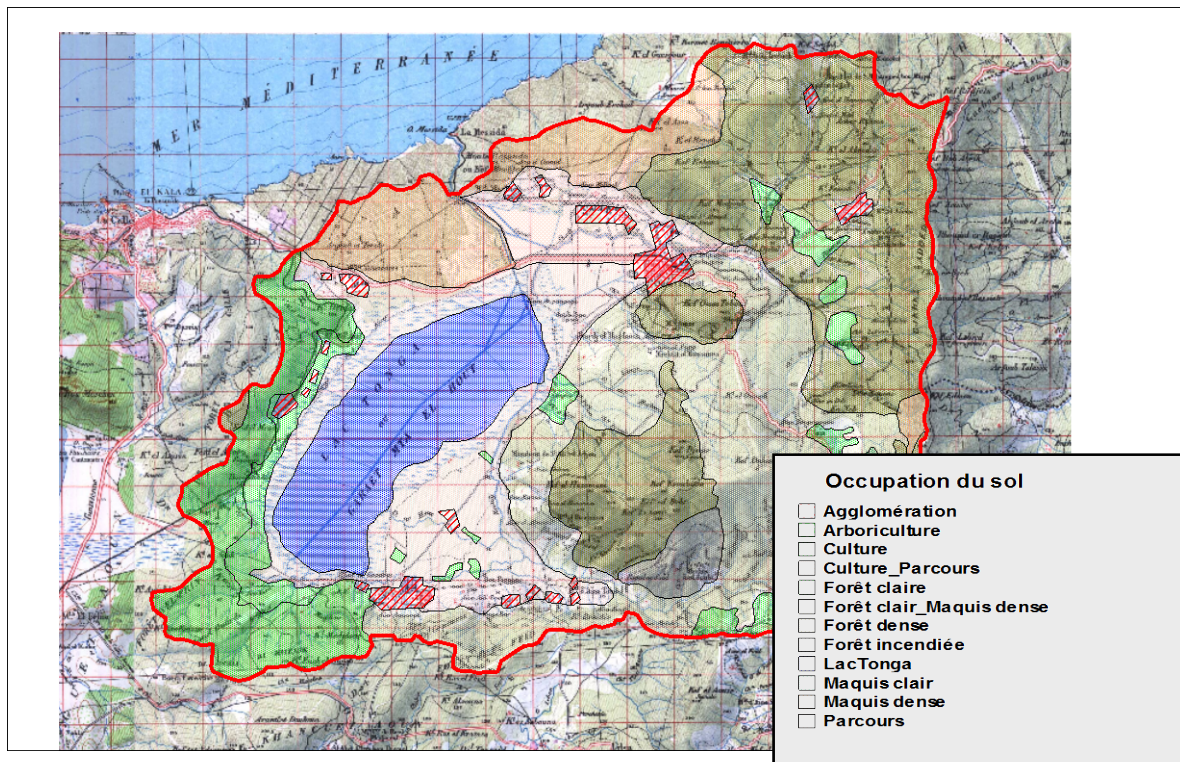


Figure 7 : Occupation du sol du bassin versant du lac Tonga. (BNEDER 2004)

Les terres agricoles occupent 12.5 % de la surface totale du bassin versant et s'étendent sur une superficie de 2059 ha. Elles sont constituées par les parcelles de terres travaillées par les riverains, mais de plus en plus laissées en jachère.

La tendance significative est l'évolution régressive des forêts denses qui sont passées de 5660 ha à 3982 ha, soit une différence de 1678 ha. Elle a pour origine les incendies de forêts, le défrichement et le surpâturage.

Le bassin versant est une zone de pâturage très convoitée par les éleveurs. En revanche, Les superficies mises en culture ont diminué de 2498 hectares depuis 1979. Cette différence est à mettre sur le compte de l'abandon de certaines cultures et de l'extension de la pratique de la jachère au profit de l'élevage.

La population du BV compte 13 843 habitants. 63 %.(8740 habitants) résident dans les chef-lieu de communes. 19% (2610 habitants) dans les agglomérations secondaires et 18 % (2493 habitants) en zones rurale éparses.

Le réseau d'assainissement, peu développé dans le bassin versant du lac Tonga, ne concerne en fait que les agglomérations chef-lieu et les agglomérations secondaires. Les rejets se font dans le milieu naturel et rejoignent le plan d'eau du lac Tonga. En zone éparses, les douars et mechtas utilisent des fosses septiques (de dimensions 2,40m x 2,20m x 1,20m).

Les bassins versants des trois lacs montrent une couverture forestière importante, cette zone du relief est en relation avec la nature de la couverture sédimentaire dominée par des grès et argiles facilement altérable sous les conditions de température et d'humidité (BELAIR G.,1990)

La formation forestière de bassins versants du lac Tonga est liée à la présence d'un substratum géologique d'origine acide(Benslama.,1993,).

Parmi les espèces recensées dans le lac Tonga, on cite le Barbeau *Barbus callensis*, la Gambusie *Gambusia affinis* et l'Anguille *Anguilla anguilla*.

2. Echantillonnage :

L'échantillonnage réalisé dans les courants de l'année 2006 a été effectué au niveau de deux stations par lac (fig. 2, 4, 6). Dans chaque station nous avons effectué 3 prélèvements d'eau et de sédiment par saison.

En ce qui concerne les organismes aquatiques il a été procédé, à la récolte de la palourde au lac El-Mellah, l'anodonte au niveau du lac Oubeira et les anguilles au niveau du lac Tonga.

Les prélèvements de ces organismes ont été réalisés durant deux périodes de l'année 2006 (en période estivale et hivernale).

Nom du 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>Eau</u> : saumâtre <u>Sédiment</u> : Sable pur <u>Organisme aquatique</u> : Palourde/ bivalve	Eau : 3 / saison Sédiment : 3 / saison OA : 2 fois/ans
Station 2	Entre Oued Boularoug et Oued Mellah	Sud du lac El Mellah	<u>Eau</u> : saumâtre <u>Sédiment</u> : Sable légèrement envasé <u>Organisme aquatique</u> : Palourde / bivalve	Eau : 3 / saison Sédiment : 3 / saison OA : 2 fois /ans
LAC TONGA				
Station 1	Les pompes	Nord du lac Tonga	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : Vaseux <u>Organisme aquatique</u> : Poisson /Anguille	Eau : 3 / saison Sédiment : 3 / saison OA : 2 fois /ans
Station 2	Oued El-Hout	Sud-est du lac Tonga	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : Vase légèrement sableuse <u>Organisme aquatique</u> : Poisson/Anguille	Eau : 3 / saison Sédiment : 3 / saison OA : 2 fois /ans
LAC OUBEIRA				
Station 1	Embouchure de Demet Rihana	Nord du lac Oubeira	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : Vaseux <u>Organisme aquatique</u> : Anodonte/bivalve	Eau : 3 / saison Sédiment : 3 / saison OA : 2 fois /ans
Station 2	Embouchure de Oued Messida	Sud est du lac Oubeira	<u>Eau</u> : douce <u>Sédiment</u> : Vase Sableuse <u>Organisme aquatique</u> : Anodonte /bivalve.	Eau : 3 / saison Sédiment : 3 / saison OA : 2 fois /ans

OA : organisme aquatique, localisation des stations : voir carte hydrographique modifiée de chaque site (chapitre II)

3. Mode de prélèvement et le traitement des échantillons :

3.1. Mode de prélèvement de l'eau :

L'eau est prélevée dans des bouteilles en verre ou en poly-éthylène décontaminés. Au moment des prélèvements les bouteilles seront de nouveaux rincés trois fois avec de l'eau de la station de prélèvement puis remplis jusqu'au bord, en évitant l'introduction de bulles d'air.

3.2. Traitement de l'échantillon d'eau :

Les métaux lourds dans les eaux naturelles se trouvent à des concentrations supposées faible, d'où la nécessité de les concentrer afin de pouvoir les détecter par spectrophotométrie d'absorption atomique (Selon A.Aminot, 1982 et J.Rodier, 1998).

3.3. Mode de prélèvement du Sédiment :

Les prélèvements des échantillons de sédiments superficiels ont été effectués à l'aide d'une benne à main ou un seau en polyéthylène, en utilisant un couvercle afin d'éviter le lessivage par les eaux de la partie supérieure.

Les prélèvements des sédiments de surface ont été effectués sur la couche superficielle en deux à trois points espacés de 6 mètres, sous différentes épaisseurs d'eau ; Max à 1 mètre de profondeur.

Le sédiment est recueillis dans des sachets en plastique et brassés jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène ; ces sachets sont ensuite conservés depuis le prélèvement jusqu'au laboratoire, dans une glacière à T° : 4° C, puis congelés.

3.4. Traitement du sédiment :

Différentes procédures de digestion d'un sédiment sont décrites dans la littérature, parmi ces procédures, la digestion humide et la calcination sèche qui sont des techniques soit effectuées seules ou en combinaison. La digestion humide fait appel, le plus souvent, soit à deux acides forts et oxydants (acide nitrique et/ou acide sulfurique) dans des proportions bien définie, soit à l'eau régale qui est un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique suivi d'un chauffage (P.Marcet et al.,1997).

- ▶ **Phase prés-analytique** : après décongélation, le sédiment est soumis à une phase pré analytique qui consiste à un séchage et un tamisage (Fig.8):

-Séchage : le sédiments décongelé est transvasé dans des béchers borrosélicatés de 250 ml et séchés dans une étuve à une température de 105°C pendant 6h à 8h.

-Tamisage: après refroidissement du sédiment, les échantillons sont broyés manuellement dans un mortier en porcelaine afin de les réduire en particules fines, puis tamisés avec un tamis de 63mili micron. C'est dans cette fraction que la digestion sera effectuée.

- ▶ **Phase analytique** : Pour être analysé, le sédiment fin est mis en solution par digestion acide, selon le mode opératoire suivant :

- Peser exactement une masse de sédiment sec de l'ordre de 5g dans un Becher de 100ml.
- Mouillez avec 70 ml d'eau bi distillée.
- Ajouter 5ml d'acide chlorhydrique, opérer avec précaution (bouillonnement; projection)
- Ajouter 25ml d'acide nitrique (HNO₃) concentré.
- Couvrir et porter à ébullition douce sur un bain de sable pendant 15 à 24h et veiller à ce que la solution ne s'assèche pas. Rajouter éventuellement de l'acide nitrique et réduire le chauffage.
- Laisser refroidir et reprendre le chauffage en ajoutant quelques gouttes d'HCl 1mol/l
- Chauffer au bain de sable pendant une demi heure avec homogénéisation toutes les 5min.

- Centrifuger avec précaution après avoir récupéré l'eau bi distillée servant au rinçage du récipient de digestion.
- Recueillir le surnageant dans une éprouvette jaugée de 100ml.
- Ajouter 1ml de solution de lanthane.
- Ajuster à 100ml par l'HCl (1mol/l).
- La solution obtenue est prête pour analyse par le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA).

► Calcul de la concentration métallique en mg / kg de poids sec :

La concentration de l'élément métallique (Cm) dans le sédiment est obtenue par la formule de Joanny et *al.*, (1983).

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

Cm : concentration du métal en mg/kg de poids sec de sédiment.

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

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

M : Masse du sédiment minéralisé (Kg).

3.5. Mode de Prélèvement des bivalves et des anguilles :

Les organismes vivants collectés au niveau de chaque site sont mis dans des sachets en plastique de préférence en poly-éthylène, sur lesquelles sont collées des étiquettes portant les informations relatives au site, station et date d'échantillonnage. Les sachets sont placés dans une glacière à 4°C. Dès notre arrivée au laboratoire l'échantillon est déposé dans un congélateur en vue de son analyse ultérieure (Charlou et al ; 1983).

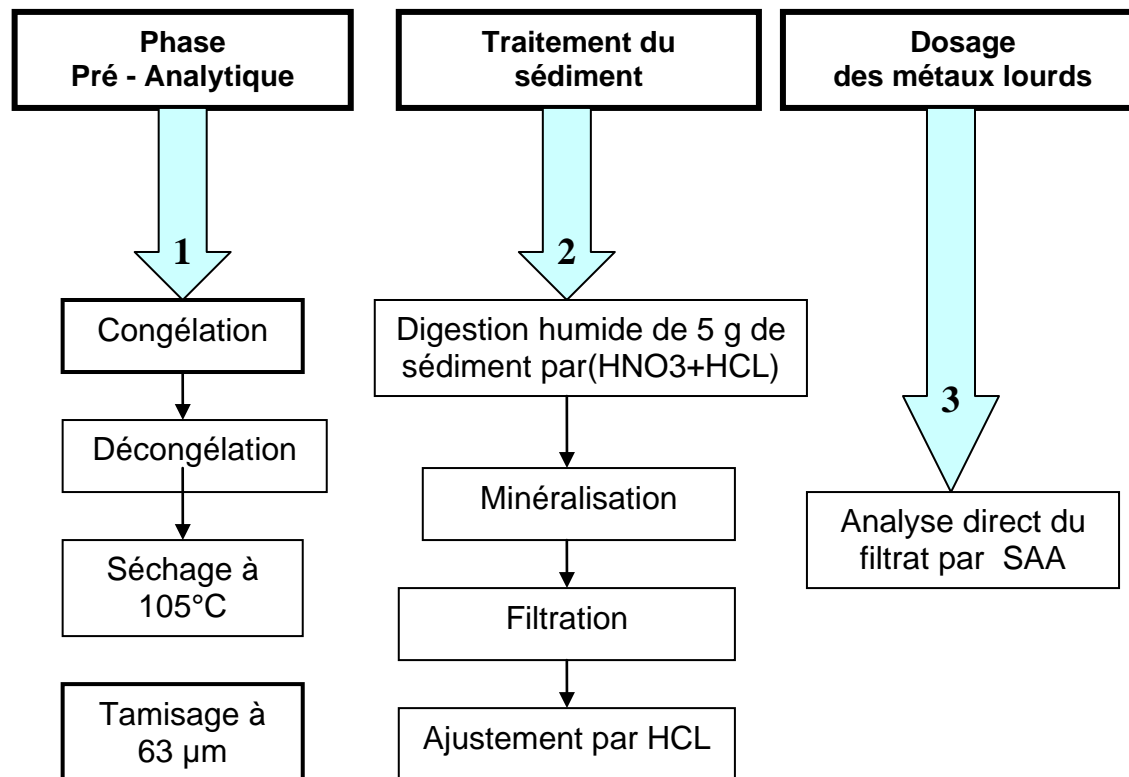


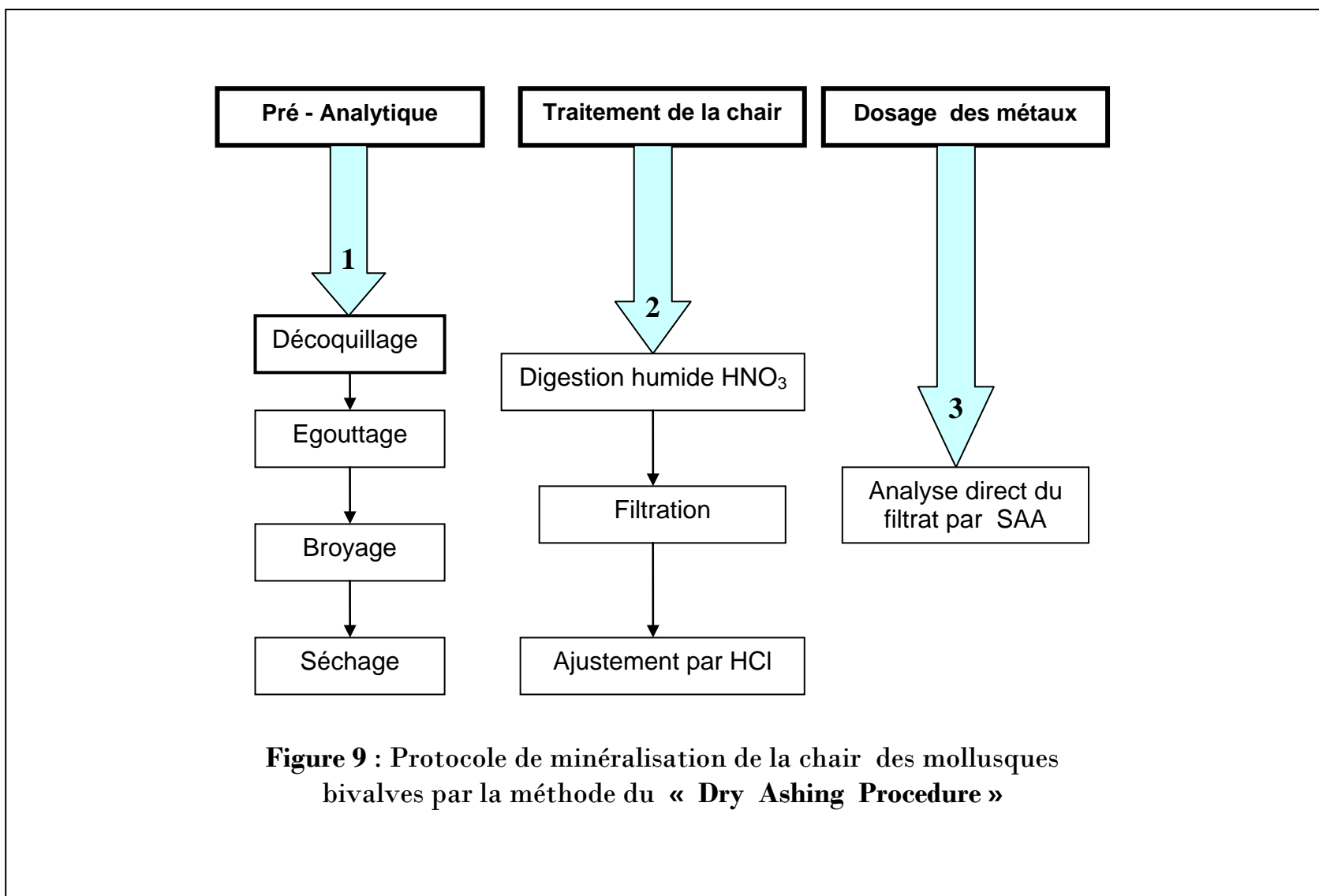
Figure 8 : Protocole de digestion du sédiment

3.6. Traitement de la chair des bivalves et du foie des anguilles par la méthode du « Dry Ashing Procédure » (fig.9) :

- Les mollusques sont décoquillés dans un laboratoire où n'est menée aucune activité contaminante, avec des gants en polyéthylène. Le décoquillage est fait à l'aide d'un scalpel en acier inoxydable propre en évitant d'endommager le mollusque.
- La chair obtenue est mise dans un entonnoir pendant 30 minutes, pendant cette phase d'égouttage, la chair est protégée des contaminations par le milieu ambiant à l'aide d'une feuille d'aluminium qui recouvre l'entonnoir.
- La chair égouttée est mise dans des mortiers en porcelaine ensuite broyée et homogénéisée à la main par un pied dur en inox.
- Les trois étapes précédentes (décoquillage, broyage et égouttage) concernent uniquement la chair des bivalves.
- En ce qui concerne le poisson nous procédons à son éviscération afin de pouvoir récupérer le foie en vue de sa minéralisation.
- Les étapes ci-dessous (séchage et minéralisation) concernent la chair des bivalves et le foie des anguilles.
 - ▶ Séchage : Avant tout il est recommandé de peser le mortier quand il est vide, après on pèse le mortier contenant la chair (par un simple calcul on a le « P1 » qui est poids frais de la chair) avant d'être séché à l'étuve à 60°C. Les piluliers sont pesés chaque fin de journée afin d'avoir le poids sec, quand le poids se stabilise on arrête le séchage et on a le « P2 », Poids sec de la chair. C'est sur cette masse sèche que la digestion humide ou la minéralisation se réalise comme suit :
 - ▶ Digestion humide ou Minéralisation : La chair séchée est mise dans un tube à essai dans lequel on ajoute quelque ml d'acide nitrique concentré à 67% HNO₃ qui permettront ainsi d'entamer la digestion de la chair qui au bout d'un certain temps va s'éclaircir pour donner par la suite une solution liquide jaunâtre.
 - ▶ Filtration : les solutions obtenues sont filtrées à l'aide d'un papier filtre Wattman 0.45 µm dans des fioles de 50ml. Rincer les tubes de digestion à l'HCl afin de récupérer l'eau rincée. Ensuite ajuster à 50 ml par l'HCl concentré à 37%.
 - ▶ Précaution : la solution est prête pour analyse et les filtrats obtenus sont conservés dans des fioles de préférence en poly-éthylène hermétiquement fermé.
 - ▶ Calcul de la concentration métallique dans la chair en mg/Kg de poids sec :

La concentration de l'élément métallique (Cm) analysé dans la chair du bivalve est obtenue par la formule de Joanny et al., 1983.

$$C_m \text{ (mg /Kg)} = \frac{CE.V}{P2}$$



C_m : concentration du métal en mg/Kg de poids sec de chair
 CE : concentration lue sur la courbe d'étalonnages en mg/ml
 V : volume de la solution finale après digestion en ml
 P₂ : poids sec de la chair en mg.

4 . Analyses statistiques :

4.1. Analyses statistiques univariées :

4.1.1. Description des données :

Pour mieux décrire les différentes variables qui caractérisent les données obtenues pour l'ensemble des stations et des saisons au niveau des trois lacs, nous avons calculé certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique \bar{x} , l'écart type, les valeurs minimales et maximales et l'effectif des données (voir en Annexe) .

4.1.2. L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA) :

La comparaison entre saisons concernant la distribution des teneurs de chaque métal est réalisée à l'aide de l'analyse de la variance à un facteur contrôlé (saison) (P.Dagnellie, 2000)..

- Si $p > 0.05$: il n'existe pas des \neq significatives entre les saisons. NS.
- Si $p \leq 0.05$: il existe des \neq significatives entre les saisons. *
- Si $p \leq 0.01$: il existe des \neq hautement significatives entre les saisons **
- Si $p \leq 0.001$: il existe des \neq très hautement significatives entre les saisons ***

Remarque : Le test d'analyse de la variance (AV1) est suivi par le test de la PPDS dans le cas ou on rejette l'hypothèse de l'AV1. (P.Dagnellie, 2000).

4.1.3. Le test de la PPDS ; Plus Petite Différence Significative :

Il s'agit d'un test de comparaison des moyennes saisonnières 2 à 2 .Soit les deux moyennes testées sont identiques soit elles sont différentes. La différence entre deux moyennes est comparée à une valeur seuil appelée **PPDS** ; Plus Petite Différence Significative.

Supposons que la différence entre deux moyennes est L, la conclusion de la PPDS sera comme suite :

Si : $L \geq PPDS$: RH₀ ; m₁ \neq m₂.

Si : $L < PPDS$: AH₀ ; m₁ = m₂.

Ce test à pour but de déterminer les saisons qui sont identiques concernant la distribution des teneurs en métaux lourds au niveau de chaque station.

Ces deux tests (AV1 et PPDS) sont utilisés dans l'étude de la distribution des teneurs en métaux lourds dans les eaux et les sédiments superficiels où le nombre de prélèvements est assez représentatif. En ce qui concerne la chair il n'y a pas assez de données pour appliquer ces deux test.

5. Valeurs guides requises pour déterminer les niveaux de contamination :

Du fait de la gravité des effets des métaux lourds sur la santé et l'environnement, des réglementations ont été adoptées, à tous niveaux (eaux, sédiment, mollusque bivalves, poissons...etc).



5.1. Les normes de qualité des eaux de surfaces:

La communauté européenne a établie des normes relatives aux teneurs des métaux lourds dans les eaux de surface. Du fait de l'absence des normes algériennes concernant les eaux de surfaces ; nous avons retenues les normes européennes pour évaluer le niveau de contamination des eaux des trois lacs.

Tableau 8 : Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans les eaux de surface en ppm
Directive de la CE pour les eaux de surfaces (in Débièche, 2002)

Métaux lourds	Valeurs guides
Fer	0.2 mg/l
Cuivre	1
Zinc	5
Manganèse	0.05
Plomb	0.05
Nickel	0.05
Chrome	0.05
Cadmium	0.005
Mercuré	0.001

1ppm = 1mg/l

Source : in Débièche., 2002 - Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse obtenue à l'U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté. Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé. Spécialité (Hydrogéologie et Environnement).

5.2. Valeurs guides des teneurs en métaux lourds dans un sédiment :

Tableau 9 : Valeurs guides Françaises des teneurs en métaux lourds dans les sédiments
en mg/Kg de p.s

Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
2000	26	88	400	45	45	22	0.6	0.2

- In BOUST D, (1981) Métaux traces dans l'estuaire de la Seine et ses abords, thèse de 3ème cycle, université de Caen, 187p.

-In BRGM/SGAL (1982) inventaire du degré de pollution des sédiments des cours d'eau, bureau de recherche géologique et minière, service géologique régional ALSACE

Tableau 10 : Valeurs guides algériennes des teneurs en métaux lourds dans les sédiments en
mg/Kg, p.s

Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
5000	150	500	500	75	250	250	1.5	3

Réf - Les valeurs des Recommandations algériennes des services de l'environnement mis dans le journal officiel, 9 novembre 1991 concernant les métaux lourds dans le sédiment.

5.3. Indice de contamination « Ic » pour évaluer le degré de pollution :

L'Agence du Bassin du Rhône (1990) a établi trois classes de pollution en fonction de l'indice de contamination « Ic », qui est le rapport entre la valeur considérée comme normale et celle observée dans le sédiment .

Par exemple, des teneurs en Ni de 50 mg/kg relevées dans le sédiment, l'indice de contamination correspondant sera égale à 1.11 (= 50/45). Le sédiment est de classe normale.

Tableau 11 : Classement du sédiment en fonction de l'Ic.

Indice de contamination	Classement	Interprétations
$Ic < 3$	Classe 1	Zone Normale
$3 \leq Ic < 10$	Classe 2	Zone Polluée
$10 \leq Ic$	Classe 3	Zone à risque

- Si $Ic < 3$: Le sédiment est considéré de classe 1.
- Si $3 \leq Ic < 10$: Le sédiment est considéré de classe 2.
- Si $Ic \geq 10$: Le sédiment est considéré de classe 3.

5.4 .Nomes de qualité de la chair des bivalves :

Tableau 12 : Valeurs guides et normes (en mg/kg de p.s) des teneurs en métaux lourds dans la chair des mollusques bivalves.

Références / Métaux lourds	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
Normes algériennes, 2004	-	-	-	-	-	-	5	5	2.5
Normes OMS ; 2004	-	-	-	-	-	-	10	5	2.5
Normes CEE (Européenne)	-	-	-	-	.	-	7.5	5	5
Valeur guides françaises IFREMER	250	110	6.5	1	6	1.8	1.5	0.5	0.1

1. Normes algériennes : Décret exécutif N°04.189 du 07/ juillet /2004.Ministère de la pêche et des ressources halieutiques – Algérie-

2. Normes de la communauté européenne : Réf : INERIS synthèse établit le 01/03/2006, Rapport d'étude DRC.06.75999 / DESP.R2a.

3. OMS : organisation mondiale de la santé ; 2004.

5.5. Normes des éléments traces métalliques dans les poissons :

Le tableau ci-dessous détaille les teneurs maximales en éléments traces métalliques chez les anguilles.

Tableau 13 : Normes en éléments traces métalliques admises dans les denrées alimentaires d'après le règlement CE/78/2005 établi le 01/03/2006.

Unité : mg/Kg	Cadmium	Mercure	Plomb
Anguille (poids sec)	0.5	5	2

Tableau 14 : Normes en éléments traces métalliques dans les denrées alimentaires d'après le décret exécutif n°04.189 établi le 07/juillet 2004.

Unité : mg/Kg	Cadmium	Mercure	Plomb
Anguilles (poids sec)	0.5	5	2

Remarque : Il n'existe pas des teneurs maximales fixés pour d'autres éléments traces métalliques chez les anguilles.

6. Méthodes d'analyse des métaux lourds :

Les analyses réalisées pour la plupart des éléments métalliques sont effectuées par spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (SAA) de type PERKIN ELMER N°3100 au niveau du laboratoire d'absorption atomique - Département de chimie analytique de la DRA nommée actuellement U.R.A.S.M – El-Hadjar - , Annaba.

Pour le cadmium, son dosage a été réalisé au niveau du laboratoire de contrôle de la qualité au niveau de la Direction de la police scientifique à Alger par spectrophotomètre d'absorption atomique sans flamme (SAA) de type UNICAM N° 929.

C'est uniquement le mercure qui a été analysé par un autre appareil qui est le mercurimètre au niveau du Laboratoire central de l'ENIP -CP1K- à SONATRACHK –Skikda.

CHAPITRE III

Première partie : Résultats « Lac Tonga »

I. Teneurs en métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel du lac Tonga :

1.1. Le fer :

Le fer contenu dans l'eau du lac Tonga est à des teneurs comprises entre 2 et 5,6 ppm ; les valeurs relevées dans les 2 stations sont assez proches. Nous notons toutefois qu'au printemps la teneur double par rapport à la valeur minimale obtenue en hiver ; Mais c'est en période estivale et automnale que les teneurs atteignent les valeurs maximales respectivement dans la station 2 (5,25 ppm) et 1 (5,63 ppm)(fig.10).

Tableau 15: Teneurs en fer relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	2,1	7950	5,173	13000	5,316	15200	5,636	14000
Station 2	2,8	9900	4,726	15000	5,25	17800	4,363	16300
Moyenne	2.45	8925	4.95	14000	5.283	16500	5	15150
Ecart-type	± 0.494	±1378.86	±0.315	±1414.21	±0.047	±3252.69	±0.9	±1626.35

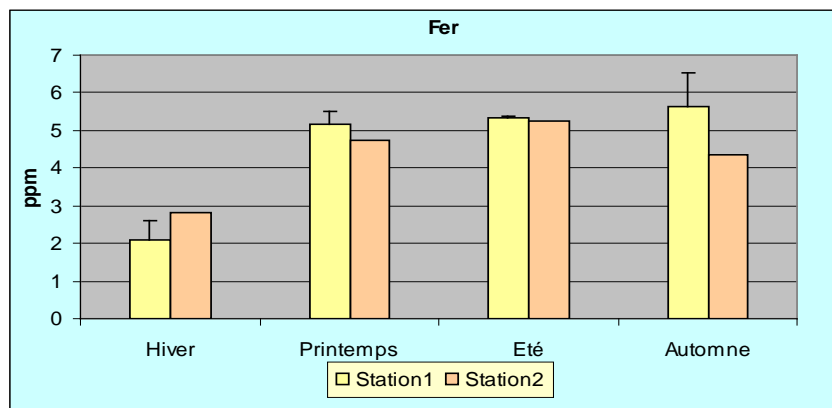


Figure 10 : Distribution spatiotemporelle des teneurs en fer relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Les teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga sont comprises entre 7950 et 17800 mg/kg de p.s. ; Les teneurs en fer relevées dans la station 2 sont un peu plus élevées que celles de la station 1. Nous notons, toutefois, que les variations saisonnières suivent la même évolution dans les 2 stations ; elles sont basses en hiver (7950 et 9900 mg/kg de p.s. respectivement dans la station 1 et 2) puis remontent au printemps pour atteindre le maximum en été (15200 et 17800 mg/kg de p.s. respectivement dans la station 1 et 2) et ensuite se maintenir, en automne, à plus de 14000 mg/kg de p.s. dans les 2 stations (fig.11).

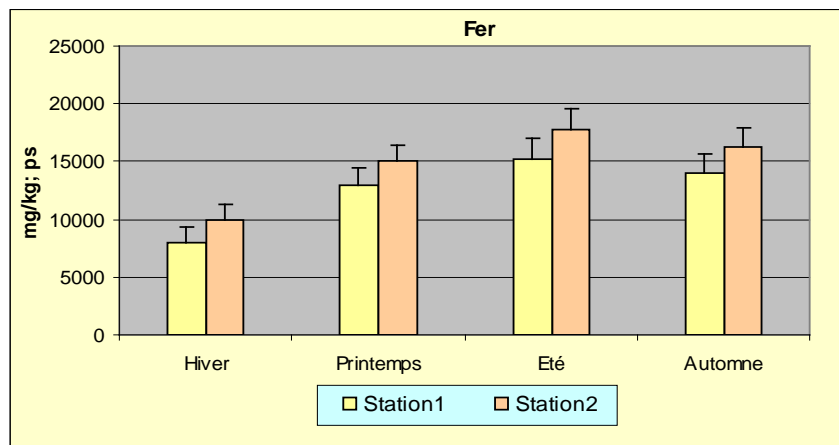


Figure 11: Distribution spatiotemporelle des teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 16 : Résultat de l’AV1 appliquée dans la comparaison entre les saisons concernant la distribution des teneurs en fer.

Fer Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	6.26	9.70	1.12	4.97
P : Probabilité	0.01**	0.005**	0.39 NS	0.03*

Selon la valeur de P résultante de l’AV1, on constate qu’ils existent des différences hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en fer dans les eaux du lac Tonga et cela au niveau des deux stations.

Alors que dans le sédiment superficiel l’AV1 montre qu’il n’y a pas des différences significatives entre les saisons au niveau de la station 1, en revanche il existe des différences significatives entre les saisons au niveau de la station 2 (tab.16).

Tableau 17: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le fer

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>P=E=A, H</u>	<u>P=E=A, H</u>	/	<u>A=P=E, H</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Concernant la distribution des teneurs en fer, la PPDS (tab. 17) affiche que les groupes de saisons identiques sont les mêmes pour l’eau et le sédiment, pour ce dernier et au niveau de la station 1 on n’applique pas ce test car l’AV1, ne montre aucune différence entre les saisons.

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le fer :

La détermination du niveau de la pollution des eaux du lac Tonga par les métaux lourds, est basée sur les normes de la CE concernant les eaux de surface. En revanche le classement du sédiment est basé sur la valeur de l’indice de contamination.

La valeur guide retenue pour le fer dans les eaux de surface	
Fer	0.2 ppm

Les eaux du lac Tonga sont polluées par le fer, du fait que les concentrations relevées par cet élément dans les eaux dépassent la norme admise (0.2ppm), et cela au cours de toute l’année et dans les deux stations.

► Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :

Zone Normale Ic < 3 Classe 1	Zone Polluée 3 < Ic < 10 Classe 2	Zone à risque Ic > 10 Classe 3
------------------------------------	---	--------------------------------------

Interprétation selon l'Agence du Bassin du Rhône

► Calcul de l'indice de contamination (Ic):

$$Ic = \frac{\text{Teneur relevée dans le sédiment (mg/kg ; p.s)}}{\text{Teneur considérée comme normale (mg/kg ; p.s)}}$$

Tableau 18: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le fer dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	7950	13000	15200	14000
Ic de la station 1	3.97	6.5	7.6	7
Station 2	9900	15000	17800	16300
Ic de la station 2	4.95	7.5	8.9	8.15
La valeur guide retenue pour le fer est égale à 2000 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic pour le fer dans le sédiment de chaque station nous a permis de déterminer les différents niveaux de pollution par cet élément, cependant. L'évaluation de l'Ic par le fer dans le sédiment du lac Tonga montre des variations spatiotemporelles. Ces indices de contamination varient de 3.97 à 7.6 et de 4.95 à 8.9 respectivement dans la station 1 et 2 (tab 18). Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été. Du fait que les valeurs des indices relevées dans le lac Tonga soient comprises entre 3 et 10, nous pouvons considérer le lac Tonga comme une zone polluée par le fer.

1-2- Le cuivre :

Tableau 19: Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,09	34,45	0,1	46	0,14	56	0,94	48
Station 2	0,016	19	0,07	18	0,063	34	0,123	23.5
Moyenne	0.053	26.725	0.085	32	0.101	45	0.531	35.75
Ecart-type	±0.051	±10.924	±0.021	±19.799	±0.054	±15.556	±0.577	±17.324

Le cuivre est un élément présent dans l'eau du lac Tonga à des teneurs variant de 0,09 à 0,9 ppm dans la station 1 et de 0,06 à 0,1ppm dans la station 2. Les valeurs maximales sont relevées en automne et représentent 10 fois celles relevées en hiver.

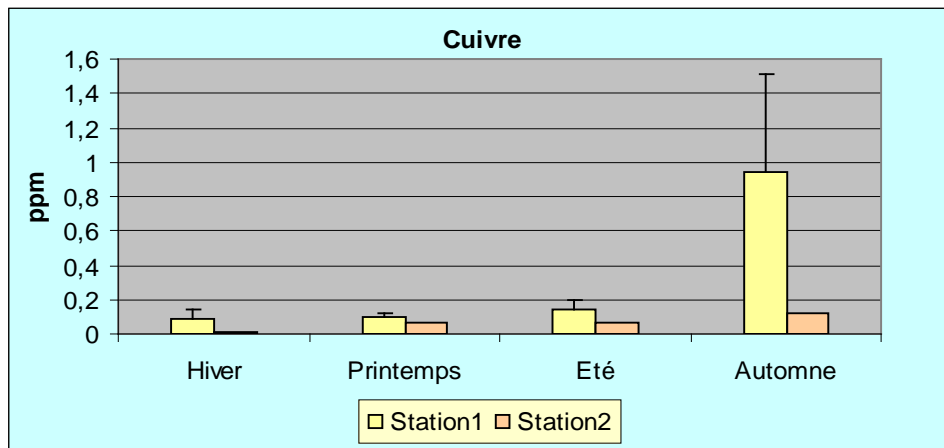


Figure 12 : Distribution spatiotemporelle des concentrations en cuivre relevées dans l’eau superficielle du lac Tonga

Les teneurs en cuivre contenues dans le sédiment superficiel du lac Tonga varient d’une station à l’autre et d’une saison à l’autre. Les teneurs en cuivre varient de 18 à 56 mg/kg de p.s; c’est la station 1 qui montre des teneurs élevées (variant de 34 à 56 mg/kg de p.s. contre 18 à 34 mg/kg de p.s. dans la station 2). En ce qui concerne les saisons, les teneurs évoluent de manière similaire dans les deux stations. La station 1, affiche des teneurs en cuivre minimales en hiver et maximales en été, les valeurs intermédiaires caractérisent le printemps et l’automne. Au niveau de la station 2, les teneurs en cuivre sont très proche en périodes hivernale et printanière et doublent en été et montrent une baisse en automne (fig.13).

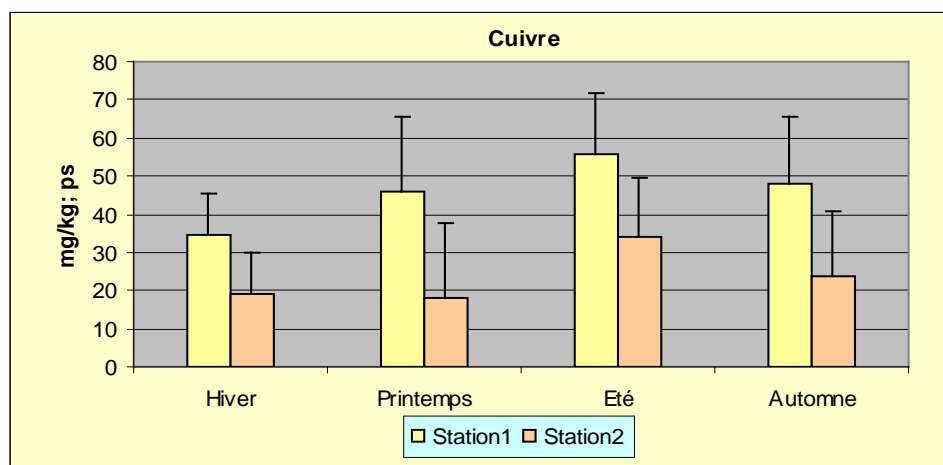


Figure 13: Distribution spatiotemporelle des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 20: Résultat de l’AV1 appliquée pour le cuivre dans la comparaison entre les saisons

Cuivre Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	828.92	893.55	4.65	31.25
Probabilité	0.01**	0.000***	0.03**	0.000***

- L’AV1 montre l’existence de différences hautement significatives à très hautement significatives entre les quatre saisons pour les teneurs en cuivre relevées au niveau de la station 1 et 2.
- La même remarque est valable pour les teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel.

Tableau 21: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cuivre

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
H=P=E, A	RH0	P=H, P=A=E	P=H=E, A

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d'un compartiment à un autre et d'une station à l'autre. Au niveau de la station 2 le même test affiche une différence entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en cuivre dans l'eau superficielle.

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le cuivre :

La valeur guide retenue pour le cuivre dans les eaux de surface	
Cuivre	1 ppm

Toutes les concentrations du cuivre rencontrées dans les eaux du lac Tonga sont inférieures à la norme requise (1ppm), et nous permettent de considérer que ces eaux ne sont pas polluées par le cuivre.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 22 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	34.45	46.00	56.00	48.00
Ic de la station 1	1.32	1.76	2.15	1.84
Station 2	19.00	18.00	34.00	23.50
Ic de la station 2	0.73	0.69	1.30	0.90
La valeur guide retenue pour le cuivre est égale à 26 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le cuivre dans le sédiment du lac Tonga montre des variations spatiotemporelles, variant entre 1.32 et 2.15 au niveau de la station 1 et de 0.69 et 1.30 au niveau de la station 2. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver ; c'est à partir du printemps que l'Ic augmente pour atteindre sa valeur maximale en été (tab.22). Tous les indices relevés par le cuivre, tant au niveau de la station 1 que la station 2 sont inférieurs à 3 et permettent de considérer le lac Tonga comme zone normale et de classe 1.

1.3. Le zinc :

Les teneurs en zinc contenues dans l'eau du lac Tonga sont comprises entre 0,3 et 1,8 ppm ; c'est néanmoins dans la station 1 que les valeurs les plus élevées sont trouvées. En ce qui concerne l'évolution saisonnière, elle est identique dans les 2 stations ; la valeur minimale relevée en hiver triple au printemps puis montre de faibles variations en été et en automne.

Tableau 23 : Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,683	103,15	1,816	102	1,843	128,6	1,773	113,2
Station 2	0,343	86,9	1,01	98	1,08	106,8	1,05	98,95
Moyenne	0,513	95,9	1,413	100	1,461	117,7	1,411	106,07
Ecart-type	±0,240	±11,490	±0,570	±2,828	±0,539	±15,414	±0,511	±10,076

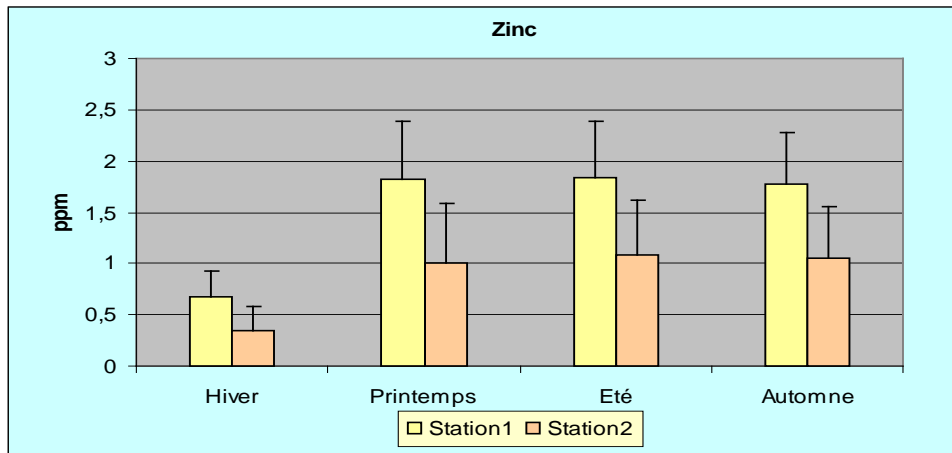


Figure 14: Distribution spatiotemporelle des concentrations en zinc relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Dans le lac Tonga, les teneurs en zinc, sont comprises entre 86 et 128 mg/kg de p.s.. Ce métal montre des teneurs élevées dans la station 1 ; ces dernières varient entre 103 et 128 mg/kg de p.s, dans la station 1, contre 86 et 106 mg/kg de p.s. dans la station 2. Dans cette dernière, la teneur en zinc est minimale en hiver et maximale en été et montre des valeurs intermédiaires au printemps et en automne. En ce qui concerne la station 1, les teneurs en zinc sont basses en période hivernale et printanière (103 et 102 mg/kg de p.s.), puis augmentent en été (atteignant ainsi le maximum) pour se maintenir à plus de 110 mg/kg de p.s. en automne (fig.15).

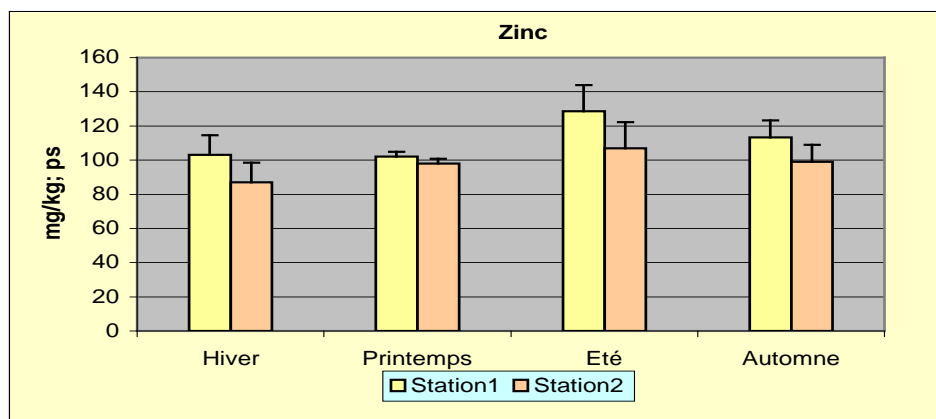


Figure 15: Distribution spatiotemporelle des teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 24 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le zinc dans la comparaison entre les saisons

Zinc Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	948.5	1042.26	16.63	5.81
Probabilité	0.000***	0.000***	0.001***	0.02*

L'AV1 montre qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en cuivre dans les eaux au niveau des deux stations. Pour le sédiment superficiel du lac le même test montre des différences très hautement significatives à significatives entre les quatre saisons respectivement au niveau de la station 1 et 2.

Tableau 25: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le zinc

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>A =P=E, H</u>	<u>A=E, P, H</u>	<u>P=H, E, A</u>	<u>P=A, E, H</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d'une station à l'autre concernant la distribution des teneurs en zinc dans l'eau et le sédiment (Tab.25).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le zinc :

La valeur guide retenue pour le zinc dans les eaux de surfaces	
Zinc	5 ppm

L'eau du lac Tonga ne présente aucune pollution par le zinc car toutes les valeurs enregistrées dans l'ensemble des stations et pour les 4 saisons sont inférieures à la norme retenue.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 26: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
Station 1	103.00	102.00	128.60	113.20
Ic de la station 1	1.17	1.15	1.46	1.28
Station 2	86.90	98.00	106.80	98.95
Ic de la station 2	0.99	1.11	1.21	1.12
La valeur guide retenue pour le zinc est égale à 88 mg/kg p.s				

Cet élément présente des indices de contamination variables aussi bien entre les saisons qu'entre les stations. Ces Ic se situent dans la fourchette de 1.15 à 1.46 pour la station 1 et de 0.99 à 1.21 pour la station 2. Dans les deux stations les indices de contamination relevés sont plus élevés durant la saison estivale (tab.26). Du fait que les valeurs de l'Ic relevées dans le sédiment du lac Tonga sont inférieures à 3, nous pouvons conclure que ce dernier est normal et de classe 1.

1.4. Le manganèse :

Dans le lac Tonga, le manganèse montre des teneurs plus élevées dans l'eau de la station 2 (1,12 à 1,7 ppm) par rapport à la station 1 (0,05 à 0,15 ppm). Dans les 2 stations, les valeurs sont basses en hiver puis augmentent progressivement pour atteindre les pics en été et en automne dans la station 1 et 2 respectivement.

Tableau 27: Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,053	71,35	0,076	70	0,12	100	0,153	87,5
Station 2	1,126	432,5	1,353	480	1,71	680	1,65	541,5
Moyenne	0.59	251.925	0.715	275	0.915	350	0.901	314.5
Ecart-type	± 0.758	± 255.37	± 0.902	± 289.91	± 1.124	± 410.122	± 1.05	± 321.02

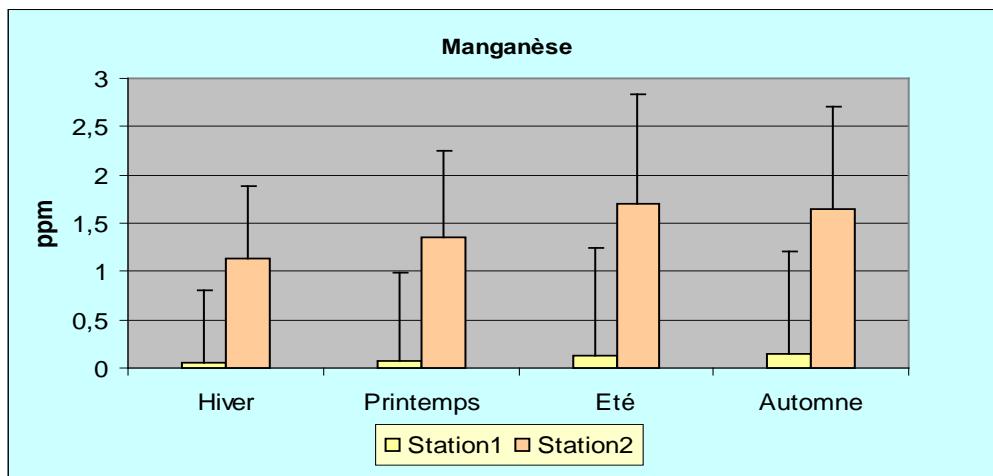


Figure 16: Distribution spatiotemporelle des concentrations en manganèse relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Dans le sédiment du lac Tonga les teneurs en manganèse présentent de très grandes différences d'une station à l'autre. Dans la station 2, les teneurs sont 6 fois plus importantes que celles relevées dans la station 1 ; elles sont comprises entre 70 et 100 et 432 à 680 mg/kg de p.s. respectivement dans les stations 1 et 2.. En période hivernale et printanière, les teneurs en manganèse, dans la station 1, sont basses puis remontent pour atteindre le maximum en été et ensuite décroître légèrement en automne (se maintenant à 87 mg/kg de p.s.). En ce qui concerne la station 2, les teneurs en manganèse augmentent progressivement de l'hiver à l'été (passant de 432 à 680 mg/kg de p.s.) puis baissent légèrement jusqu'à la valeur 541 mg/kg de p.s. en automne (fig.17).

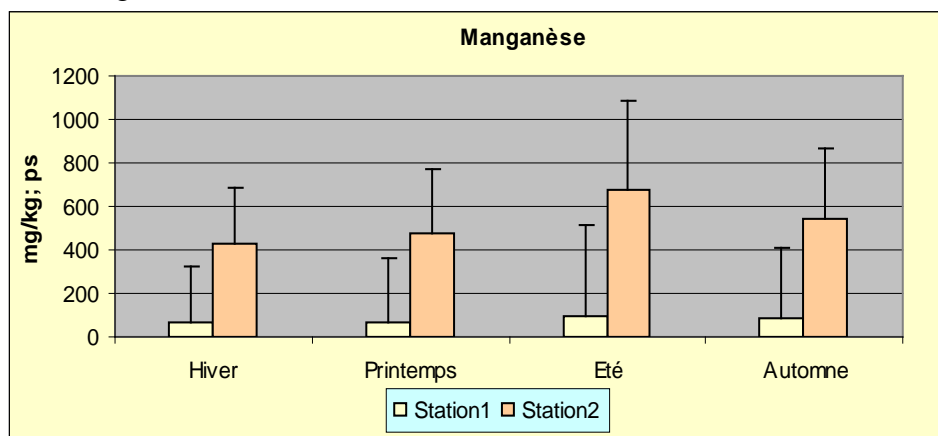


Figure 17: Distribution spatiotemporelle des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 28: Résultat de l’AV1 appliquée pour le manganèse dans la comparaison entre les saisons

Manganèse Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	5.30	15.5	25.21	8.53
Probabilité	0.02*	0.001***	0.000***	0.007**

En ce qui concerne la distribution des teneurs en manganèse relevées dans les eaux des deux stations L’AV1 montre l’existence de différences significatives à très hautement significatives entre les quatre saisons.

L’application du même test aux teneurs en manganèse relevées dans le sédiment fait apparaître des différences très hautement significatives à hautement significatives entre les quatre saisons respectivement au niveau de la station 1 et 2.

Tableau 29: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le manganèse

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>H=P=E=A</u>	<u>A=E, P, H</u>	<u>P=H=A, E</u>	<u>RH0</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d’une station à l’autre pour l’eau et le sédiment. Le même test affiche que dans la station 2, la distribution des teneurs en Mn dans le sédiment superficiel diffèrent d’une saison à l’autre (tabl.29).

-Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le manganèse:

La valeur guide retenue pour le manganèse dans les eaux de surfaces	
Manganèse	0.05 ppm

Les eaux du lac Tonga présente des concentrations importantes en manganèse durant les quatre saisons allant jusqu’à 1.71ppm durant l’été, classant ainsi l’eau du lac Tonga comme polluée.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l’indice de contamination :*

Tableau 30: Variations spatiotemporelles de l’indice de contamination par manganèse dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	71.35	70.00	100	87.50
Ic de la station 1	0.17	0.17	0.25	0.21
Station 2	432.50	480.00	600	541.50
Ic de la station 2	1.08	1.20	1.50	1.35
La valeur guide retenue pour le manganèse est égale à 400 mg/kg p.s				

Les indices de contamination relevés par le manganèse dans le sédiment du lac Tonga affichent des variations spatiotemporelles. Ces Ic se situent dans la fourchette de 0.17 à 0.25

pour la station 1 et de 1.08 à 1.50 pour la station 2. Dans les deux stations les indices de contamination relevés sont plus élevées durant la saison estivale (tab.30). Du fait que les valeurs de l'Ic relevées dans le sédiment du lac Tonga sont inférieures à 3 (Norme), nous pouvons conclure que ce dernier est non pollué par le manganèse et de classe 1.

1.5. Le nickel :

L'eau du lac Tonga contient des teneurs en nickel comprises entre 0,01 et 0,9 ppm ; c'est dans la station 2 que les teneurs sont les plus élevées. Les teneurs minimales (0,01 et 0,2 ppm) et maximales (0,27 et 0,9 ppm) sont relevées en hiver et en automne respectivement. Nous notons, toutefois, que les valeurs relevées au printemps sont plus de 3 fois les minimales.

Tableau 31: Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga

Saisons milieux	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,016	39,75	0,043	65	0,2	80	0,273	67,5
Station 2	0,22	65,35	0,793	75	0,816	98	0,9	78,15
Moyenne	0.118	52.22	0.418	70	0.508	89	0.586	72.82
Ecart-type	± 0.143	± 18.101	± 0.53	± 27.07	± 0.436	± 12.72	± 0.443	± 7.53

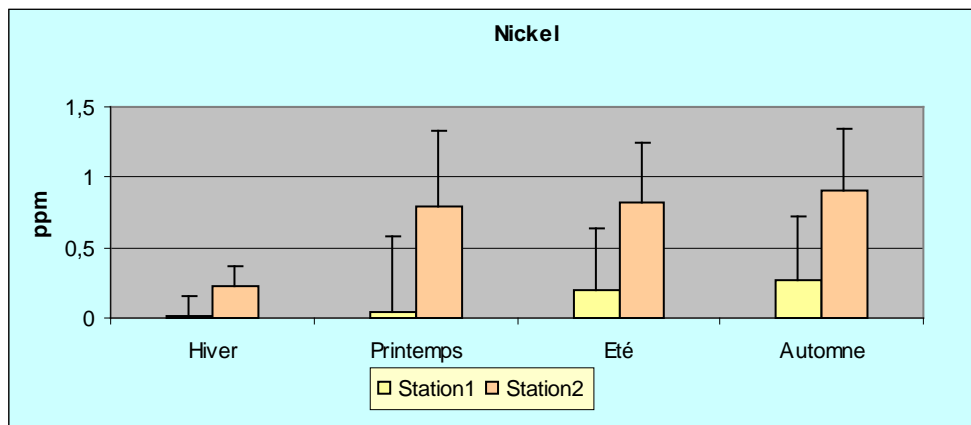


Figure 18 : Distribution spatiotemporelle des concentrations en nickel relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Le nickel dosé à partir du sédiment superficiel du lac Tonga montre des valeurs variables d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. Dans la station 1 les teneurs en nickel sont comprises entre 39 et 80 mg/kg de p.s; elles sont basses en hiver puis doublent en été et se maintiennent à des valeurs intermédiaires au printemps et en automne. En ce qui concerne la station 2, les teneurs varient entre 65 et 98 mg/kg de p.s.; elles passent, de l'hiver à l'été, de la valeur minimale à la valeur maximale; au printemps et en automne les teneurs sont intermédiaires (fig.19).

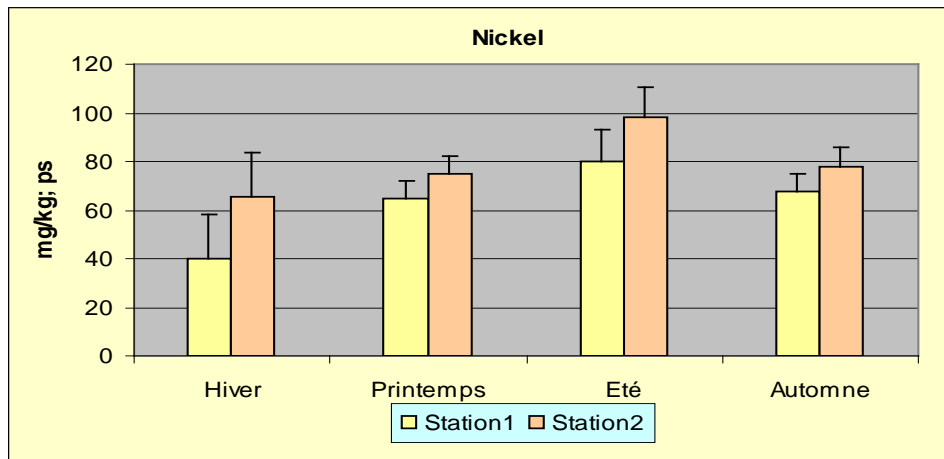


Figure 19: Distribution spatiotemporelle des teneurs en nickel dans relevées le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 32 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le nickel dans la comparaison entre les saisons

nickel Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	61.01	659.99	14.21	34.95
Probabilité	0.000***	0.000***	0.001***	0.000***

L’AV1 montre l’existence de différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en nickel dans les eaux et le sédiment superficiel et cela, au niveau des deux stations.

Tableau 33 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le nickel

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>H=P, E, A</u>	<u>A= P, E, H</u>	<u>H=P=A, P=A=E,</u>	<u>P=A, E, H</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d’une station à l’autre concernant la distribution des teneurs en nickel aussi bien dans l’eau que dans le sédiment (tab.33).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le nickel:

La valeur guide retenue pour le Nickel dans les eaux de surfaces	
Nickel	0.05 ppm

L’eau du lac Tonga montre des concentrations supérieures à la norme admise allant jusqu’à 0.81ppm durant l’été. Il est à signaler que des concentrations normales sont relevées durant l’hiver et le printemps au niveau de la station 1.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l’indice de contamination :*

Tableau 34: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le nickel dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	39.75	65	80	67.50
Ic de la station 1	0.88	1.44	1.77	1.50
Station 2	65.35	75	98	78.15
Ic de la station 2	1.45	1.66	2.17	1.73
La valeur guide retenue pour le nickel est égale à 45 mg/kg p.s				

Le nickel présente des indices de contamination variables aussi bien entre les saisons qu'entre les stations. Ces Ic se situent dans la fourchette de 0.88 à 1.77 au niveau de la station 1 et de 1.45 à 2.17 au niveau de la station 2. Dans les deux stations les indices de contamination relevés sont plus élevés durant la saison estivale. Les valeurs des indices de contamination relevés sont inférieures à 3 et permettent de conclure à une absence de pollution par le nickel dans le sédiment du lac Tonga, cependant la zone est de classe 1 (Tabl. 34).

1.6. Le chrome :

Dans l'eau du lac Tonga, le chrome est présent à des teneurs variant de 0,03 à 0,2 ppm ; les valeurs élevées sont relevées dans la station 2 dont la teneur minimale observée en hiver est multipliée par 2 au printemps puis augmente progressivement en été pour atteindre la teneur maximale (0,2 ppm) en automne. Dans la station 1 des teneurs de 0,14 et 0,12 ppm sont notées au printemps et en été ; mais en revanche celles obtenues en hiver et en automne ne dépassent pas 0,06 ppm.

Tableau 35: Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	Sédiment	Eau	Sédiment	Eau	Sédiment	Eau	Sédiment
Station 1	0,03	33	0,143	59	0,12	72	0,06	61.5
Station 2	0,073	63,1	0,143	80	0,176	86	0,203	77.95
Moyenne	0.051	48.05	0.143	69.5	0.148	79	0.131	69.725
Ecart-type	± 0.030	± 21.283	± 0	± 14.849	± 0.04	± 9.899	± 0.101	± 11.631

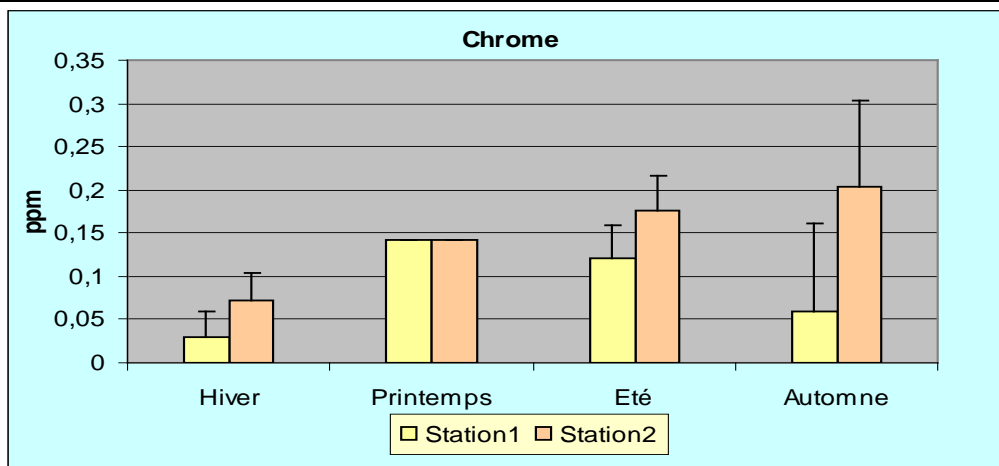


Figure 20: Distribution spatiotemporelle des concentrations en chrome relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Les teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga sont comprises entre 33 mg/kg de p.s. en hiver, dans la station 1, et 86 mg/kg de p.s. en été dans la station 2. C'est toutefois dans la station 2 que nous relevons les teneurs en chrome les plus élevées.

L'évolution des variations saisonnières présente une similitude d'une station à l'autre. Dans la station 1, les teneurs basses, en hiver, augmentent au printemps jusqu'à atteindre la valeur double en été pour ensuite marquer une légère baisse en automne.

En ce qui concerne la station 2 les variations des teneurs en chrome sont moins marquées d'une saison à l'autre ; mais nous relevons une augmentation progressive des teneurs de l'hiver à l'été suivie d'une légère baisse en automne (fig.21).

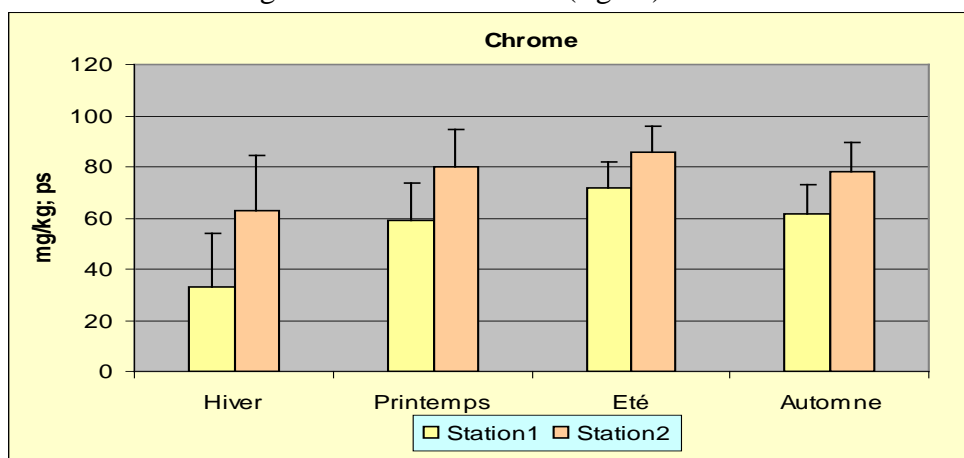


Figure 21 : Distribution spatiotemporelle des teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 36 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le chrome dans la comparaison entre les saisons

Nickel Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	5.46	5.71	9.40	3.83
Probabilité	0.025*	0.02*	0.005**	0.05*

L'AV1 montre l'existence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en chrome dans les eaux et cela, au niveau des deux stations. Dans le sédiment superficiel, les différences sont hautement significatives à significatives respectivement dans la station 1 et la station 2.

Tableau 37: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le chrome

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
H=P=E=A	H=P=E=A	P=A=E, H	H=A, A=P=E

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche un résultat particulier pour les eaux où les quatre saisons sont identiques au niveau des deux stations. Quant au sédiment, les groupes de saisons identiques varient d'une station à l'autre (tab.37).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le chrome :

La valeur guide retenue pour le chrome les eaux de surfaces	
Chrome	0.05 ppm

L'eau superficielle des stations considérées au lac Tonga présente des concentrations supérieures à la norme retenue qualifiant ainsi les eaux du lac Tonga comme polluées par le chrome.

► Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :

Tableau 38: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le chrome dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	33	59	72	61.5
Ic de la station 1	0.73	1.31	1.60	1.36
Station 2	63.1	80	86	77.95
Ic de la station 2	1.40	1.77	1.91	1.73
La valeur guide retenue pour le chrome est égale à 45 mg/kg p.s				

Les indices de contamination relevés par le chrome dans le sédiment du lac Tonga affichent des variations spatiotemporelles. Ces Ic se situent dans la fourchette de 0.73 et 1.60 au niveau de la station 1 et de 1.40 à 1.91 au niveau de la station 2. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été (Tab.38). Du fait que les valeurs des indices relevées dans le sédiment du lac Tonga sont inférieures à 3, nous pouvons considérer que le lac Tonga est une zone non polluée par le chrome et de classe 1.

1.7. Le plomb :

C'est dans la station 1 que l'eau du lac Tonga montre les teneurs les plus élevées en plomb (0,4 à 1,15 ppm) ; dans cette station, les teneurs basses en hiver atteignent plus du triple de leur valeur en automne. Mais en revanche, dans la station 2, les teneurs bien que supérieures à celles relevées en hiver ne montrent pas de grosses différences durant les 3 autres saisons (printemps, été, automne).

Tableau 39 : Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,44	82,05	0,68	78	1,206	171	1,153	138,75
Station 2	0,086	17,35	0,466	20	0,446	27,2	0,453	22,5
Moyenne	0.263	49.7	0.573	49	0.826	99.1	0.803	80.625
Ecart-type	±0.249	±45.749	±0.15	±41.012	±0.537	±101.68	±0.494	±82.201

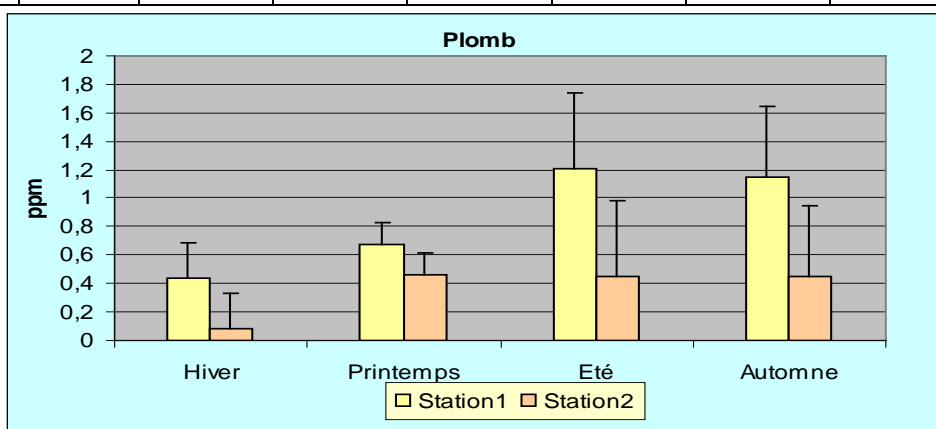


Figure 22 : Distribution spatiotemporelle des concentrations en plomb relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Le plomb dosé dans le sédiment superficiel du lac Tonga présente des teneurs comprises entre 17 et 171 mg/kg de p.s; les teneurs les plus basses (17 à 27 mg/kg de p.s.) étant rencontrées dans la station 2 ; ceci fait apparaître que les teneurs en plomb présentent des variations assez faibles d'une saison à l'autre. Quant à la station 1, les teneurs en plomb, sont basses en

période hivernale et printanière puis doublent en été et se maintiennent à des valeurs assez élevées en automne (fig. 23)

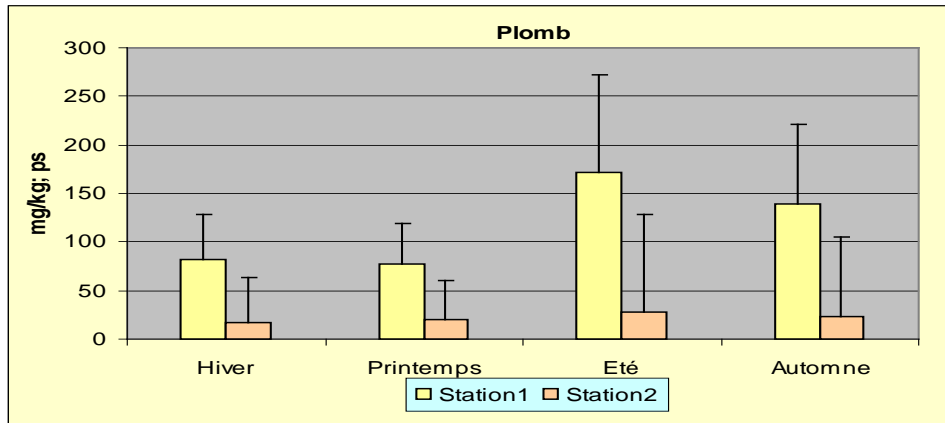


Figure 23: Distribution spatiotemporelle des teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 40: Résultat de l’AV1 appliquée pour le plomb dans la comparaison entre les saisons

Plomb Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	171.57	236	16.26	29.16
Probabilité	0.000***	0.000***	0.001***	0.000***

L’AV1 montre l’existence de différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans les eaux et le sédiment superficiel du lac, pour les deux stations.

Tableau 41: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le plomb.

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>A=E, P, H</u>	<u>P=E=A</u>	<u>P=H, A=E</u>	<u>P=A, E, H</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que la similitude des saisons diffère d’une station à l’autre et d’un compartiment à l’autre. (Tab.41).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le plomb :

La valeur guide retenue pour le plomb dans les eaux de surfaces	
Plomb	0.05 ppm

L’eau superficielle du lac Tonga contient des concentrations en plomb supérieures à la norme retenue pour notre étude qualifiant ainsi les eaux du lac Tonga en tant que polluées par le plomb .

► *Classement du sédiment selon la valeur de l’indice de contamination :*

Tableau 42: Variations spatiotemporelles de l’indice de contamination par le plomb dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	82.05	78	171.00	138.75
Ic de la station 1	3.73	3.54	7.77	6.30
Station 2	17.35	20	27.20	22.50
Ic de la station 2	0.78	0.90	1.23	1.02
La valeur guide retenue pour le plomb est égale à 22 mg/kg p.s				

L'évaluation des indices de contamination pour le plomb dans le sédiment du lac Tonga montre d'importantes variations spatiotemporelles. Ces indices de contamination relevés par le plomb varient de 3.54 à 7.77 au niveau de la station 1 et de 0.78 à 1.23 au niveau de la station 2 ; les indices relevés au niveau de la station 2 durant les quatre saisons sont nettement inférieurs par rapport aux indices de la station 1. Dans les deux stations les indices de contamination relevés sont plus élevés durant la saison estivale. Par ailleurs, les valeurs d'indices de contamination relevés au niveau de la station 1 et pour l'ensemble des saisons sont comprises entre 3 et 10 et nous permet de conclure à l'existence d'une pollution importante par le plomb au niveau de cette station et donc son sédiment est de classe 2. Par contre au niveau de la station 2, les indices de contamination relevés sont nettement inférieurs à 3 ainsi nous pouvons considéré le sédiment de la station 2 comme normale et de classe 1 (Tab. 42).

1.8. Le cadmium :

L'eau du lac Tonga contient des teneurs en cadmium comprises entre 0,008 et 0,02 ppm ; C'est toutefois dans la station 1 que les teneurs en cadmium sont les plus basses car celles relevées dans la station 2 sont proches de 0,02 ppm et ne montrent pas de différences significatives d'une saison à l'autre (0,02ppm), sauf en automne où la teneur atteint 0,016 ppm.

Tableau 43: Teneurs en cadmium relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	<u>0.025</u>	<u>1.78</u>	<u>0.014</u>	<u>3.2</u>	<u>0.017</u>	<u>2.2</u>	<u>0.008</u>	<u>1.945</u>
Station 2	<u>0.02</u>	<u>0.19</u>	<u>0.02</u>	<u>0.32</u>	<u>0.021</u>	<u>0.2</u>	<u>0.016</u>	<u>0.196</u>
Moyenne	0.022	0.988	0.017	1.76	0.019	1.2	0.012	1.070
Ecart-type	±0.004	±1.119	±0.004	±2.036	±0.002	±1.414	±0.005	±1.236

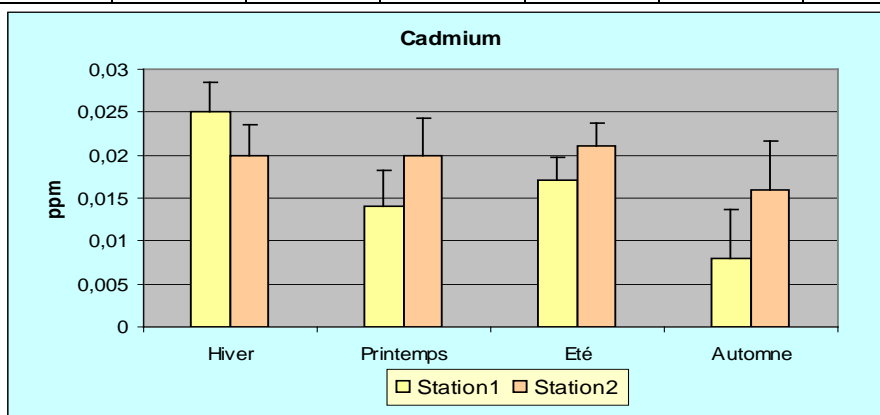


Figure 24 : Distribution spatiotemporelle des concentrations en cadmium relevées dans l'eau superficielle du lac Tonga.

Les teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel de la station 1 sont 10 fois plus élevées que celles de la station 2 (1,78 à 3,2 contre 0,19 à 0,32 mg/kg de p.s.). Dans la station 1, les teneurs de cadmium relevées en hiver augmentent jusqu'à atteindre le double au printemps pour ensuite baisser progressivement en période estivale et automnale. Dans la

station 2, les teneurs en cadmium ne montrent pas de grandes variations ; elles sont assez proches en hiver, en été et en automne (0,19 mg/kg de p.s.), mais présentent un pic au printemps (fig.25).

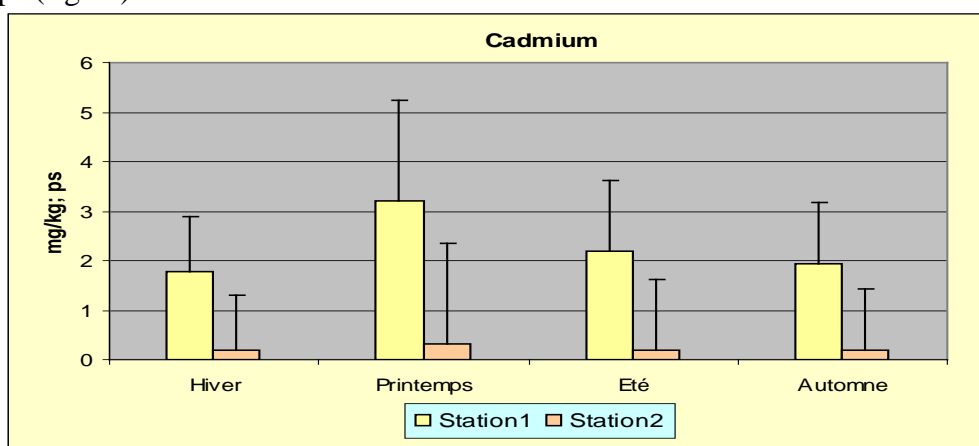


Figure 25 : Distribution spatiotemporelle des teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 44: Résultat de l’AV1 appliquée pour le cadmium dans la comparaison entre les saisons

Cadmium Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	11.97	0.35	7.73	2.09
Probabilité	0.003**	0.78 NS	0.009**	0.18 NS

Pour l’eau et le sédiment, l’AV1 montre l’existence de différences hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium pour la station 1 par contre pour la station 2 l’AV1 montre un absence de différences significatives entre les quatre saisons.

Tableau 45: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cadmium

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>A=E=P, H</u>	RH0	<u>H=A=E, P</u>	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS montre que les groupes de saisons identiques varient d’un compartiment à un autre pour la station 1. Le résultat diffère pour la station 2 (tab.45).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le cadmium :

La valeur guide retenue pour le cadmium dans les eaux de surfaces	
CEE	0.005 ppm

L’eau du lac Tonga présentent des concentrations en cadmium supérieures à la norme retenue (0.005mg/l) et sent les eaux du lac Tonga comme polluées.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l’indice de contamination :*

Tableau 46: Variations spatiotemporelles de l’indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	1.88	3.20	2.20	1.94
Ic de la station 1	3.13	5.33	3.66	3.23
Station 2	0.19	0.32	0.20	0.19
Ic de la station 2	0.32	0.53	0.33	0.32
La valeur guide retenue pour le cadmium est égale à 0.6 mg/kg p.s				

L'évaluation des indices de contamination pour le cadmium dans le sédiment du lac Tonga montre d'importantes variations spatiotemporelles. Ses indices de contamination varient de 0.32 à 0.53 au niveau de la station 2 et de 3.13 à 5.33 au niveau de la station 1. L'Ic le plus bas est relevé en hiver puis augmente pour atteindre sa valeur maximale au printemps, (cas différents des autres éléments). La lecture de ces indices permet de relever un degré de pollution par le cadmium dans le sédiment de la station 1 du fait que les valeurs sont comprises entre 3 et 10 et donc le sédiment de cette station est de classe 2. Par contre au niveau de la station 2 les indices de contamination relevés sont nettement inférieurs à 3 ainsi nous pouvons considérer le sédiment de la station 2 comme normale et de classe 1 (Tab. 46).

1.9. Le mercure :

Nous ne détectons pas de mercure dans l'eau superficielle du lac Tonga, ceci aussi bien dans la station 1 que 2.

Tableau 47: Teneurs en mercure relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Tonga

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	Traces	0,069	Traces	0,07	Traces	0,08	Traces	0,08
Station 2	Traces	0,011	Traces	0,08	Traces	0,03	Traces	0,02
Moyenne	/	0.040	/	0.075	/	0.058	/	0.054
Ecart-type		±0.041		±0.007		±0.035		±0.036

Dans le sédiment superficiel du lac Tonga, le mercure est rencontré à des teneurs comprises entre 0,01 et 0,08 mg/kg de p.s. C'est dans la station 1, que nous relevons les teneurs élevées; ces dernières présentent, par ailleurs, de faibles variations d'une saison à l'autre (0,06 à 0,08 mg/kg de p.s.) ; le pic de 0,08 mg/kg de p.s. étant relevé en période estivale. Dans la station 2, les teneurs en mercure montrent un pic de 0,08 mg/kg de p.s. au printemps puis baissent progressivement en été et en automne pour atteindre la valeur la plus basse (0,01 mg/kg de p.s.) en hiver (fig. 26).

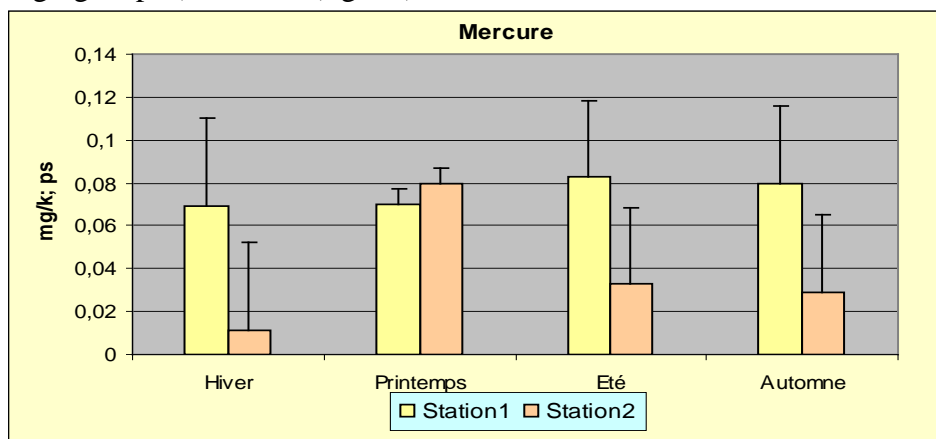


Figure 26: Distribution spatiotemporelle des teneurs en mercure relevées dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Tableau 48: Résultat de l’AV1 appliquée pour le mercure dans la comparaison entre les saisons

Mercure Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	/	/	0.07	2.75
Probabilité	/	/	0.97NS	0.11NS

Pour l’eau le mercure est sous forme de trace durant les quatre saisons, il n’y a des valeur pour appliquer l’AV1. Pour le sédiment, l’AV1 montre l’absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en mercure au niveau des deux stations.

Tableau 49: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le mercure.

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
/	/	/	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Le test PPDS ne peut pas être appliquée dans ce cas, car dans l’eau pas de valeur pour le mercure et pour le sédiment le test AV1 montre déjà une absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en mercure.

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Tonga par le mercure :

La valeur guide retenue pour le mercure dans les eaux de surfaces	
Mercure	0.001 ppm

Les eaux du lac Tonga sont indemnes de toute pollution mercurielle, toutes les concentrations obtenues sont inférieures à la norme.

Tableau 50: Variations spatiotemporelles de l’indice de contamination par le mercure dans le sédiment superficiel du lac Tonga.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	0.07	0.07	0.08	0.08
Ic de la station 1	0.35	0.35	0.41	0.40
Station 2	0.01	0.08	0.03	0.02
Ic de la station 2	0.06	0.40	0.19	0.14
La valeur guide retenue pour le mercure est égale à 0.2 mg/kg p.s				

Les indices de contamination par cet élément varient de 0.35 à 0.41 au niveau de la station 1 et de 0.06 à 0.40 au niveau de la station 2. Cependant les Ic relevés par le Hg dans le sédiment du lac Tonga, montrent d’importantes variations spatiotemporelles. La lecture de ces indices permet de relever la valeur maximale en été (Ic = 0.41) pour la station 1 et en printemps (Ic=0.40) pour ce qui de la station2 et des valeurs minimales en hiver (Tab. 47).Touts les indices relevés par le mercure sont inférieurs à 3 et permettent de considérer le sédiment du lac Tonga comme normale et de classe 1.

2 - Teneurs en métaux lourds relevées dans le foie de l’anguille peuplant le lac Tonga :

Les variations saisonnières des teneurs en 9 métaux lourds analysés dans le foie des anguilles sont représentées dans le tableau N°51 et par les histogrammes (Fig.27) ci-dessous :

Tableau 51 : Teneurs en métaux lourds (mg/kg ; ps) dans le foie des anguilles peuplant Lac Tonga durant la saison hivernale et estivale.

Saisons / ETM	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
Hiver	39,58	5,915	41,095	0,164	0,337	0,505	0,385	0,013	0,023
Eté	43,235	5,885	43,555	0,17	0,362	0,63	0,415	0,014	0,014
Normes Algériennes	-	-	-	-	-	-	2	0.5	5
Normes De la CE	-	-	-	-	-	-	2	0.5	5

Remarque : Il n'existe pas des normes fixées pour d'autres éléments métalliques chez ces poissons.

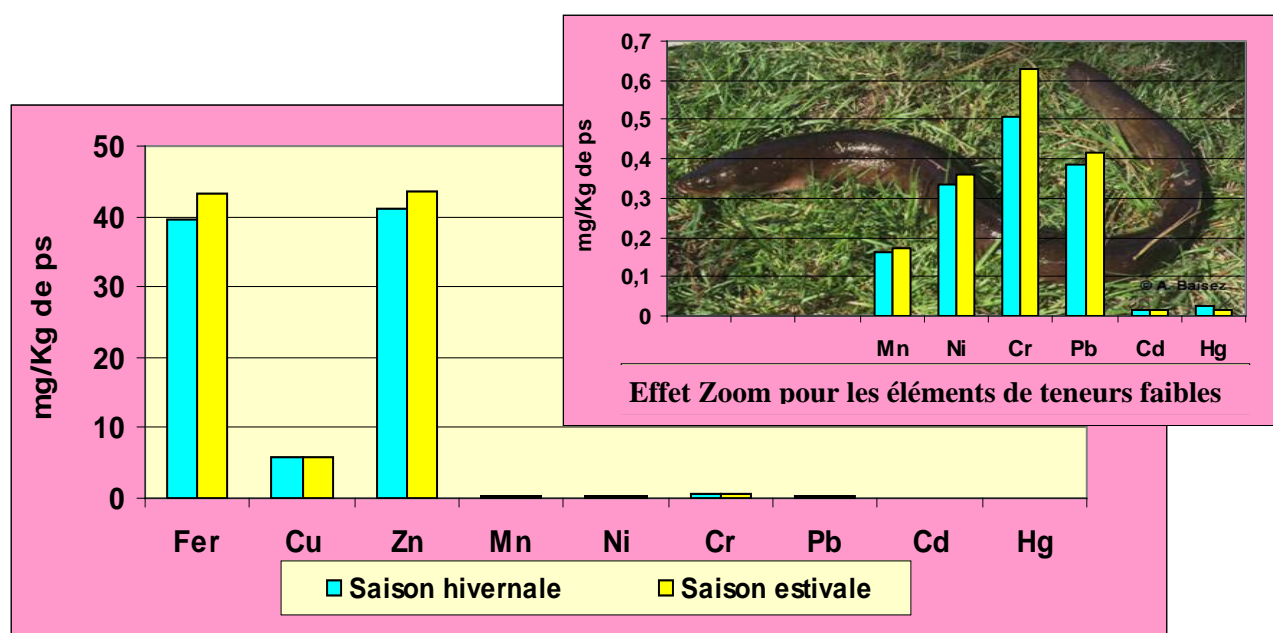


Figure 27: Distribution saisonnière des teneurs en métaux lourds dans le foie des Anguilles peuplant lac Tonga durant l'année 2006.

Le fer :

Le foie de l'anguille du lac Tonga présente des teneurs en fer comprises entre 39.58 et 43.23 mg/kg de p.s. Les teneurs relevées chez l'anguille sont proches d'une période à l'autre(fig.27).

Le cuivre

Le cuivre est présent, dans le foie des anguilles, à des teneurs variant de 5.88 à 5.91 mg/kg de p.s. les concentrations sont presque les mêmes durant les deux saisons (fig.27).

Le zinc

Le zinc contenu dans le foie des anguilles du lac Tonga montre des teneurs variant de 41.09 à 43.55 mg/kg de p.s. (fig.27).

Le manganèse

Le foie d'anguille du lac Tonga montre des teneurs en manganèse comprises entre 0,16 et 017 mg/kg de p.s, les valeurs sont assez proches durant les deux saisons(fig.27).

Le nickel

Les teneurs en nickel dans le foie d'anguille varient de 0,33 à 0,36 mg/kg de p.s. Les valeurs relevées sont assez proches durant les deux saisons et c'est en été que les concentrations sont les plus élevées (fig.27).

Chrome

Les teneurs en chrome varient entre 0,50 et 0,63 mg/kg de p.s. C'est en période estivale que les teneurs en chrome du foie des anguilles marquent une hausse; (fig.27).

Plomb

Le plomb contenu dans le foie d'anguille est à des concentrations comprises entre 0,38 et 0,41 mg/kg de p.s. L'évolution de ce métal est similaire à celle du chrome ; il montre une hausse en été et une baisse en hiver (fig.27). La norme du plomb étant égale à 2 (tab. 48), nous pouvons considérer que les anguilles du lac Tonga sont indemnes de toute contamination par le plomb.

Cadmium

Le foie d'anguille montre des teneurs en cadmium variant de 0,013 à 0,014 mg/kg de p.s. Les teneurs sont assez proches d'une saison à l'autre. (fig.27). La norme du plomb étant égale à 0.50 (tab. 48), nous pouvons considérer que les anguilles du lac Tonga sont indemnes de toute contamination par le cadmium.

Le mercure

Le mercure est à des teneurs comprises entre 0,014 et 0,023 mg/kg de p.s. dans le foie d'anguille respectivement, En période estivale et hivernale. La norme du plomb étant égale à 5 (tab. 48), nous pouvons considérer que les anguilles du lac Tonga sont indemnes de toute contamination mercurielle.

- Niveau de contamination par les métaux lourds des anguilles peuplant lac Tonga :

Vu les normes qui existent et les concentrations relevées dans le foie des anguilles, nous pouvons conclure que les anguilles peuplant lac Tonga sont indemnes de toute contamination par les métaux lourds Pb, Cd et Hg.

3 – Détermination du niveau de la contamination métallique au niveau du lac Tonga (eaux, sédiments et Anguilles) :

La détermination du niveau de la contamination du lac Tonga est basée sur les normes de la communauté européenne, françaises et algériennes :

Les résultats concernant les concentrations des neuf éléments métalliques analysés dans les eaux superficielles du lac Tonga présentent des concentrations dépassant les normes requises (CE) particulièrement en Fer (5.25mg/l), le manganèse (1.71mg/l), le nickel (0.9mg/l), le chrome (0.17mg/l) , le plomb (0.46mg/l) et le cadmium (0.021mg/l), en revanche les eaux du lac Tonga sont indemnes de toute pollution par le cuivre, le zinc et le mercure du fait que les concentrations détectées sont nettement inférieures aux normes.

Quant aux résultats des neuf 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, permettant ainsi de classer lac Tonga en tant que zone polluée par le fer et de classe « 2 ».

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, 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, Mn, Ni, Cr, Hg) 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.

Par ailleurs, on se référant aux normes admises, les teneurs des métaux lourds dosés (Hg, Cd et Pb) dans le foie des anguilles peuplant le lac Tonga et pendant les deux périodes considérées, nous permettent de conclure que les anguilles de ce plan d'eau sont indemnes de toute contamination métallique, de ce fait, elles sont de bonne qualité et seraient propres à la consommation.

Il reste à signaler que la distribution des métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel du lac Tonga est variable d'une saison à l'autre et d'une station à l'autre, cette observation est appuyée par deux tests statistiques en l'occurrence l'analyse de la variance (ANOVA) et la (PPDS).

CHAPITRE III

Deuxième partie : Résultats « Lac Oubeira »

I. Teneurs en métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel du lac Oubeira :

1.1. Le fer :

Dans le lac Oubeira, l'eau de la station 1 contient des teneurs en fer légèrement plus élevées que celle de la station 2 (respectivement 5,5 - 17,1 et 4,7-15,6 ppm). Nous notons, par ailleurs, dans les 2 stations, qu'au printemps et en été les teneurs sont respectivement 2 et 3 fois plus élevées que celles relevées en hiver et en automne.

Tableau 52 : Teneurs en fer relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira

Saisons	Hiver		Printemps		Été		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	5,616	8700	13,8	15600	17,19	16900	5,52	10850
Station 2	4,786	10050	8,4	15900	15,61	16300	4,736	13190
Moyenne	5.201	9375	11.1	15750	16.4	16600	5.128	12020
Ecart-type	± 0.586	±954.594	± 3.818	± 212.132	± 1.117	± 424.264	± 0.553	±1654.63

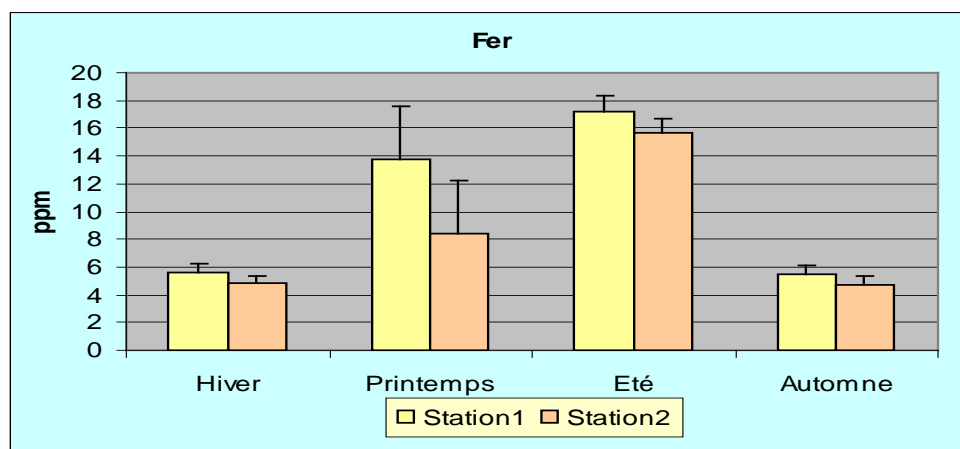


Figure 28: Distribution spatiotemporelle des concentrations en fer relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.

Le fer dosé à partir du sédiment superficiel du lac Oubeira montre des teneurs comprises entre 8700 et 16900 mg/kg de p.s.(tab.52), c'est toutefois, la station 1 qui présente les teneurs en fer les plus basses. Ce métal est présent, dans les 2 stations, à des teneurs élevées et proche (dépassant 15000 mg/kg de p.s.) en période printanière et estivale ; mais en revanche, les teneurs les plus basses sont rencontrées en hiver et les teneurs intermédiaires en automne ; (fig.29).

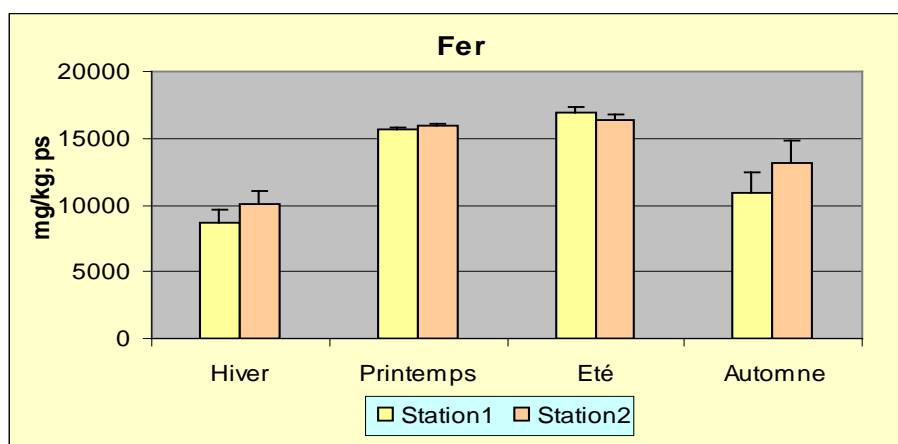


Figure 29: Distribution spatiotemporelle des teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 53 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le fer dans la comparaison entre les saisons

Fer Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	100.68	428.35	5.02	10.97
Probabilité	0.000***	0.000***	0.03*	0.003**

Le test AV1 montre qu’ils existent des différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution de teneurs en fer dans les eaux du lac. Alors que dans le sédiment superficiel l’AV1 montre qu’il y a des différences significatives à hautement significatives entre les saisons respectivement à la station1 et 2 (tab.53).

Tableau 54: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le fer

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>A=H, P, E</u>	<u>A=H, P, E</u>	<u>H=A, A=P=E</u>	<u>A=P=E, H</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

En ce qui concerne la distribution des teneurs en fer au lac Oubeira, la PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d’un compartiment à un autre et d’une station à l’autre (tab.54).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le fer :

La détermination du niveau de la pollution des eaux du lac Oubeira par les métaux lourds, est basée sur les valeurs guides de la CE concernant les eaux de surface. En revanche le niveau de contamination du sédiment est basé sur la valeur de l’indice de contamination.

La valeur guide retenue pour le fer dans les eaux de surface (CE)	
Fer	0.2 ppm

L’eau du lac Oubeira présente des concentrations en fer supérieures à la norme 0.2 ppm. Ce qui nous permet de classer l’eau du lac Oubeira comme polluée.

► Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :

Zone Normale $Ic < 3$ Classe 1	Zone Polluée $3 < Ic < 10$ Classe 2	Zone à risque $Ic > 10$ Classe 3
--------------------------------------	---	--

Interprétation selon l'Agence du Bassin du Rhône

► Calcul de l'indice de contamination (Ic):

$$Ic = \frac{\text{Teneur relevée dans le sédiment (mg/kg ; p.s)}}{\text{Teneur considérée comme normale (mg/kg ; p.s)}}$$

Tableau 55: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le fer dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
Station 1	8700	15600	16900	10850
Ic de la station 1	4.34	7.8	8.45	5.42
Station 2	10050	15900	16300	13190
Ic de la station 2	5.02	7.95	8.15	6.59
La valeur guide retenue pour le fer est égale à 2000 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic pour le fer dans le sédiment du lac Oubeira montre des variations spatiotemporelles. Les indices de contamination par le fer se situent dans la fourchette de 4.35 à 8.45 au niveau de la station 1 et de 5.02 à 8.15 au niveau de la station 2. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été. Du fait que les valeurs de l'indice relevées dans le lac Oubeira soient comprises entre 3 et 10, nous pouvons considérer le lac Oubeira comme une zone polluée par le fer.

1.2. Le cuivre :

Les teneurs en cuivre contenues dans l'eau de la station 2 sont plus élevées que celles de la station 1 (1,3 à 2,7 et 1,6 à 2,3 ppm respectivement). Dans les 2 stations, les teneurs maximales et minimales sont relevées en été et en hiver respectivement.

Tableau 56 : Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira

Saisons	Hiver		Printemps		Été		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	1,726	15,95	1,733	21	2,343	30	1,663	19,5
Station 2	1,333	20,35	1,906	24,2	2,788	32	1,993	25
Moyenne	1.53	18.15	1.82	22.6	2.565	31	1.828	22.25
Ecart-type	± 0.278	± 3.11	± 0.122	± 2.262	± 0.314	± 1.414	± 0.233	± 3.889

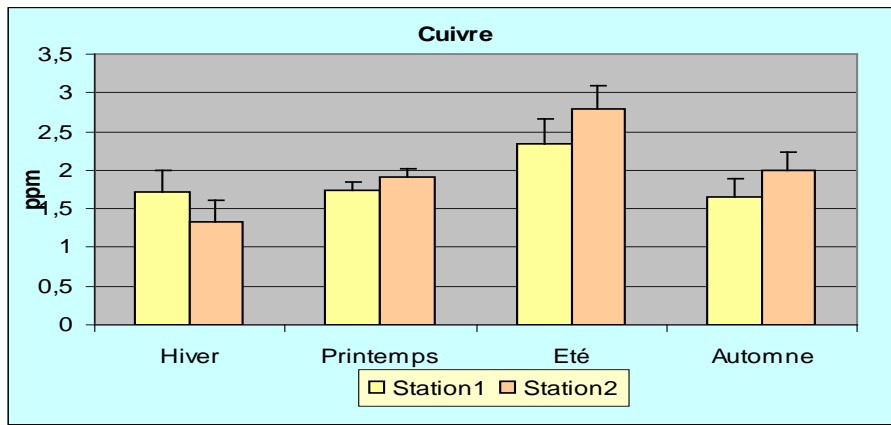


Figure 30: Distribution spatiotemporelle des concentrations en cuivre relevées dans l’eau superficielle du lac Oubeira.

Les teneurs en cuivre relevées dans le sédiment du lac Oubeira varient de 15,95 à 32 mg/kg de p.s. ; C’est dans la station 2 que les teneurs en cuivre les plus élevées sont observées (20,35 à 32 mg/kg de p.s.). L’évolution des teneurs en cuivre est similaire dans les 2 stations ; nous relevons des teneurs minimales en hiver et maximales en été et des valeurs intermédiaires en période printanière et automnale (fig.31)

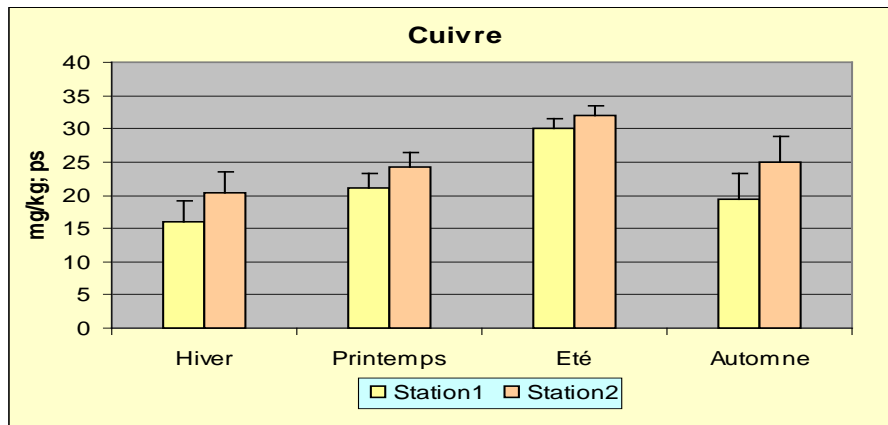


Figure 31: Distribution spatiotemporelle des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 57 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le cuivre dans la comparaison entre les saisons.

Cuivre Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	6.06	10.8	2.04	4.75
Probabilité	0.019**	0.003**	0.18NS	0.03*

Le test AV1 montre qu’ils existent des différences hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en cuivre dans les eaux pour la station 1 et 2. Quant au sédiment superficiel du lac le test montre une absence de différences significatives pour la station 1 et des différences significatives pour la station 2.

Tableau 58: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cuivre

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
$\underline{A=H=P, E}$	$\underline{A=H=P, E}$	RH0	RH0

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques sont les mêmes pour le compartiment eau pour les deux stations. Quant au sédiment le même test affiche une différence entre les quatre saisons pour les deux stations (tab.58).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le cuivre :

La valeur guide retenue pour le cuivre dans les eaux de surface (CE)	
Cuivre	1 ppm

Les eaux du lac Oubeira présentent des concentrations en cuivre dépassant la norme requise par la CE et donc polluées par le cuivre.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 59 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	16	21	30	19.5
Ic de la station 1	0.61	0.81	1.15	0.75
Station 2	20.4	24.2	32	25
Ic de la station 2	0.78	0.93	1.23	0.96
La valeur guide retenue pour le cuivre est égale à 26 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le cuivre dans le sédiment du lac Oubeira montre des variations spatiotemporelles. Au niveau de la station 1 ces indices varient entre 0.61 et 1.15 et pour ce qui de la station 2, ces indices varient 0.78 et 1.23. Ces indices de contamination sont cependant plus élevés durant la saison estivale alors les plus faibles sont relevés durant l'hiver. (Tab).Tous les indices de contamination relevés tant au niveau de la station 1 que la station 2 demeurent cependant inférieurs à 3 et permettent de considérer le lac Oubeira comme une zone normale et de classe 1.

1.3. Le zinc :

L'eau du lac Oubeira montre des teneurs en zinc plus basses dans la station 2 (0,7 à 1,6 ppm; nous notons, toutefois, que la distribution saisonnière de ce métal est similaire dans les 2 stations; en hiver, les valeurs sont basses puis elles augmentent au printemps et atteignent un pic en été pour ensuite décroître légèrement en automne.

Tableau 60 : Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.

Saisons milieux	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,826	72,1	1,19	98,1	2,13	114,8	1,866	88,4
Station 2	0,713	70,05	0,92	87,6	1,61	102,8	1,23	85,8
Moyenne	0.769	71.075	1.055	92.85	1.875	108.8	1.548	87.1
Ecart-type	±0.08	±1.44	±0.19	±7.424	±0.359	±8.485	±0.45	±1.838

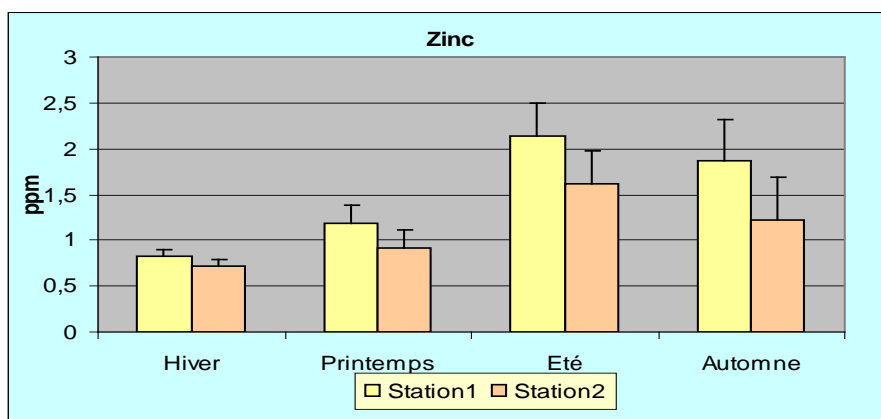


Figure 32: Distribution spatiotemporelle des concentrations en zinc relevées dans l’eau superficielle du lac Oubeira.

Le zinc contenu dans le sédiment superficiel du lac Oubeira présente des concentrations comprises entre 70 et 114 mg/kg de p.s.. Les teneurs les plus basses sont relevées dans la station 2. Les teneurs en zinc présentent des variations saisonnières similaires dans les 2 stations ; nous relevons, en effet, des valeurs minimales en hiver et maximales en été ; les valeurs intermédiaires étant relevées au printemps et en automne (fig.).

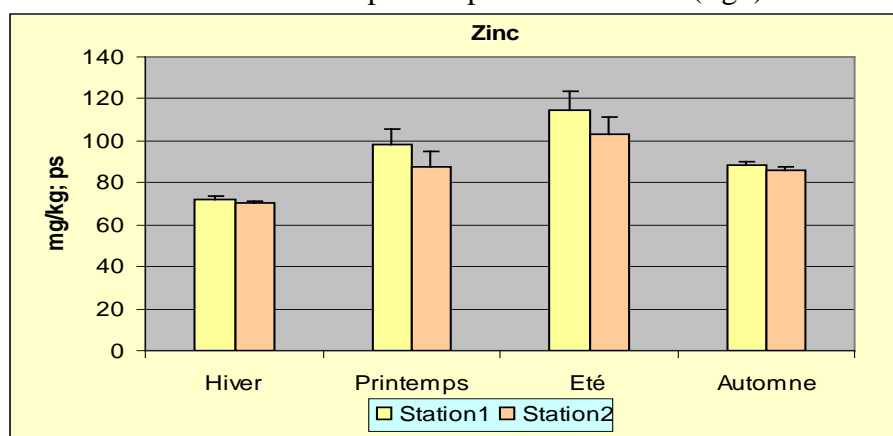


Figure 33: Distribution spatiotemporelle des teneurs en zinc relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 61 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le zinc dans la comparaison entre les saisons

Zinc	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
Valeurs du test				
F obs	16.53	37.49	4.57	4.99
Probabilité	0.001***	0.000***	0.03*	0.031*

L’AV1 montre qu’ils existent des différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en zinc dans les eaux au niveau des deux stations. Quant au sédiment superficiel du lac le même test montre des différences significatives entre les quatre saisons et pour les deux stations.

Tableau 62: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le zinc

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>H=P, A=E</u>	<u>H=P, E, A</u>	<u>A=H, H=P=E</u>	<u>H=A, A=P=E</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d'une station à l'autre pour l'eau et le sédiment. (Tab.62).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le zinc :

La valeur guide retenue pour le zinc dans les eaux de surface	
Zinc	5 ppm

Les eaux du lac Oubeira sont indemnes de toute pollution par le zinc. En effet toutes les concentrations relevées sont inférieures à la valeur guide retenue.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 63: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	72.1	98.1	114.8	88.4
Ic de la station 1	0.81	1.11	1.30	1.00
Station 2	70.05	87.6	102.8	85.8
Ic de la station 2	0.79	0.99	1.16	0.97
La valeur guide retenue pour le zinc est égale à 88 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le zinc dans le sédiment du lac Oubeira montre des variations spatiotemporelles cet élément présente des indices de contamination variant de 0.81 à 1.30 pour la station 1 et de 0.79 à 1.16 pour la station 2. On relève que les indices de contamination relevés au niveau des deux stations sont plus élevés durant la saison estivale, sans cependant engendrer une situation de pollution par le zinc au niveau du lac Oubeira (Tableau n°).

1.4. Le manganèse :

Les teneurs en manganèse contenues dans l'eau du lac Oubeira sont comprise entre 0,6 et 1,1 ppm; c'est néanmoins la station 1 qui montre des teneurs légèrement plus élevée que celles de la station 2. Nous notons, toutefois, dans les 2 stations, une évolution similaire des teneurs au cours des saisons ; les valeurs minimales étant relevées en hiver et les maximales en été ; ces dernières restent, cependant, assez proche de celles relevées en automne.

Tableau 64 : Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,61	379,05	0,72	520	1,12	600	1,063	436
Station 2	0,613	430,1	0,666	520,5	1,066	600	1,036	470
Moyenne	0.611	404.575	0.693	520.25	1.093	600	1.05	453
Ecart-type	±0.002	±36.09	±0.037	±0.353	±0.037	0	±0.018	±24.041

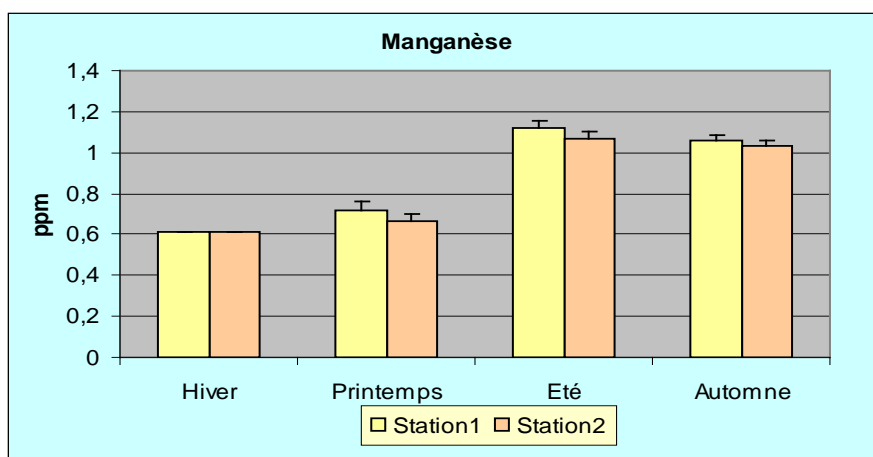


Figure 34: Distribution spatiotemporelle des concentrations en manganèse relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.

Dans le sédiment superficiel du lac Oubeira, le manganèse est présent à des valeurs comprises entre 379 et 600 mg/kg de p.s. Des teneurs élevées et équivalentes sont relevées, dans les 2 stations, au printemps (520 mg/kg de p.s.) et en été (600 mg/kg de p.s.) ; les valeurs les plus basses sont, en revanche, rencontrées en hiver et les valeurs intermédiaires en automne (fig.).

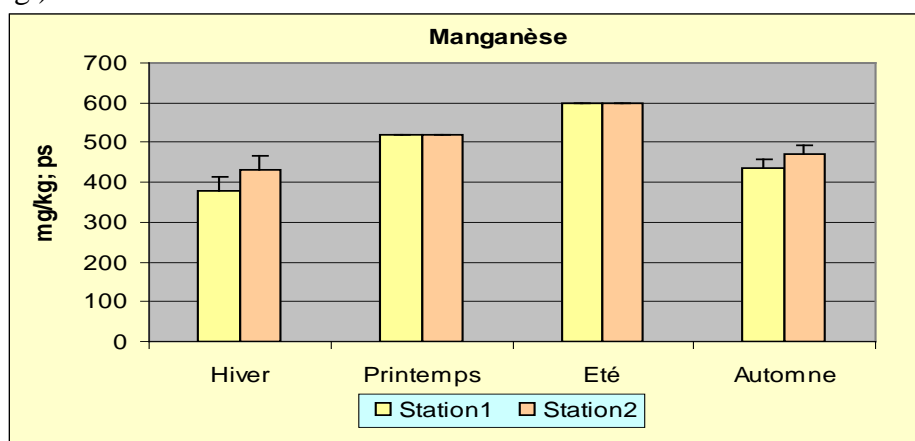


Figure 35: Distribution spatiotemporelle des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 65 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le manganèse dans la comparaison entre les saisons.

Manganèse Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	1.99	1.85	5.23	9.19
Probabilité	0.194NS	0.216NS	0.02*	0.006**

L'AV1 montre une absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en Mn dans les eaux au niveau des deux stations. Pour le sédiment superficiel du lac le même test montre des différences significatives à hautement significatives entre les quatre saisons respectivement au niveau de la station 1 et 2.

Tableau 66: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le manganèse.

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
/	/	H=A, A=P, P=E	H=A, A=P=E

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Pour les eaux, la PPDS ne peut pas être appliquée puisque le test de l'AV1 montre une absence de différences entre les saisons. Quant au sédiment la PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d'une station à l'autre (tab.66)

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le manganèse:

La valeur guide retenue pour le Mn dans les eaux de surface	
Manganèse	0.05 ppm

En se référant aux normes admises les eaux présentent des concentrations supérieures à la norme et donc les eaux du lac Oubeira sont polluées par le Mn.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 67: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le Mn dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	379.1	520	600	436
Ic de la station 1	0.94	1.30	1.50	1.09
Station 2	430.1	520.5	600	470
Ic de la station 2	1.07	1.30	1.50	1.17
La valeur guide retenue pour le manganèse est égale à 400 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le Mn dans le sédiment du lac Oubeira montre des variations spatiotemporelles. Les indices de contamination par cet élément varient de 0.94 à 1.50 au niveau de la station 1 et de 1.07 à 1.50 au niveau de la station 2. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été puis commence à diminuer en automne. Ces indices étant inférieurs à 3, cependant on peut conclure à l'existence d'une zone normale et de classe 1 (Tab.67).

1.5. Le nickel :

Le nickel contenu dans l'eau de la station 2 est à des teneurs légèrement plus élevées que celles notées dans la station 1. Mais en ce qui concerne l'évolution des teneurs en fonction des saisons, elle est similaire dans les 2 stations ; nous notons, en effet, que les valeurs maximales relevées en automne sont jusqu'à plus de 6 fois supérieures à celles de observées en hiver

Tableau 68 : Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,116	119	0,149	82,6	0,497	96	0,776	128,3
Station 2	0,17	99,6	0,350	87,8	0,543	94	0,786	107
Moyenne	0.143	109.3	0.249	85.2	0.52	95	0.781	117.65
Ecart-type	±0.037	±13.717	±0.141	±3.676	±0.032	±1.41	±0.007	±15.061

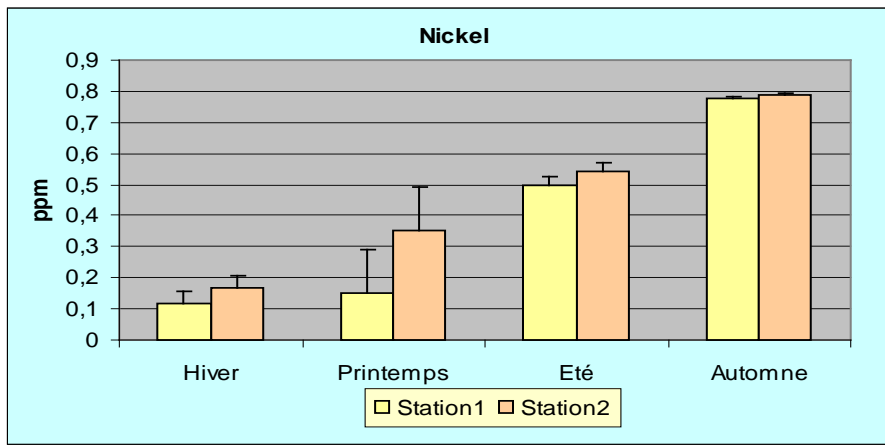


Figure 36: Distribution spatiotemporelle des concentrations en nickel relevées dans l’eau superficielle du lac Oubeira.

Le nickel est présent dans le sédiment superficiel du lac Oubeira à des teneurs comprises entre 82 et 128 mg/kg de p.s. dans la station 1 et entre 87.107 mg/kg de p.s. dans la station 2. L’évolution des teneurs au cours des saisons est similaire dans les 2 stations; les teneurs sont basses au printemps, puis augmentent progressivement en été pour ensuite atteindre les valeurs maximales en période automnale et marquer une légère baisse en hiver (fig. 37).

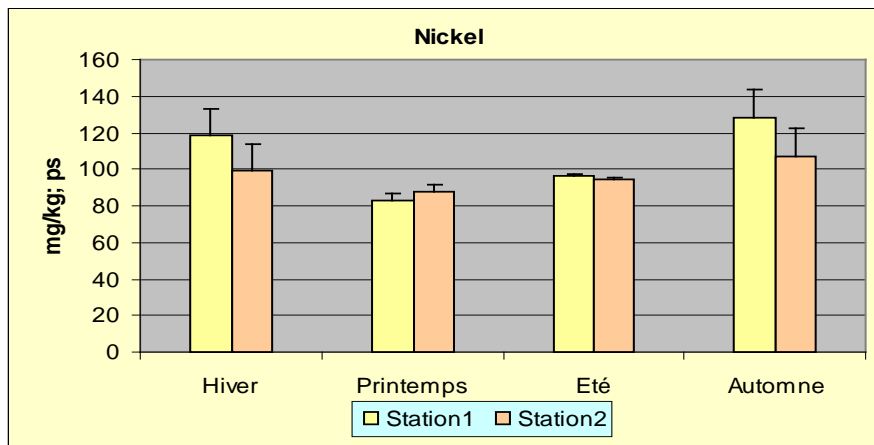


Figure 37 : Distribution spatiotemporelle des teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 69 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le nickel dans la comparaison entre les saisons

nickel Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	9.32	13.50	1.43	1.20
Probabilité	0.005**	0.002**	0.3NS	0.37NS

L’AV1 montre l’existence de différences hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en nickel dans les eaux et cela pour deux stations.

Le même test montre une absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en nickel dans le sédiment superficiel pour deux stations.

Tableau 70: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le nickel

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
H=P, E=A	H=P=E, A	/	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d'une station à l'autre concernant la répartition des teneurs en nickel dans l'eau. Quant au sédiment la PPDS ne peut être appliquée car l'AV1 montre une absence de différence entre les quatre saisons (tabl.70).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le nickel:

La valeur guide retenue pour le Nickel dans les eaux de surface	
Nickel	0.05 ppm

L'eau du lac Oubeira est polluée par le nickel, du fait que les concentrations enregistrées dépassent la valeur guide retenue pour le nickel (0.5ppm)

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 71: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le nickel dans le Sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	119	82.6	96	128
Ic de la station 1	2.64	1.84	2.13	2.85
Station 2	99.6	87.8	94	107
Ic de la station 2	2.21	1.95	2.09	2.38
La valeur guide retenue pour le nickel est égale à 45 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le nickel dans le sédiment du lac Oubeira montre des variations spatiotemporelles. Les indices de contamination par cet élément se situent dans la fourchette de 1.84 à 2.85 au niveau de la station 1 et de 1.95 à 2.38 au niveau de la station 2(tab.71). Le niveau des indices de contamination relevés au niveau des deux stations et pour l'ensemble des saisons est inférieur à 3. Il permet de conclure à une absence de pollution par le nickel au niveau du lac Oubeira et de qualifier ce dernier comme zone normale et de classe1.

1.6. Le chrome:

Les teneurs en chrome contenues dans l'eau du lac Oubeira sont comprises entre 0,05 et 1,7 ppm; c'est par ailleurs la station 2 qui montre les valeurs les plus basses. Les teneurs minimales sont relevées en hiver et les maximales en automne ; ces dernières sont 2 et 4 fois plus importantes que celles relevées, respectivement, en été et au printemps.

Tableau 72 : Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira

Saisons milieu	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,079	144,95	0,433	78,5	0,676	90	1,713	157
Station 2	0,056	115,25	0,323	71,2	0,506	76	1,463	119
Moyenne	0.067	130.1	0.378	74.85	0.591	83	1.588	138
Ecart-type	±0.015	±21.001	±0.078	±5.161	±0.120	±9.89	±0.176	±26.87

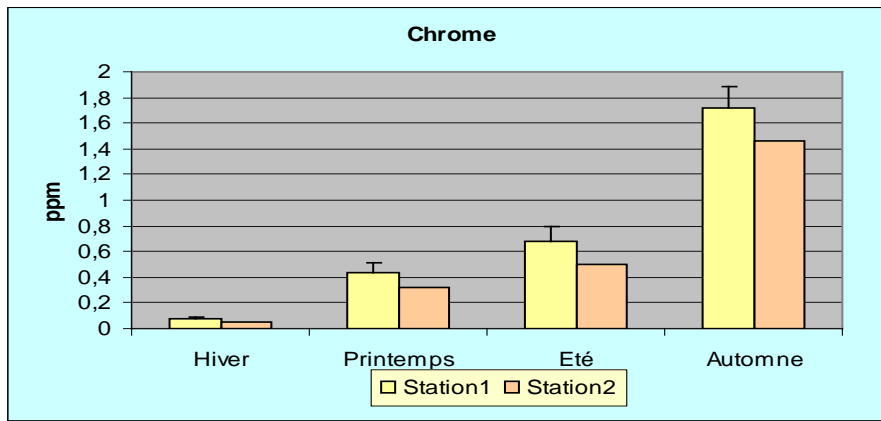


Figure 38: Distribution spatiotemporelle des concentrations en chrome relevées dans l’eau superficielle du lac Oubeira.

Les teneurs en chrome contenues dans le sédiment superficiel du lac Oubeira varient de 71 à 157 mg/kg de p.s. ; les teneurs les plus basses étant relevée dans la station 2 (71.119 mg/kg de p.s.). Les teneurs en chrome évoluent de manière similaire au cours des saisons ; nous notons, que les teneurs sont basses au printemps puis augmentent progressivement en été pour atteindre un pic en automne et ensuite baisser légèrement en hiver (fig. 39).

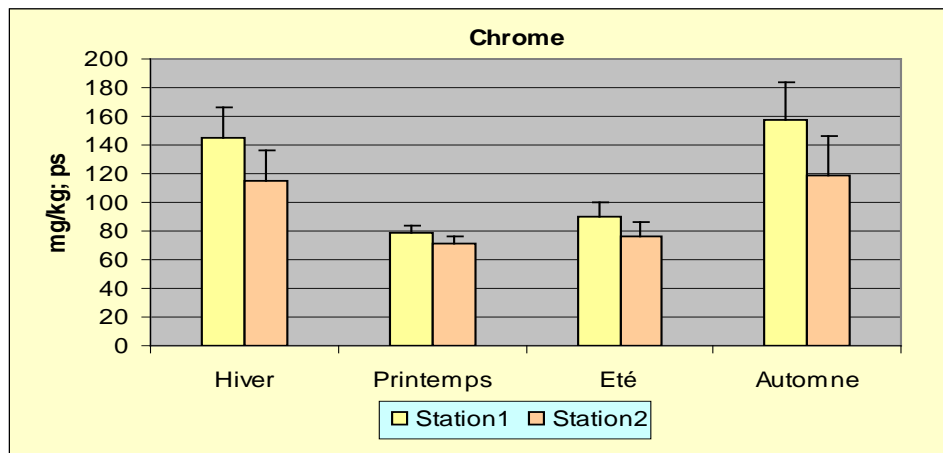


Figure 39: Distribution spatiotemporelle des teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 73 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le chrome dans la comparaison entre les saisons

Nickel Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	47.91	38.24	1.62	1.83
Probabilité	0.000***	0.000***	0.26NS	0.21NS

L’AV1 montre l’existence de différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en chrome dans les eaux et cela, au niveau des deux stations. Pour le sédiment il y a une absence de différences significatives entre les quatre saisons pour les deux stations.

Tableau 74 : Résultats du test de la PPDS appliqué pour le chrome

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
P=E, H,A	H=P=E, A	/	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS affiche que les groupes de saisons identiques diffèrent d'une station à l'autre concernant la répartition des teneurs en chrome dans l'eau. Quant à la répartition des teneurs en chrome dans le sédiment du lac Oubeira, la PPDS ne peut être appliquée car l'AV1 montre une absence de différence entre les quatre saisons (tab.74).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le chrome :

La valeur guide retenue pour le chrome dans les eaux de surface	
Chrome	0.05

En tenant compte des normes admises l'eau et le sédiment du lac Oubeira sont pollués par le chrome avec des concentrations maximales respectivement de l'ordre de 1.71mg/l et 157 mg/kg de p.s, enregistrées pendant la saison automnale.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 75: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le Chrome dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
Station 1	115	78.5	90	157
Ic de la station 1	2.55	1.74	2.00	3.48
Station 2	115.3	71.2	76	119
Ic de la station 2	2.56	1.58	1.68	2.64
La valeur guide retenue pour le chrome est égale à 45 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le chrome dans le sédiment du lac Oubeira montre d'importantes variations spatiotemporelles Ils varient entre 1.74 et 3.48 au niveau de la station 1 et de 1.58 à 2.64 au niveau de la station 2(Tab.75). Les valeurs d'indices les plus élevées sont relevées durant la saisons automnale. Ces indices étant en générale inférieurs à 3, nous pouvons dire que le lac Oubeira est une zone normale et de classe 1.

1.7. Le plomb :

Dans l'eau du lac Oubeira, les teneurs en plomb diffèrent d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. Les valeurs minimales sont relevées, en hiver dans la station 2 (0,43 ppm) et au printemps dans la station 1 (0,353 ppm); quant aux teneurs maximales, elles sont notées en été dans la station 1 (0,55 ppm) et en automne dans la station 2 (0,48 ppm).

Tableau 76 : Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira

Saisons	Hiver		Printemps		Été		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,443	13,9	0,353	21	0,556	26,6	0,46	19
Station 2	0,433	17,9	0,44	19,5	0,465	27,8	0,486	23,15
Moyenne	0.438	15.9	0.396	20.25	0.511	27.2	0.473	21.075
Ecart-type	±0.007	±2.828	±0.061	±1.06	±0.064	±0.848	±0.018	±2.934

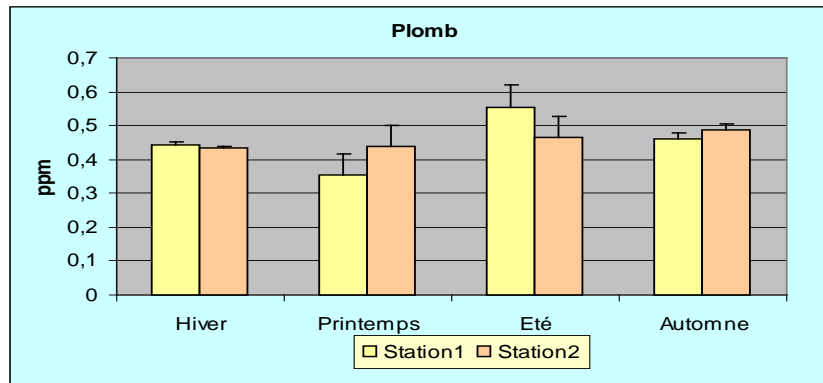


Figure 40: Distribution spatiotemporelle des concentrations en plomb relevées dans l’eau superficielle du lac Oubeira.

Dans le lac Oubeira les teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel sont comprises entre 13 et 27 mg/kg de p.s. c’est dans la station 2 que les teneurs les plus élevées sont relevées. Dans les 2 stations, les teneurs montrent une évolution similaire d’une saison à l’autre ; nous notons, en effet, des teneurs maximales, en été, qui font presque le double des minimales relevées en hiver ; les teneurs intermédiaires sont observées en période printanière et automnale (fig.41).

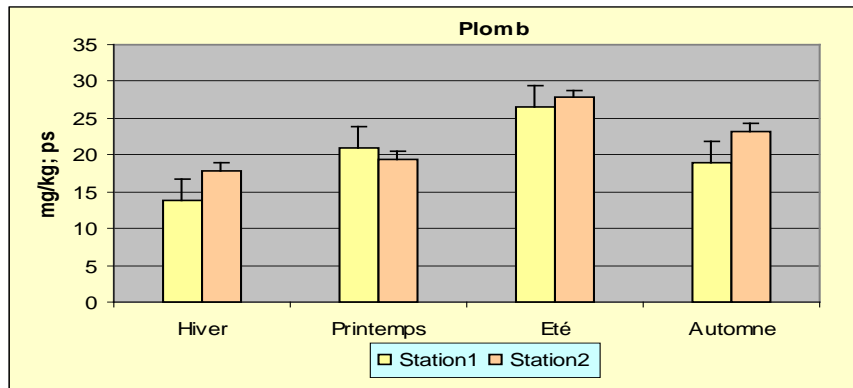


Figure 41: Distribution spatiotemporelle des teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 77 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le plomb dans la comparaison entre les saisons

Plomb Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	1.15	3.59	0.67	8.61
Probabilité	0.38NS	0.06NS	0.59NS	0.007**

L’AV1 montre une absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en plomb dans les eaux. Quant au sédiment, l’AV1 montre une absence de différence entre les saisons pour la station 1 et des différences hautement significatives pour la station 2.

Tableau 78: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le plomb

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
/	/	/	<u>H=P</u> , <u>A=E</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS ne peut être appliquée pour l'eau et le sédiment (station 1), car l'AV1 montre une déjà une absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la répartition du plomb. Quant au sédiment (station 2) le mêmes test affiche deux couples de saisons identiques concernant la distribution des teneurs en plomb (tab.78).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le plomb :

La valeur guide retenue pour le Pb dans les eaux de surface	
Plomb	0.05 ppm

Les eaux du lac Oubeira présentent des concentrations supérieures à la norme classant ainsi les eaux de l'Oubeira comme polluées.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 79 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le plomb dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	13.9	21	26.6	19
Ic de la station 1	0.63	0.95	1.20	0.86
Station 2	17.9	19.5	27.8	23.15
Ic de la station 2	0.81	0.88	1.26	1.05
La valeur guide retenue pour le plomb est égale à 22 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le plomb dans le sédiment du lac Oubeira montre d'importantes variations spatiotemporelles. Ces indices de contamination par le plomb varient de 0.63 à 1.20 au niveau de la station 1 et de 0.81 à 1.26 au niveau de la station 2. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été puis commence à diminuer en automne. Le niveau des indices de contamination relevés est inférieur à 3 et il permet de conclure à une absence de pollution par le plomb au niveau du lac Oubeira et de qualifier ce dernier comme zone normale et de classe 1 (Tab.79).

1.8. Le cadmium :

Les teneurs en cadmium contenues dans l'eau du lac Oubeira varient d'une station à l'autre ; dans la station 1, elles varient de 0,001 à 0,015 ppm et dans la station 2 elles sont comprises entre 0,003 et 0,019 ppm. Les teneurs sont de l'ordre du 15/100^{ème} au printemps dans la station 1 et du 13/100^{ème} et 19/100^{ème} respectivement au printemps et en automne dans la station 2.

Tableau 80 : Teneurs en cadmium relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,005	0,053	0,015	0,070	0,001	0,023	0,008	0,020
Station 2	0,004	0,037	0,013	0,032	0,003	0,040	0,019	0,041
Moyenne	0,005	0,045	0,014	0,051	0,002	0,031	0,013	0,030
Ecart-type	± 0,0007	± 0,010	± 0,0014	± 0,026	± 0,001	± 0,012	± 0,007	± 0,014

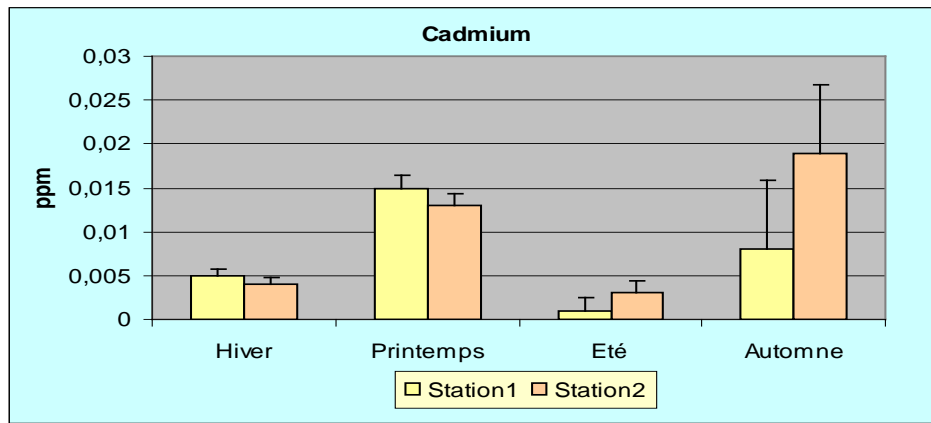


Figure 42 : Distribution spatiotemporelle des concentrations en cadmium relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.

Les teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira varient d'une station à l'autre ; Les teneurs relevées varient de 0,02 à 0,05 mg/kg de p.s. et de 0,03 à 0,04 mg/kg de p.s. respectivement dans la station 1 et 2. Nous notons, par ailleurs, que les teneurs saisonnières montrent des différences d'une station à l'autre ; nous observons, dans la station 1 des teneurs élevées, de 0,05 et 0,07 mg/kg de p.s. respectivement en hiver et au printemps, et des valeurs proche de 0,02 mg/kg de p.s. en période estivale et automnale. Dans la station 2, les valeurs élevées (proche de 0,04 mg/kg de p.s.) sont plutôt observées en période estivale et automnale et les valeurs plus basses (proche de 0,03 mg/kg de p.s.) sont rencontrées en période automnale et printanière (fig.43).

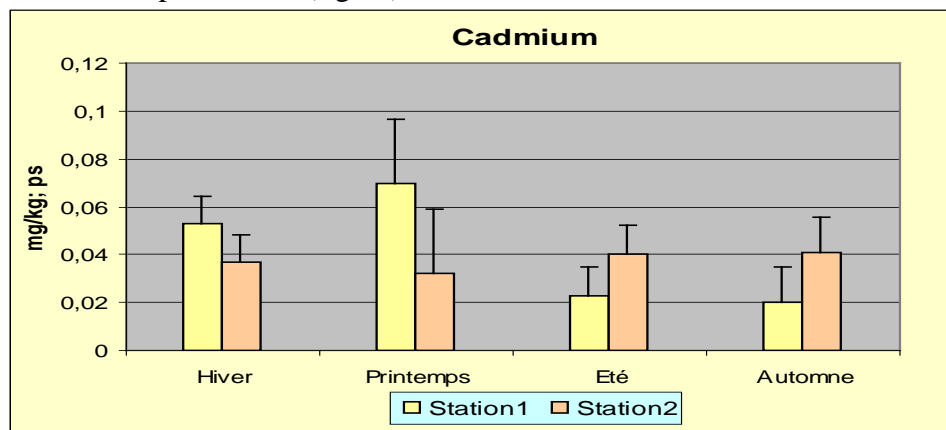


Figure 43 : Distribution spatiotemporelle des teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 81 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cadmium dans la comparaison entre les saisons

Cadmium Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	9.10	2.10	2.8	1.06
Probabilité	0.006**	0.17NS	0.10 NS	0.41 NS

Pour l'eau, l'AV1 montre l'existence de différences hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en cadmium pour la station 1 par contre pour la station 2 l'AV1 montre une absence de différences significatives entre les quatre saisons. Pour le sédiment, l'AV1 montre une absence de différences significatives dans la répartition des teneurs en cadmium et cela entre les quatre saisons et dans les deux stations.

Tableau 82: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le cadmium

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
E=H=A, P	/	/	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS ne peut être appliquée pour l'eau (Station 2), et le sédiment car l'AV1 montre une absence de différences significatives entre les quatre saisons. Quant à l'eau (station 1) le même test affiche deux groupes de saisons identiques (tab.82).

-Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le cadmium :

La valeur guide retenue pour le cadmium dans les eaux de surface	
Cadmium	0.005 ppm

L'eau du lac Oubeira est polluée par le cadmium. Du fait que les concentrations du cadmium sont supérieures à la valeur guide.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 83: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
Station 1	0.05	0.07	0.02	0.02
Ic de la station 1	0.09	0.12	0.04	0.03
Station 2	0.04	0.03	0.04	0.04
Ic de la station 2	0.06	0.05	0.07	0.07
La valeur guide retenue pour le cadmium est égale à 0.6 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le cadmium dans le sédiment du lac Oubeira montre des variations assez variables dans l'espace et dans le temps. Ces indices de contamination, varient de 0.03 à 0.12 au niveau de la station 1 et de 0.05 à 0.07 au niveau de la station 2. (tab.83). Les valeurs relevées de ces indices de contamination sont nettement en dessous de la valeur norme (3), cependant ils n'affichent aucune pollution, par conséquent, le lac Oubeira est une zone non polluée par le cadmium et de classe 1.

1.9. Le mercure :

Dans la station 1 les teneurs en mercure contenues dans l'eau montrent des valeurs minimale 0.06 et maximale 0.11 (respectivement en hiver et en automne et des valeurs intermédiaires au printemps et en été. La station 2 présente des teneurs assez différentes entre la saison printanière (0.003ppm) et les trois autres saisons. (tab.84)

Tableau 84: Teneurs en mercure relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) du lac Oubeira

Saisons	Hiver		Printemps		Été		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,0661	0,108	0,0906	0,053	0,1066	0,120	0,093	0,114
Station 2	0,0816	0,076	0,0423	0,003	0,0906	0,162	0,095	0,159
Moyenne	0.073	0.092	0.066	0.028	0.0986	0.141	0.094	0.137
Ecart.type	±0,010	±0.022	±0.033	±0.035	±0.011	±0.029	±0.0016	±0.031

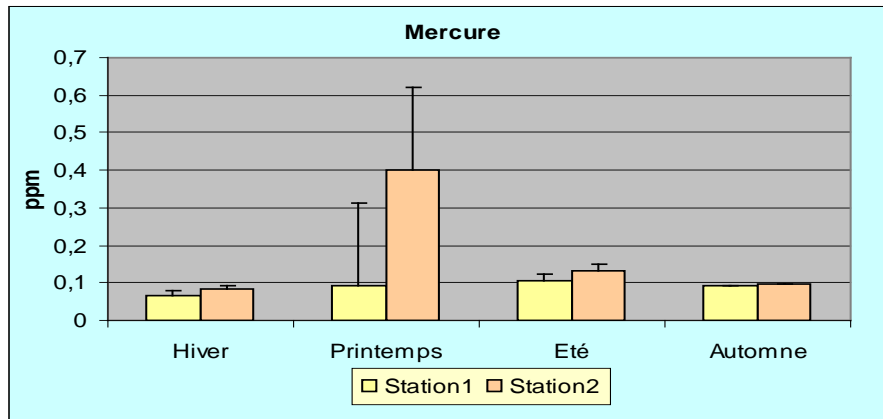


Figure 44: Distribution spatiotemporelle des concentrations en mercure relevées dans l'eau superficielle du lac Oubeira.

Les teneurs en mercure varient d'une station à l'autre ; elles sont comprises entre 0,003 à 0,162 mg/kg de p.s. dans la station 2 et de 0,053 à 0,120 mg/kg de p.s. dans la station 1. Les teneurs relevées dans les 2 stations évoluent de manière similaire ; elles sont basses au printemps puis montrent une augmentation importante en été, ou elles atteignent leur maximum, pour ensuite baisser progressivement en automne et en hiver (fig.45).

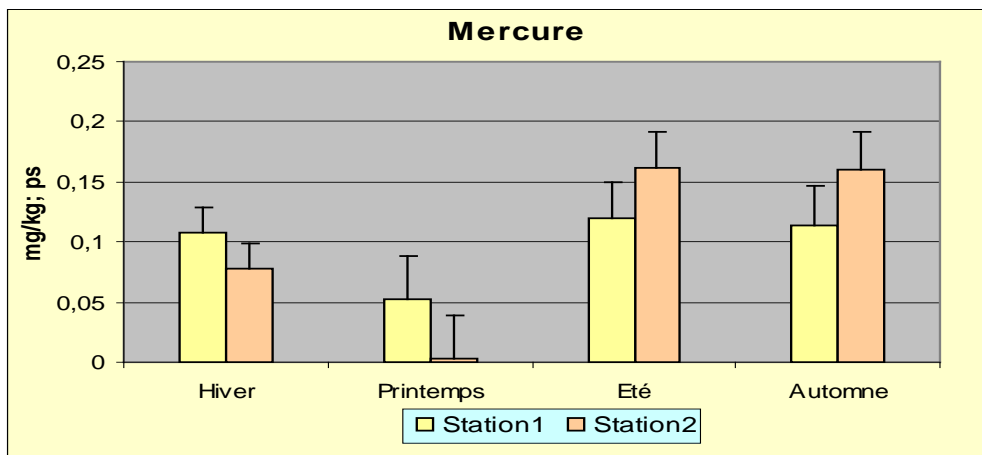


Figure 45: Distribution spatiotemporelle des teneurs en mercure relevées dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Tableau 85 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le mercure dans la comparaison entre les saisons

Mercure Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	/	/	0.07	2.75
Probabilité	/	/	0.97NS	0.11NS

Pour l'eau le mercure est sous forme de trace durant les quatre saisons .Pour le sédiment, l'AV1 montre l'absence de différences significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en mercure au niveau des deux stations (tab.85).

Tableau 86: Résultats du test de la PPDS appliqué pour le mercure.

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
/	/	/	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

La PPDS ne peut pas être appliquée dans ce cas, pour l'eau pas de valeur et pour le sédiment le test AV1 montre une absence de différence significative entre les quatre saisons (tab.86).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments du lac Oubeira par le mercure :

La valeur guide retenue pour le mercure dans les eaux de surface	
Mercure	0.001

L'eau superficielle du lac Oubeira est polluée par le mercure avec des concentrations maximales relevées durant l'été (0.09 mg/l et 0.1mg/l).

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 87: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le mercure dans le sédiment superficiel du lac Oubeira.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	0.109	0.053	0.120	0.114
Ic de la station 1	0.54	0.26	0.60	0.57
Station 2	0.076	0.003	0.162	0.159
Ic de la station 2	0.38	0.01	0.81	0.79
La valeur guide retenue pour le mercure est égale à 0.2 mg/kg p.s				

Les indices de contamination par le mercure, varient de 0.26 à 0.60 au niveau de la station 1 et de 0.01 à 0.81 au niveau de la station 2. Ces valeurs d'indices sont variables dans l'espace et dans le temps, les plus élevés sont relevés durant l'été (tab.87). Les valeurs de ces indices de contamination sont nettement en dessous de la valeur norme (3), cependant ils n'affichent aucune pollution, par conséquent, le lac Oubeira est une zone non polluée par le mercure et de classe1.

2 - Teneurs en métaux lourds relevées dans la chair d'Anodonte peuplant le lac Oubeira :

Tableau 88: Variations de 9 métaux lourds (mg/kg ; ps) dans la chair d'Anodontes peuplant lac Oubeira

	Stations/ETM	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
		HIVER								
	Station1	20,4	77,81	3,06	247,36	16,515	16,185	13,59	1,0615	0,09
	Station2	34,435	73,675	2,92	392,295	29,3	25,595	15,695	1,1025	0,093
	Moyenne	27,418	75,743	2,99	319,828	22,908	20,89	14,643	1,082	0,0915
	Ecart-type	±9,9242	±2,9239	±0,099	±102,485	±9,0404	±6,6539	±1,4885	±0,029	±0,0021
ETE										
	Station1	55,69	232,79	11,745	602,62	99,64	80,28	10,435	1,2125	2,635
	Station2	36,105	100,64	11,84	465,62	50,89	45,97	15,43	0,6635	0,119
	Moyenne	45,898	166,72	11,793	534,12	75,265	63,125	12,933	0,938	1,377
	Ecart-type	±13,84	±93,444	±0,0672	±96,8736	±34,471	±24,261	±3,532	±0,3882	±1,7791
VGF	(mg/kg de p.s)	250	110	6.5	1	6	1.8	1.5	0.5	0.1

VGF : valeurs guides françaises

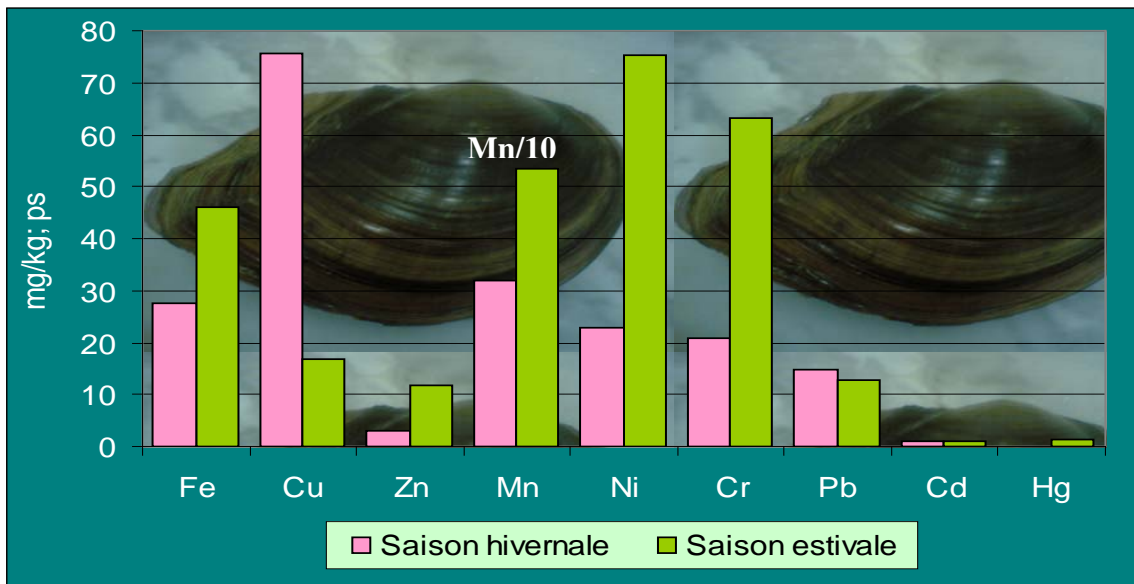


Figure 46: Distribution des teneurs moyennes (mg/kg de poids sec) en métaux lourds relevées dans la chair des Anodontes peuplant lac Oubeira.

Remarque : pour des raisons de présentation on a divisé les teneurs moyennes du Mn par 10 (fig. 46)

La chair d’Anodonte présente des teneurs en fer comprises entre 20 et 55 mg/kg de p.s. En période estivale, les teneurs sont élevées dans les 2 stations. Nous notons, par ailleurs, que dans la station 1, les valeurs relevées en été font plus du double de celles relevées en hiver. Dans la station 2 les teneurs sont en revanche très proche d’une période à l’autre (fig.46).

Les teneurs en zinc contenu dans la chair d’anodonte sont comprises entre 73 et 232 mg/kg de p.s; En période estivale, la chair d’anodonte de la station 1 montre des teneurs en cuivre 3 fois plus élevées que celles de l’hiver ; mais, en revanche, la hausse relevée dans la station 2 est moins importante (fig.46).

Le cuivre contenu dans la chair d’anodonte est à des concentrations comprises entre 2,9 et 11,8 mg/kg de p.s. Les teneurs varient très peu d’une station à l’autre mais elles montrent une hausse importante en période estivale, atteignant jusqu’à 4 fois la valeur relevée en hiver (fig.46).

La chair d’anodonte contient de fortes teneurs en manganèse (247 à 602 mg/kg de p.s.) ; nous notons toutefois que les valeurs relevées varient d’une station à l’autre et d’une saison à l’autre. Les teneurs élevées sont relevées chez l’anodonte de la station 2 en hiver et celle de la station 1 en été. Chez l’anodonte de la station 1, la teneur en manganèse double par rapport à celle de l’hiver (fig.46).

Le nickel est présent dans la chair d’anodonte à des teneurs variant de 16 à 99 mg/kg de p.s., c’est toutefois en hiver que les teneurs les plus basses sont relevées. Une importante hausse des teneurs en nickel est observée chez l’anodonte de la station 1 ou la concentration en nickel est multipliée par 5 (fig.46).

Les teneurs en chrome rencontrées dans la chair d'anodonte sont comprises entre 16 et 80 mg/kg de p.s; dans les 2 stations, elles sont basses en hiver et marquent une hausse en hiver. C'est toutefois chez l'anodonte de la station 1 que la teneur en chrome est 5 fois plus élevée en période estivale (fig.46).

Dans la chair d'anodonte les teneurs en plomb varient de 10 à 16 mg/kg de p.s. Dans la station 1, les teneurs montrent une légère baisse en été mais en revanche dans la station 2 les teneurs relevées au cours des 2 périodes sont très proche (fig.46).

Le cadmium est présent dans la chair d'anodonte à des concentrations variant entre 0,6 et 1,12 mg/kg de p.s. En période hivernale les teneurs relevées dans les 2 stations sont très proche ; mais en revanche en période estivale, l'anodonte de la station 1 montre le double de la teneur relevée chez l'anodonte de la station 2 (fig.46).

Les teneurs en mercure rencontrées dans la chair d'anodonte peuplant les 2 stations ne dépassent pas 0,1 mg/kg de p.s. en période hivernale. Toutefois, en période estivale, la teneur en mercure de l'anodonte de la station 1 est 26 fois plus élevée que celle de l'anodonte de la station 2 (fig.46).

- Niveau de contamination par les métaux lourds de la chair des anodontes peuplant lac Oubeira :

Les résultats du dosage des métaux lourds contenus dans la chair des anodontes montrent des variations spatiotemporelles. Les teneurs en métaux lourds les plus élevées sont relevées chez les moules prélevées durant l'été. En se basant sur les valeurs guides françaises, nous pouvons considérer que les moules peuplant lac Oubeira et prélevées durant l'été sont fortement contaminées par le cuivre, zinc, le manganèse, le nickel, le chrome, le plomb, le cadmium et le mercure.

Quant aux moules prélevées durant l'hiver, se sont les éléments manganèse, nickel, chrome, plomb et cadmium contenues dans la chair qui dépassent les normes ; ces résultats montrent la grande capacité de ces espèce à bioaccumuler les métaux lourds dans leur organismes.

Il reste à signaler que la contamination elle est plus importante durant l'été, cela du fait que le niveau des concentrations de ces éléments métalliques est aussi plus important durant l'été dans le milieu (Eau et sédiment).

3 - Détermination du niveau de la contamination métallique au niveau du lac Oubeira :

L'évaluation du niveau de la contamination du lac Oubeira durant l'année 2006 est basée sur les normes de la communauté européenne, les normes françaises et les recommandations algériennes.

Les résultats des neuf métaux lourds dosés dans l'eau du lac Oubeira, nous permettent de conclure que les eaux de ce plan d'eau sont polluées par le fer(17.19mg/l), le manganèse(1.12mg/l), le cuivre (2.78mg/l), le nickel (0.78mg/l), le chrome (1.71mg/l), le plomb (0.55mg/l), le cadmium (0.019mg/l)et le mercure (0.1mg/l), cela est enregistré au niveau des deux stations considérées dans ce lac et durant les quatre saisons de l'année 2006.Seul le zinc présente des concentrations normale durant toute la période d'étude.

En revanche, 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 ».

Quant aux autres éléments analysés (Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Hg) 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 ».

Par ailleurs, les résultats des analyses réalisés dans la chair des Anodontes peuplant lac Oubeira, montrent une contamination de la chair de ces bivalves par le Zn, Mn, Ni, Cr, Pb et Cd, du fait que ces valeurs dépassent les normes requises (OMS, CE et Françaises). En revanche, la chair de ce bivalve ne montre aucune contamination par le fer.

Ces différents résultats, nous permettons de conclure que ces mollusques bivalves ont une grande capacité à bioaccumuler les métaux lourds dans leur organismes et de ce fait ces bivalves sont fortement contaminés voire toxiques.

Il reste à signaler que la distribution des métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel du lac Oubeira est variable d'une saison à l'autre, cette observation est appuyée par deux test statistiques en l'occurrence l'analyse de la variance (AV1) et la PPDS.

CHAPITRE III

Troisième partie : Résultats « Lac El-Mellah »

I. Teneurs en métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah :

1.1. Le fer :

Dans la lagune El-Mellah, les teneurs en fer relevées dans l'eau sont comprises entre 1,8 et 6,4 ppm et celles contenues dans le sédiment superficiel sont comprises entre 1370 et 6500 ppm; c'est toutefois dans la station 1 que les teneurs en fer sont les plus élevées, représentant généralement le double de celles observées dans la station 2. Nous notons, par ailleurs, que les teneurs en fer varient d'une saison à l'autre ; les teneurs relevées, sont basses en hiver puis remontent légèrement au printemps pour atteindre le maximum en été et entamer une baisse en automne (fig.47).

Tableau 89 : Teneurs en fer dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah

Saisons milieux	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	3,106	6045	6,313	6100	6,47	6500	5,446	6250
Station 2	1,826	1370	2,163	1500	3,33	1900	2,633	1725
Moyenne (Ecart-type)	2,466 ±0,905	3707,5 ±3305,7	4,238 ±2,934	3800 ±3255,69	4,901 ±2,21	4200 ±3252,6	4,04 ±1,989	3987,5 ±3199,6

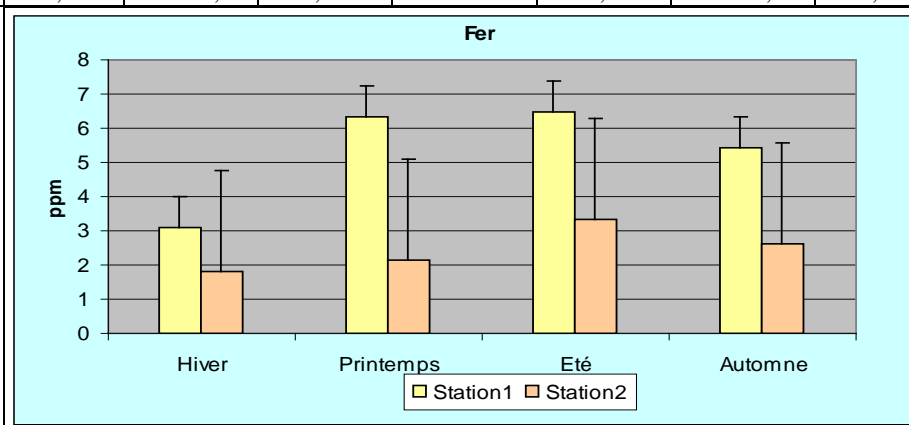


Figure 47: Distribution spatiotemporelle des concentrations en fer relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.

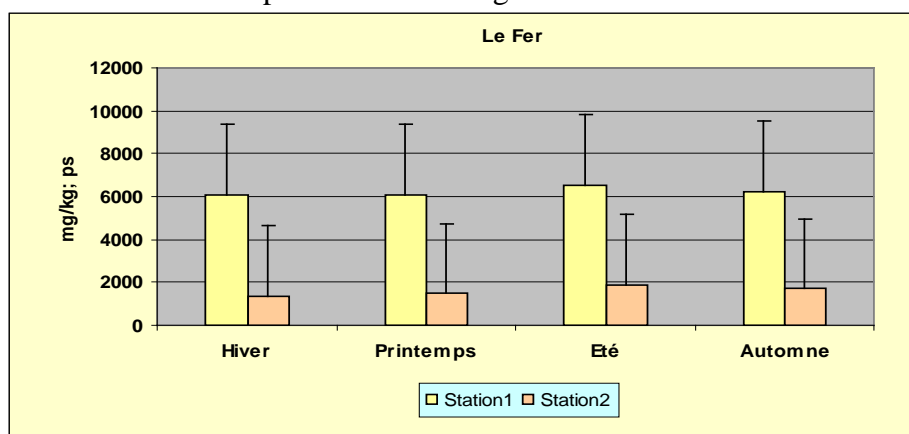


Figure 48: Distribution spatiotemporelle des teneurs en fer relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah

Tableau 90 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le fer dans la comparaison entre les saisons

Fer Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	47.92	17.65	0.72	13.51
Probabilité	0.000***	0.001***	0.45 NS	0.002**

L'AV1 montre qu'il existents des différences très hautement significatives entre les quatre saisons concernant la distribution des teneurs en fer dans les eaux de la lagune et cela au niveau des deux stations.

En revanche, dans le sédiment superficiel, l'AV1 montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre les saisons au niveau de la station1, en revanche il existe des différences hautement significatives entre les saisons au niveau de la station 2 (tab.90).

Tableau 91: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le fer

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>P=E</u>	<u>H=P=A, E</u>	/	<u>P=H, A=E</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Pour la distribution du fer, la PPDS affiche que les saisons identiques ne sont pas les mêmes d'un compartiment à l'autre et d'une station à l'autre (tab.91).

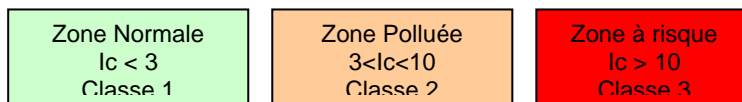
- Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le fer :

La détermination du niveau de la pollution des eaux par les métaux lourds, est basée sur les normes de la CE concernant les eaux de surface, En revanche le classement du sédiment est basé sur la valeur de l'indice de contamination.

La valeur guide retenue pour le fer dans les eaux de surface (CE).	
Fer	0.2 ppm

Selon la norme retenue pour le fer (0.2 ppm), les eaux de la lagune El Mellah montrent des concentrations en fer dépassant cette valeur, cependant nous pouvons considérer ses eaux comme polluées par le fer.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*



Interprétation selon l'Agence du Bassin du Rhône

► *calcul de l'indice de contamination (Ic):*

$$Ic = \frac{\text{Teneur relevée dans le sédiment (mg/kg ; p.s)}}{\text{Teneur considérée comme normale (mg/kg ; p.s)}}$$

Tableau 92: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le fer dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Teneurs en mg/Kg p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	6045	6100	6500	6250
Ic de la station 1	3.02	3.05	3.25	3.12
Station 2	1370	1500	1900	1725
Ic de la station 2	0.68	0.75	0.95	0.85
La valeur guide retenue pour le fer est égale à 2000 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic pour le fer dans le sédiment de la lagune montre d'importantes variations spatiotemporelles. Les indices de contamination par cet élément présentent des valeurs assez proches au niveau de la station 1, variant entre 3.02 et 3.25, également pour la station 2, les indices relevés varient entre 0.68 et 0.95. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été, la même remarque a été relevé au niveau du lac Tonga concernant la distribution saisonnière du fer. Du fait que les valeurs d'indices relevées dans la lagune (St1) soient comprises 3 et 10, nous pouvons considérer cette station comme une zone polluée par le fer et de classe 2. En revanche les Ic de la station 2 sont inférieurs à 3 ce qui permet de la classer comme zone normale et de classe 1 (Tab.92).

1.2. Le cuivre :

L'eau de la lagune montre des teneurs en cuivre comprises entre 0,05 et 0,09 ppm; les teneurs en cuivre sont identiques en hiver et au printemps puis augmentent en été pour baisser en automne.

Tableau 93 : Teneurs en cuivre relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,076	6,35	0,076	6	0,096	8	0,054	7,34
Station 2	0,07	6,1	0,07	4,9	0,08	8	0,076	6
Moyenne (Ecart-type)	0,073 ±0,004	6,225 ±0,176	0,073 ±0,004	5,45 ±0,777	0,088 ± 0,011	8 ± 0	0,065 ±0,016	6,67 ±0,95

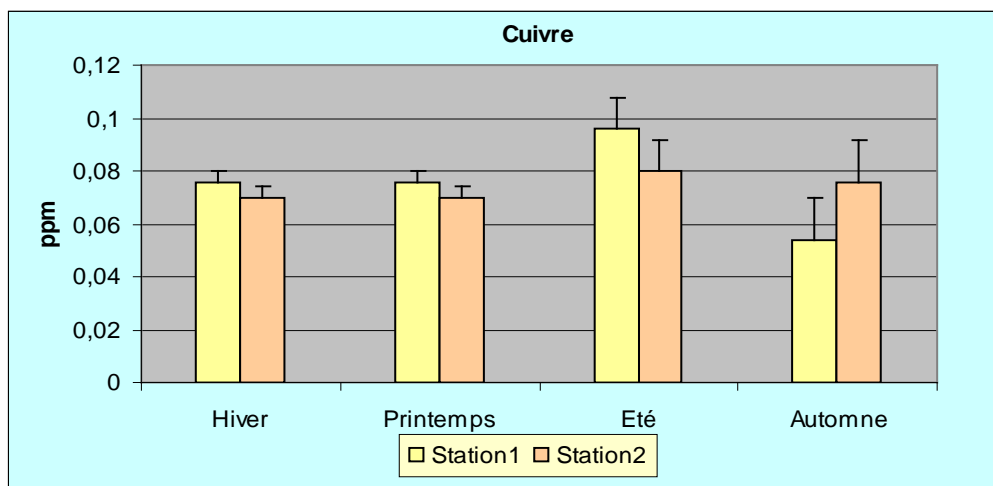


Figure 49: Distribution spatiotemporelle des concentrations en cuivre relevées dans l'eau superficielle de lac El-Mellah.

Dans le sédiment superficiel de la lagune, les teneurs en cuivre varient de 4,9 mg/kg de p.s. (dans la station 2 en période printanière) à 8 mg/kg de p.s. (dans les 2 stations en période estivale). Les teneurs en cuivre montrent des variations d’une station à l’autre et d’une saison à l’autre. En ce qui concerne les stations, les teneurs sont généralement plus élevées dans la station 1, variant de 6 à 8 mg/kg de p.s. contre 4,9 à 8 mg/kg de p.s. dans la station 2. C’est au printemps que les teneurs en cuivre sont les plus basses; ces dernières remontent pour atteindre la valeur maximale en été (8 mg/kg de p.s. dans les 2 stations) pour ensuite baisser progressivement en périodes automnale et hivernale (fig.50).

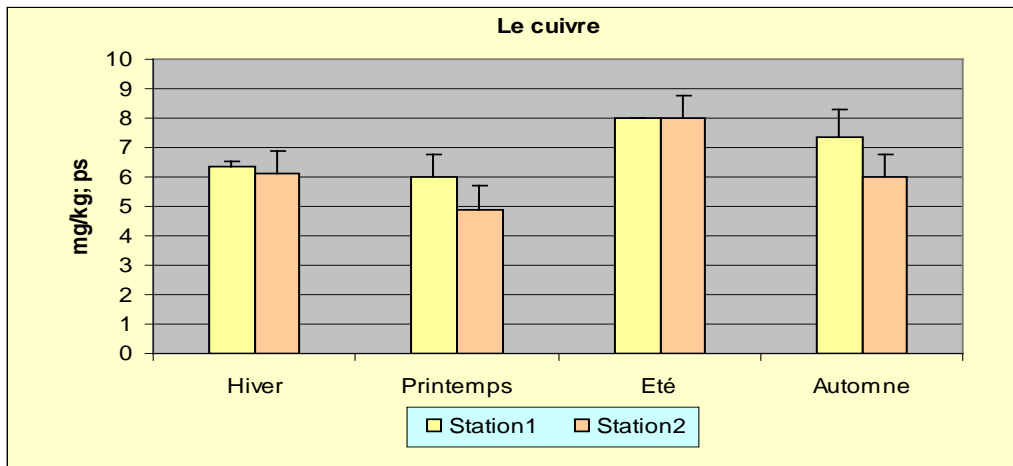


Figure 50: Distribution spatiotemporelle des teneurs en cuivre relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 94 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le cuivre dans la comparaison entre les saisons

Cuivre Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	1.44	0.90	9.95	25.25
Probabilité	0.302 NS	0.48 NS	0.004**	0.000***

Selon la valeur de p ; l’analyse de la variance à un critère de classification (AV1) appliquée pour comparer la distribution des teneurs en cuivre dans les eaux durant les périodes considérées , montre l’absence des différences significatives entre les saisons au niveau des deux stations ; Alors que dans le sédiment, l’AV1 montre qu’ils existent des différences hautement significatives entre les saisons au niveau de la station 1 et très hautement significatives au niveau de la station 2 (tab.94).

Tableau 95: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le cuivre

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
/	/	P=H ; A=E	A=H=E ; P

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Le deuxième test statistique de comparaison « PPDS » appliquée afin de déterminer les saisons qui sont identique concernant la distribution des teneurs en cuivre affiche que les groupes de saisons identiques varient d’une station à l’autre pour le compartiment sédiment (tab.95). Pour les eaux on peut pas appliquer ce test car l’AV1 montre qu’il n y a pas de différences entre les saisons.

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le cuivre :

La valeur guide retenue pour le cuivre dans les eaux de surface (CE).	
Cuivre	1ppm

En se référant à la valeur requise pour le cuivre, les eaux de la lagune sont indemnes de toute pollution par le cuivre.

Tableau 96: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cuivre dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah

Teneurs en mg/Kg p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	6.35	6	8	7.34
Ic de la station 1	0.24	0.23	0.30	0.28
Station 2	6.1	4.9	8	6
Ic de la station 2	0.23	0.18	0.30	0.23
La valeur guide retenue pour le cuivre est égale à 26 mg/kg p.s				

Les indices de contamination par le cuivre présentent des valeurs peu variables dans l'espace et dans le temps, car ils sont assez proches ; ils varient de 0.24 à 0.30 au niveau de la station 1 et de 0.18 à 0.30 au niveau de la station 2. (tab.96). Les valeurs d'indice de contaminations relevées au niveau des deux stations sont plus élevées en été. Tous les valeurs d'indices relevées sont inférieures à 3 et permettent de considérer la lagune El Mellah en tant que zone non polluée par le cuivre et de classe 1.

1.2. Le zinc :

Les teneurs en zinc relevées dans l'eau varient de 0,1 à 1,6 ppm; les teneurs minimales et maximales sont respectivement relevées en hiver et en été ; les valeurs intermédiaires sont, en revanche, rencontrées au printemps et en automne ; par ailleurs, c'est dans la station 2 que les teneurs les plus élevées sont observées.

Tableau 97 : Teneurs en zinc relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,063	35,2	1,34	79	1,4	92,2	1,376	73,7
Station 2	0,13	42,85	1,476	69,5	1,62	91,8	1,44	75,45
Moyenne (Ecart-type)	0,096 ±0,047	39,02 ±5.40	1,408 ±0,096	74,25 ±6,71	1,51 ±0,155	74,25 ±0.28	1,408 ±0,044	74,57 ±1,23

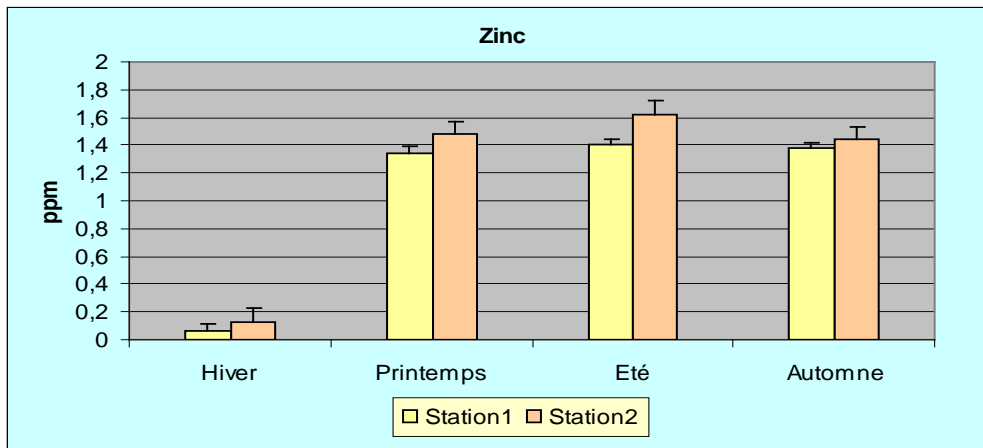


Figure 51: Distribution spatiotemporelle des concentrations en zinc relevées dans l'eau Superficielle de la lagune El-Mellah

Les teneurs de ce métal dans le sédiment superficiel sont comprises entre 35,2 et 92,2 mg/kg de p.s; les teneurs maximales étant relevées en été, dans les 2 stations. Ce métal est présent à des concentrations variant aussi bien d'une station à l'autre que d'une saison à l'autre. Dans la station 2, les teneurs sont plus élevées que celles relevées dans la station 1 en période hivernale et automnale ; mais en revanche, la station 1 montre des valeurs plus élevées au printemps et en été. Les teneurs en zinc relevées en été représentent plus du double de celles observées en hiver ; ces concentrations, sont par ailleurs, intermédiaires, au printemps et en automne (fig.52).

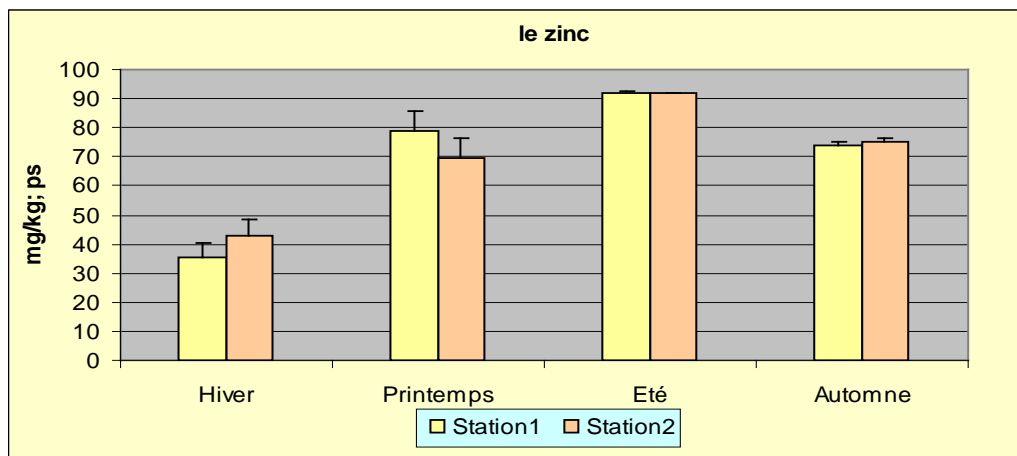


Figure 52 : Distribution spatiotemporelle des teneurs en zinc (mg/kg ; ps) relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 98 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le zinc dans la comparaison entre les saisons

Zinc Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	47.92	16.03	10.74	8.78
Probabilité	0.000***	0.001***	0.004**	0.007**

Concernant la distribution des teneurs en zinc dans les eaux, le test d'AV1 montre qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les saisons, et des différences hautement significatives pour le sédiment et cela au niveau des deux stations de la lagune.

Tableau 99: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le zinc

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
A=E,P=A,P=E	A=E,P=A,P=E	<u>A=P=E, H</u>	<u>A=P=E, H</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Pour la distribution des teneurs en zinc dans l'eau, la PPDS affiche les mêmes groupes de saisons identiques au niveau des deux stations. Dans le sédiment aussi les groupes de saisons identiques sont les mêmes au niveau des deux stations de la lagune (tab.99)

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le zinc :

La valeur guide retenue pour le zinc dans les eaux de surface (CE).	
Zinc	5 ppm

A partir des résultats obtenus, et on se référant à la valeur guide retenue pour notre étude (5ppm), les eaux de la lagune ne sont pas polluées par le zinc ; la situation des eaux est qualifiée de normale.

Tableau 100: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le zinc dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	35.2	79	92.2	73.7
Ic de la station 1	0.40	0.89	1.04	0.83
Station 2	42.85	69.5	91.8	75.45
Ic de la station 2	0.48	0.78	1.04	0.85
La valeur guide retenue pour le zinc est égale à 88 mg/kg p.s				

Les Ic relevés par le zinc dans le sédiment de la lagune sont très proches d'une station à l'autre et assez variables d'une saison à l'autre. Cet élément présente au niveau de la station 1, des indices de contamination variant de 0.4 à 1.04 et les indices de contamination relevés au niveau de la station 2 varient entre 0.48 et 1.04. Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver ; c'est à partir du printemps que l'Ic augmente pour atteindre sa valeur maximale en été. Tous les indices relevés par le zinc, tant au niveau de la station 1 que la station 2 sont inférieurs à la norme 3 et permettent de considérer la lagune comme zone normale et de classe 1(tab.100).

1.3. Le manganèse :

L'eau de la lagune contient des teneurs en manganèse variant entre 0,06 et 0,8 ppm; c'est en revanche dans la station 2 que les teneurs les plus élevées sont relevées ; nous notons toutefois que les valeurs maximales sont rencontrées en hiver et en été respectivement dans la station 2 et 1.

Tableau 101 : Teneurs en manganèse relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,653	32,15	0,11	20	0,2	28	0,156	22,5
Station 2	0,226	34,6	0,063	8,6	1,16	100	0,836	90,6
Moyenne (Ecart-type)	0,44 ± 0,301	33,37 ± 1,73	0,086 ± 0,032	14,3 ± 8,06	0,68 ± 0,678	64 ± 50,91	0,496 ± 0,480	56,55 ± 48,15

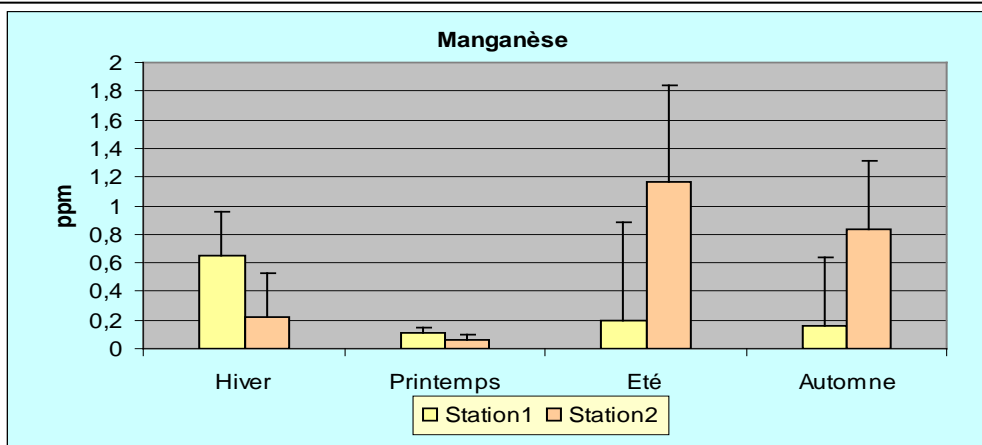


Figure 53: Distribution spatiotemporelle des concentrations en manganèse relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.

Dans le sédiment, le manganèse est présent à des teneurs comprises entre 8,6 et 100 mg/kg de p.s; c'est toutefois dans la station 1 que les teneurs en manganèse sont les plus basses ; elles varient de 20 à 32 mg/kg de p.s. contre seulement 30 à 100 mg/kg de p.s. dans la station 2. En ce qui concerne les variations saisonnières, dans la station 1, les teneurs en manganèse ne présentent pas de différences élevées d'une saison à l'autre ; la valeur maximale étant relevée en hiver. Mais, en revanche, dans la station 2, les teneurs relevées en été et en automne atteignent les valeurs maximales (90 et 100 mg/kg de p.s.) correspondant au triple de la valeur relevée en hiver (fig.53).

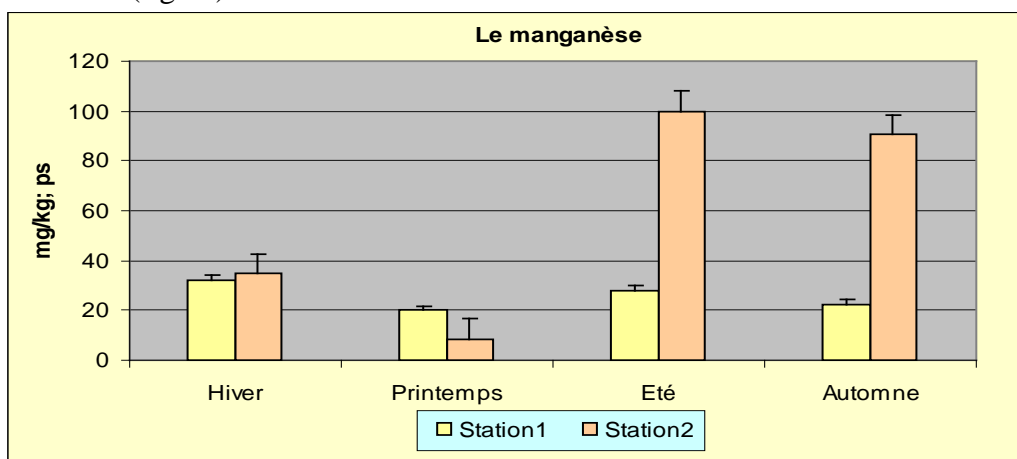


Figure 54: Distribution spatiotemporelle des teneurs en manganèse relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 102 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le manganèse dans la comparaison entre les saisons

manganèse Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	149.91	2315.94	2.29	156.43
Probabilité	0.000***	0.000***	0.15 NS	0.000***

Concernant la distribution des teneurs en Mn dans les eaux, le test AV1 montre qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les saisons et au niveau des deux stations. Pour le sédiment, le même test montre qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les saisons dans la station 2 en revanche il y a une absence de différences significatives entre les saisons dans la station 1, concernant la distribution des teneurs en Mn.

Tableau 103: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le manganèse.

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
P=A, A=E, H	RH0	/	RH0

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Pour la distribution des teneurs en manganèse dans l'eau la PPDS affiche plusieurs groupes de saisons identiques au niveau de la station 1. Pour la station 2 le même test affiche que les quatre saisons sont différentes.

Pour la distribution des teneurs en manganèse dans le sédiment au niveau de la station 2 la PPDS ne peut pas être appliquée car l'AV1 montre qu'il n'y a pas de différences significatives alors que pour la station 2 le même test affiche que les quatre saisons sont différentes (tab.103).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le manganèse :

La valeur guide retenue pour le manganèse dans les eaux de surface (CE).	
Manganèse	0.05 ppm

A partir des résultats obtenus (tab.101), l'eau de la lagune El Mellah est polluée par le manganèse, toutes les concentrations relevées sont supérieures à la valeur guide (0.05 ppm).

Tableau 104: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le manganèse dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	27.15	20	28	22.5
Ic de la station 1	0.075	0.050	0.079	0.050
Station 2	34.6	8.6	100	90.6
Ic de la station 2	0.080	0.020	0.250	0.220
La valeur guide retenue pour le manganèse est égale à 400 mg/kg p.s				

Les indices de contamination relevés par le manganèse dans le sédiment de la lagune affichent des variations spatiotemporelles. Ces indices de contamination varient de 0.05 à 0.08 au niveau de la station 1 et de 0.08 à 0.25 au niveau de la station 2 (tab. 104). Dans les deux stations considérées, les indices présentent des valeurs maximales relevées durant l'été. Du fait que les valeurs de l'Ic relevées dans la lagune sont inférieures à 3 (Norme), nous pouvons conclure que la zone est non polluée par le manganèse et de classe 1.

1.5. Le nickel :

Les teneurs en nickel contenues dans l'eau sont comprises entre 0,5 et 0,72 ppm; Les teneurs les plus élevées étant relevées dans la station 1. Nous notons, par ailleurs que les teneurs dépassant 0,7 ppm sont observées au printemps et en été dans la station 1 et seulement en été dans la station 2.

Tableau 105 : Teneurs en nickel relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,556	519,6	0,723	200	0,706	224	0,536	214,2
Station 2	0,503	287,5	0,55	178	0,71	200	0,523	181,1
Moyenne	0,53	403,55	0,636	189	0,708	212	0,53	197,65
Ecart-type	± 0,037	±164,11	± 0,122	± 15,55	± 0,002	± 16,97	± 0,009	± 23,40

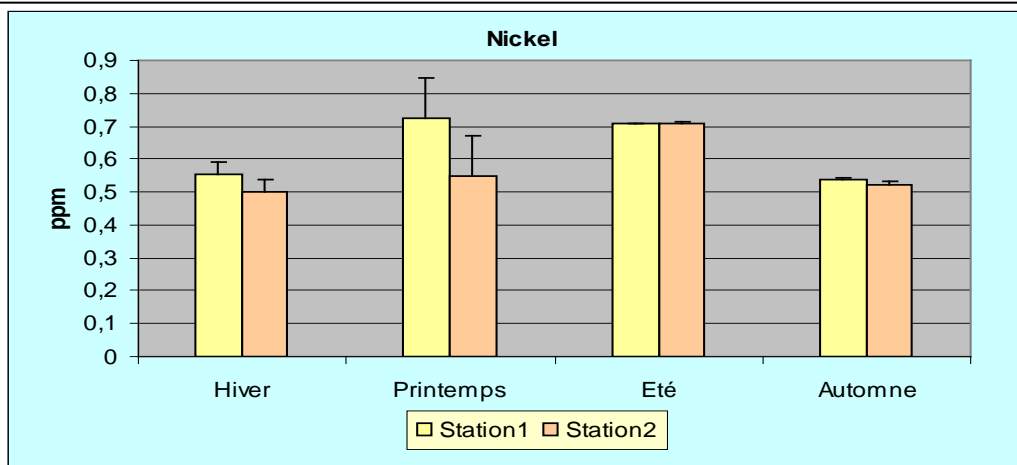


Figure 55: Distribution spatiotemporelle des concentrations en nickel relevées dans l'eau superficielle de la lagune El-Mellah.

Dans le sédiment superficiel de la lagune, les teneurs en nickel fluctuent de 178 à 519 mg/kg de p.s; ce métal montre des concentrations variables d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. C'est, en effet, dans la station 1 que les teneurs sont les plus élevées (200 à 519 mg/kg de p.s. contre 178 à 287 mg/kg de p.s. dans la station 2). En qui concerne les variations saisonnières, les teneurs, en nickel, montrent une évolution similaire ; les teneurs relevées, dans les 2 stations présentent pratiquement les mêmes écarts du printemps à l'automne mais doublent, pour atteindre les valeurs maximales, en hiver (fig.56).

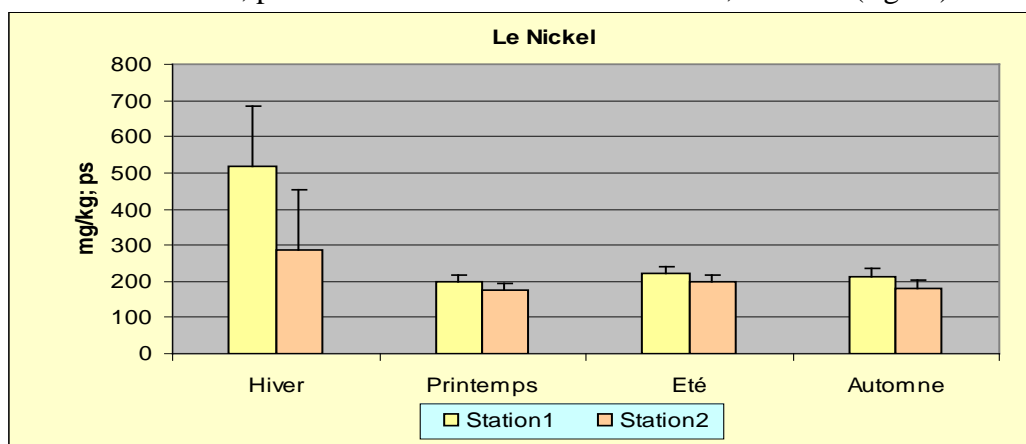


Figure 56: Distribution spatiotemporelle des teneurs en nickel relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 106 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le nickel dans la comparaison entre les saisons.

nickel Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	2.87	2.35	1.73	1.34
Probabilité	0.10 NS	0.14 NS	0.23 NS	0.32 NS

Le test d'AV1 montre qu'il y a une absence de différences significatives entre les saisons dans la station 1 et la station 2 concernant la distribution des teneurs en nickel dans l'eau et le sédiment.

Dans ce cas, on n'applique pas le test de la PPDS car l'AV1 montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les saisons c-a-d que la distribution des teneurs en nickel dans l'eau et le sédiment ne change pas durant les quatre saisons.

Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le nickel :

La valeur guide retenue pour le nickel dans les eaux de surface (CE). e	
Nickel	0.05 ppm

Les eaux superficielles de la lagune El Mellah, présentent une contamination par le nickel, du fait que toutes les concentrations obtenues sont supérieures à 0.05 ppm. La valeur maximale est 14 fois plus que la norme.

Tableau 107 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le nickel dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	519.6	200	224	214.2
Ic de la station 1	11.54	4.44	4.97	4.78
Station 2	287.5	178	200	181.1
Ic de la station 2	6.38	3.95	4.44	4.02
La valeur guide retenue pour le nickel est égale à 45 mg/kg p.s				

L'évaluation de l'Ic par le nickel dans le sédiment de la lagune montre des variations spatiotemporelles. Les indices de contamination par cet élément se situent dans la fourchette de 4.44 à 11.54 au niveau de la station 1 et de 3.95 à 6.38 au niveau de la station 2. Le niveau des indices de contamination relevés au niveau de la lagune et pour l'ensemble des saisons est supérieur à 10. Cependant, il permet de conclure à l'existence d'une forte pollution au niveau d'El Mellah et à l'existence même d'une période à risque (Hivernale) au niveau de la station 1.

1.6. Le chrome :

Le chrome présent dans l'eau de la lagune est à des teneurs comprises entre 0,2 et 1,11 ppm; c'est dans la station 1 que les teneurs sont les plus basses (0,2 à 0,77 ppm). En ce qui concerne la distribution saisonnière de cet élément, elle est similaire dans les 2 stations ; nous notons, en effet, des valeurs basses en hiver puis elles augmentent au printemps pour atteindre un pic en été et ensuite baisser légèrement en automne.

Tableau 108 : Teneurs en chrome relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah.

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,206	205	0,26	203	0,77	300	0,753	251,5
Station 2	0,35	470	0,61	610	1,11	700	1,023	630,5
Moyenne	0,278	337,5	0,436	406,5	0,94	500	0,888	441
Ecart-type	±0,101	187,38	±0,249	±287,79	±0,240	±282,84	±0,190	±267,99

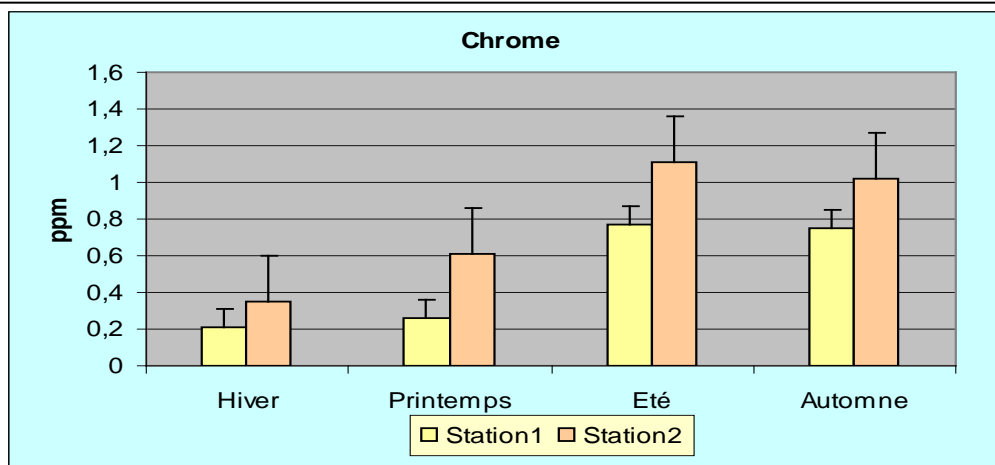


Figure 57: Distribution spatiotemporelle des concentrations en chrome relevées dans l’eau superficielle de la lagune El-Mellah.

Le sédiment de la lagune montre des teneurs en chrome comprises entre 205 et 700 mg/kg de p.s. ; c’est toutefois, la station 2 qui abrite les teneurs les plus élevées (variant entre 470 et 700 mg/kg de p.s. représentant 2 à 3 fois les valeurs observées dans la station 1). En qui concerne la distribution saisonnière de la teneur en chrome dans le sédiment, elle présente la même évolution dans les 2 stations ; les teneurs basses, en hiver, marquent une hausse au printemps et atteignent leur valeur maximale en été pour ensuite décroître en automne (fig.58).

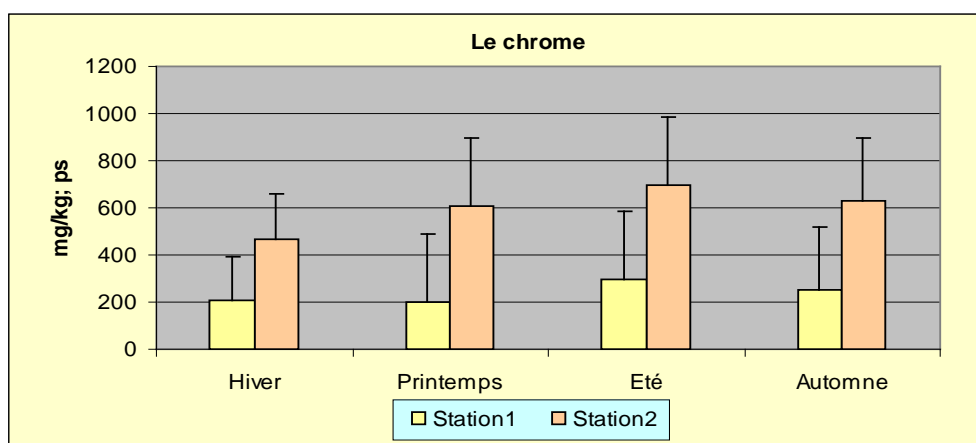


Figure 58: Distribution spatiotemporelle des teneurs en chrome relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 109 : Résultat de l’AV1 appliquée pour le chrome dans la comparaison entre les saisons

chrome Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	90.06	154.32	45.07	20.23
Probabilité	0.000***	0.000***	0.000***	0.000***

Concernant la distribution des teneurs en chrome, le test AV1 montre qu’ils existent des différences très hautement significatives entre les saisons au niveau des deux stations aussi bien pour l’eau que le sédiment.

Tableau 110: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le chrome

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>P=A=E, H</u>	RH0	<u>P=H, A, E</u>	<u>P=A, H, E</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Concernant la distribution des teneurs en chrome, la PPDS affiche plusieurs groupes de saisons identiques qui diffèrent d'une station à l'autre et d'un compartiment à un autre, sauf pour l'eau et au niveau de la station 2, les différences restent entre les quatre saisons.

Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le chrome :

La valeur guide retenue pour le chrome dans les eaux de surface (CE).	
Chrome	0.05 ppm

Les eaux de la lagune sont contaminées par le chrome, avec un pic de 1.11mg/l c'est-à-dire 22 fois plus supérieure à la norme de la communauté européenne qui égale à 0.05ppm.

Tableau 111: Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le chrome dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	205	203	300	251.5
Ic de la station 1	4.55	4.51	6.66	5.58
Station 2	470	610	700	630.5
Ic de la station 2	10.44	13.55	15.55	14.01
La valeur guide retenue pour le chrome est égale à 45 mg/kg p.s				

Comme pour le nickel, l'évaluation de l'Ic par le chrome dans le sédiment de la lagune montre d'importantes variations spatiotemporelles. Ils varient entre 4.51 et 6.68 au niveau de la station 1 et de 10.44 à 15.55 au niveau de la station 2. Du fait que ces indices de contamination sont supérieurs à 3 et même plus que 10, ils nous permettent de considérer que la lagune El Mellah est une zone fortement polluée par le chrome voire à risque.

1.7. Le plomb :

Les teneurs en plomb dosées dans l'eau varient de 0,1 ppm, dans la station 1 en hiver à 0,8 ppm dans la station 2 en été. Les teneurs maximales sont notées en période estivale dans les 2 stations.

Tableau 112 : Teneurs en plomb relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,106	5,8	0,58	7,4	0,7	10	0,603	7,55
Station 2	0,63	7	0,46	4	0,82	6,1	0,616	5,52
Moyenne	0.368	6,4	0.52	5,7	0.76	8.05	0.61	6.53
Ecart-type	± 0.37	± 0,84	± 0.084	± 2,40	± 0.084	± 2.75	± 0.009	± 1.43

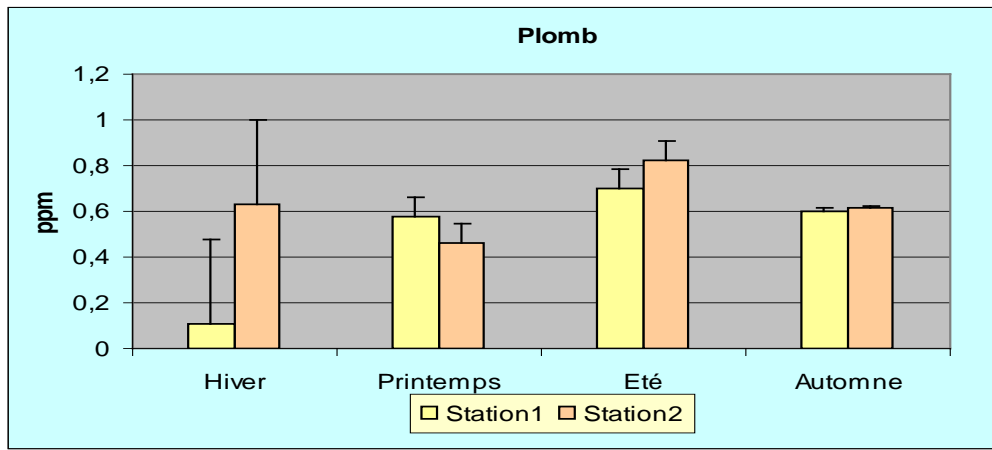


Figure 59: Distribution spatiotemporelle des concentrations en plomb relevées dans l'eau superficielle de lac El-Mellah.

Dans le sédiment superficiel de la lagune, les teneurs en plomb sont comprises entre 4 et 10 mg/kg de p.s.; elles présentent néanmoins des variations aussi bien spatiale que saisonnière. Les teneurs les plus élevées sont relevées dans la station 1 ; cette dernière abrite des valeurs comprises entre 5,8 et 10 mg/kg de p.s. contre 4 et 7 mg/kg de p.s. dans la station 2. En ce qui concerne les variations saisonnières, le plomb ne présente pas la même évolution dans les 2 stations ; nous relevons, en effet, que les teneurs en plomb, dans la station 1, sont basses en hiver, augmentent au printemps pour atteindre la valeur maximale en été pour ensuite marquer une baisse légère en automne. En revanche, dans les 2 compartiments (eau et sédiment) de la station 2, le plomb montre sa teneur maximale en hiver, mais au printemps cette dernière atteint sa valeur la plus basse pour ensuite augmenter légèrement en période estivale et automnale (fig. 60).

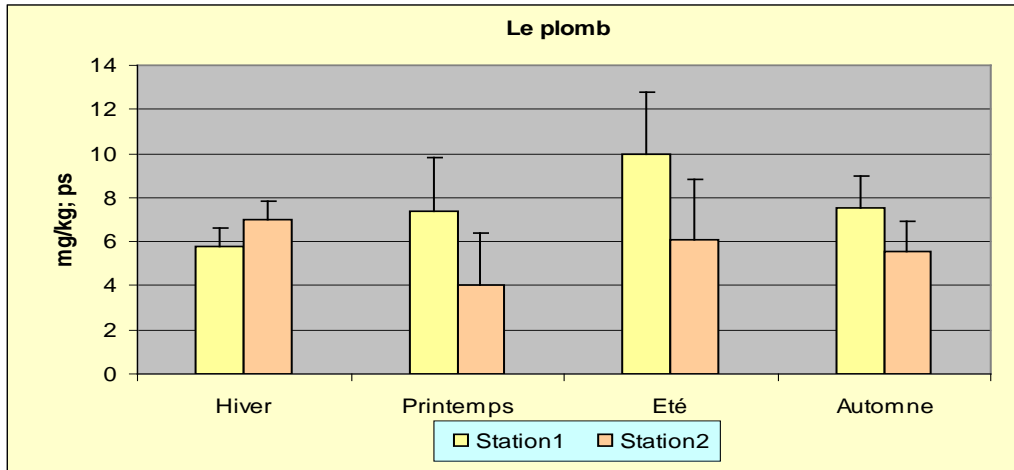


Figure 60: Distribution spatiotemporelle des teneurs en plomb relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 113: Résultat de l'AV1 appliquée pour le plomb dans la comparaison entre les saisons

chrome Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	70.20	11.99	9.95	1.05
Probabilité	0.000***	0.002**	0.004**	0.42 NS

Concernant la distribution des teneurs en plomb dans l'eau, le test d'AV1 montre qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les saisons au niveau de la station

1, et hautement significatives au niveau de la station 2, Alors que pour les sédiment, le même test montre qu'ils existent des différences hautement significatives entre les saisons au niveau de la station 1 et absence de différences significatives entre les saisons au niveau de la station 2.

Tableau 114: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le plomb

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
<u>P=A=E, H</u>	<u>A=H, P, E</u>	<u>H=A=P</u>	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Concernant la distribution des teneurs en plomb, la PPDS affiche plusieurs groupes de saisons identiques qui diffèrent d'une station à l'autre et d'un compartiment à un autre, sauf pour le sédiment et au niveau de la station 2 le test de la PPDS ne peut pas être appliquée parce que l'AV1 montrent une absence de différences entre les saisons.

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le plomb :

La valeur guide retenue pour le plomb dans les eaux de surface (CE).	
Plomb	0.05 ppm

Les résultats relevés sur les points d'eau considérés montrent des concentrations supérieures à 0.05 ppm, est donc l'eau de la lagune est polluée par le plomb.

Tableau 115 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination relevé par le plomb dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	5.8	7.4	10	7.55
Ic de la station 1	0.26	0.33	0.45	0.34
Station 2	7	4	6.1	5.52
Ic de la station 2	0.31	0.18	0.27	0.25
La valeur guide retenue pour le plomb est égale à 22 mg/kg p.s				

Les indices de contamination par cet élément varient de 0.26 à 0.45 au niveau de la station 1 et de 0.18 à 0.31 au niveau de la station 2. Ils présentent une distribution spatiotemporelle variable. On relève que les valeurs maximales d'Ic sont différentes d'une station à l'autre. (Élevé en été pour la station 1 et en hiver pour ce qui est de la station 2). Le niveau des indices de contamination relevés au niveau de la lagune et pour l'ensemble des saisons est inférieur à 3. Cependant, il permet de considérer la lagune comme zone normale et de classe 1.

1.8. Le cadmium :

Les teneurs en cadmium relevées dans l'eau de la lagune sont plus élevées dans la station 1 (0,01 à 0,02 ppm) par rapport à la station 2 (0,002 à 0,02 ppm). Les teneurs maximales de cet élément sont hivernales dans la station 1 et printanière dans la station 2.

Tableau 116 : Teneurs en cadmium relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah

Saisons	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
milieux	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment
Station 1	0,029	0,19	0,017	0,34	0,015	0,44	0,012	0,36
Station 2	0,003	0,13	0,020	0,18	0,005	0,38	0,002	0,26
Moyenne	0.016	0.16	0.019	0.26	0.01	0.41	0.007	0.313
Ecart-type	±0.018	±0.041	±0.002	±0.113	±0.007	±0.042	±0.006	±0.074

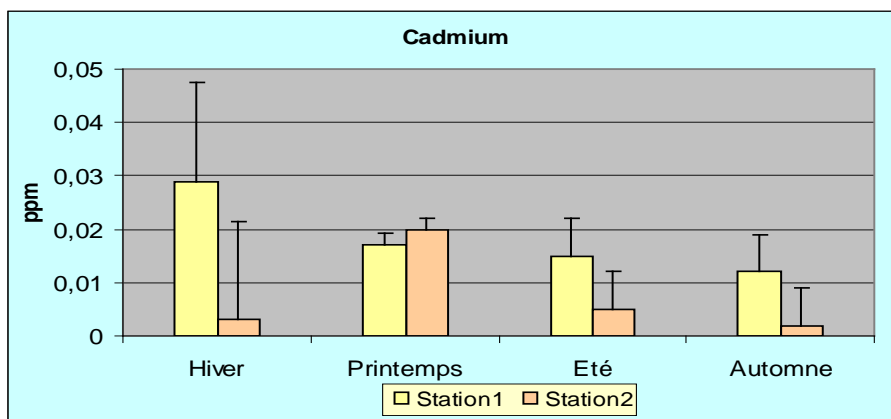


Figure 61: Distribution spatiotemporelle des concentrations en cadmium relevées dans l'eau superficielle de lac El-Mellah.

Le sédiment superficiel de la lagune montre des teneurs en cadmium variant entre 0,13 et 0,44 mg/kg de p.s.; les teneurs relevées dans la station 1 sont plus élevées que celles de la station 2 (0,19 à 0,44 contre 0,13 à 0,38 mg/kg de p.s.). En ce qui concerne les variations saisonnières de la teneur en cadmium, elles présentent une évolution similaire dans les 2 stations ; nous relevons, en effet, des valeurs minimales et maximales respectivement en hiver et en été et des valeurs intermédiaires au printemps et en automne (fig.62).

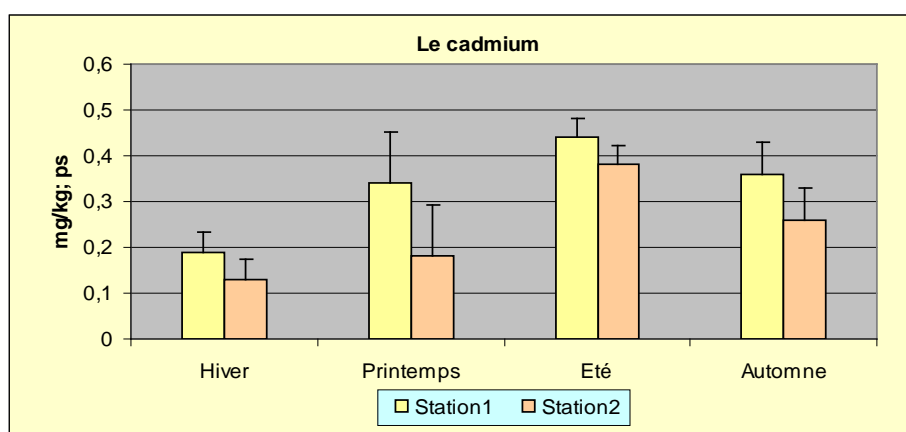


Figure 62: Distribution spatiotemporelle des teneurs en cadmium relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 117 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le cadmium dans la comparaison entre les saisons

chrome Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	50.12	143.62	5.45	23.41
Probabilité	0.000***	0.000***	0.02*	0.000***

Concernant la distribution des teneurs en Cd dans l'eau, le test d'AV1 montre qu'ils existent des différences très hautement significatives entre les saisons au niveau des deux stations. Alors que pour les sédiment, le même test montre qu'ils existent des différences significatives entre les saisons au niveau de la station 1 et des différences très hautement significatives entre les saisons au niveau de la station 2.

Tableau 118 : Résultats du test de la PPDS appliquée pour le cadmium

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
A=E=P, <u>H</u>	A=H=E, <u>P</u>	A=E=P, H	H=P, E, <u>P</u>

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Concernant la répartition des teneurs en cadmium, la PPDS affiche pour l'eau et le sédiment, les mêmes groupes de saisons identiques au niveau de la station 1, mais différent pour la station 1(tab.118).

Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le cadmium:

La valeur guide retenu pour le cadmium dans les eaux de surface	
Plomb	0.005 ppm

Les eaux de la lagune présentent une pollution par le cadmium et les pics sont enregistrés durant la saison estivale.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 119 : Variations spatiotemporelles de l'indice de contamination par le cadmium dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Station 1	0.19	0.34	0.44	0.36
Ic de la station 1	0.31	0.56	0.73	0.6
Station 2	0.13	0.18	0.38	0.26
Ic de la station 2	0.21	0.30	0.63	0.43
La valeur guide retenue pour le cadmium est égale à 0.6 mg/kg p.s				

Les indices de contamination par le cadmium, varient de 0.31 à 0.73 au niveau de la station 1 et de 0.21 à 0.63 au niveau de la station 2(tab.119). Dans les deux stations l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été. Du fait que les valeurs de l'Ic relevées par le cadmium dans la lagune sont inférieures à 3 (Norme), ils permettent de considérer la lagune comme zone normale et de classe 1.

1.9. Le mercure :

L'eau de la lagune contient des teneurs en mercure variable d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre. Dans la station 2 nous relevons des teneurs comprises entre 0,096 et 0,170 ppm contre 0,02 et 0,05 ppm dans la station 1. En ce qui concerne l'évolution saisonnière elle

est similaire dans les 2 stations ; nous notons des valeurs minimales et maximales respectivement en hiver et en été et des valeurs intermédiaires au printemps et en automne.

Tableau 120 : Teneurs en mercure relevées dans l'eau (ppm) et le sédiment (mg/kg de p.s.) de la lagune El-Mellah.

Saisons milieux	Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	sédiment	Eau	Sédiment
Station 1	0,021	0,331	0,040	0,392	0,051	0,48	0,039	0,46
Station 2	0,096	0,069	0,135	0,082	0,175	0,11	0,129	0,11
Moyenne	0.058	0.2	0.088	0.23	0.113	0.29	0.084	0.28
Ecart-type	± 0.053	± 0.185	± 0,249	± 0.219	± 0,087	± 0.255	± 0.063	± 0.251

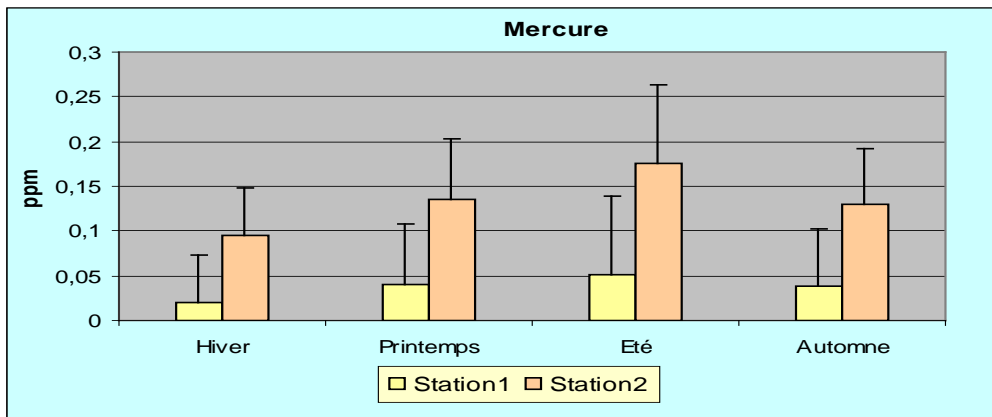


Figure 63: Distribution spatiotemporelle des concentrations en mercure dans l'eau superficielle de lac El-Mellah.

Le mercure dans le sédiment superficiel de la lagune est présent à des teneurs comprises entre 0,069 et 0,48 mg/kg de p.s; c'est toutefois dans la station 1 que les teneurs les plus élevées sont relevées ; ces dernières représentent, en fonction des saisons, 4 à 30 fois celles relevées dans la station 2. Dans les 2 stations, les teneurs en mercure présentent la même évolution ; elles sont basses en hiver, puis augmentent légèrement au printemps pour être maximale en été et se maintenir à des teneurs relativement assez élevées en automne (fig.64).

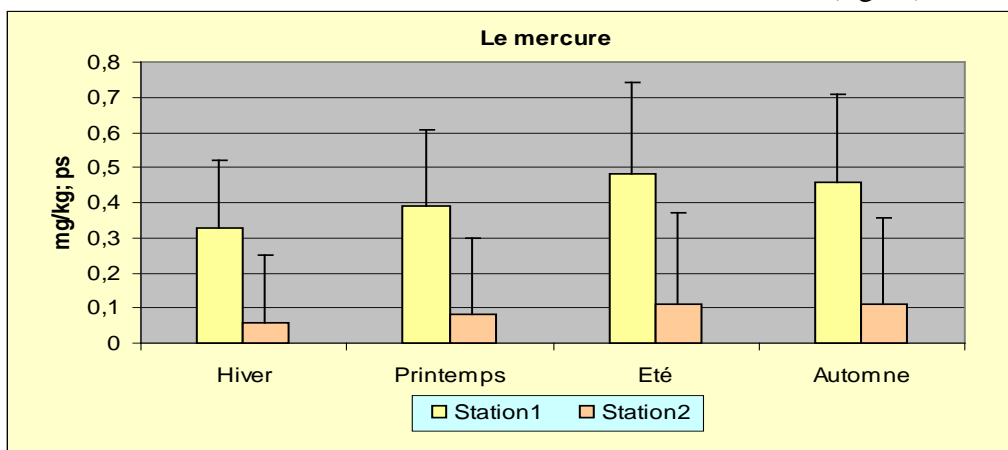


Figure 64: Distribution spatiotemporelle des teneurs en mercure relevées dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah.

Tableau 121 : Résultat de l'AV1 appliquée pour le mercure dans la comparaison entre les saisons

chrome Valeurs du test	Eau		Sédiment	
	Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
F obs	7.85	7.63	8.55	2.96
Probabilité	0.009**	0.01**	0.007**	0.09 NS

Concernant la distribution des teneurs en Hg dans l'eau, le test d'AVI montre qu'ils existent des différences hautement significatives entre les saisons au niveau des deux stations ; alors que pour les sédiment, le même test montre qu'ils existent des différences hautement significatives entre les saisons au niveau de la station 1 et une absence des différences significatives entre les saisons au niveau de la station 2.

Tableau 122: Résultats du test de la PPDS appliquée pour le mercure

Eau		Sédiment	
Station 1	Station 2	Station 1	Station 2
A=P=E, H	H=A=E, P	RH0	/

H : moyenne hivernale, P : moyenne printanière, E : moyenne estivale, A : moyenne automnale

Concernant la distribution des teneurs en Hg dans l'eau, la PPDS n'affiche pas les mêmes groupes de saisons identiques au niveau de la station 1 et 2 ; Alors que pour le sédiment le même test affiche une différence entre les quatre saisons (tab.122).

- Niveau de contamination des eaux et des sédiments de la lagune El Mellah par le mercure:

La valeur guide retenue pour le mercure dans les eaux de surfaces
0.001 ppm

Selon les résultats d'analyses du mercure dans les eaux de la lagune El-Mellah et en se référant à la valeur guide retenue pour le mercure (0.001 ppm), nous pouvons considérer que les eaux de la lagune sont indemnes de toute pollution mercurielle.

► *Classement du sédiment selon la valeur de l'indice de contamination :*

Tableau 123 : Indices de contamination du mercure au niveau des deux stations de la lagune El-Mellah.

Teneurs en mg/Kg de p.s	Saisons			
	Hiver	Printemps	Été	Automne
Station 1	0.331	0.392	0.48	0.467
Ic de la station 1	1.65	1.96	2.4	2.33
Station 2	0.069	0.082	0.118	0.111
Ic de la station 2	0.34	0.41	0.59	0.55
La valeur guide retenue pour le mercure est égale à 0.2 mg/kg p.s				

Les indices de contamination par le mercure, varient de 1.65 à 2.33 au niveau de la station 1 et de 0.34 à 0.59 au niveau de la station 2(tab.123). Comme pour les autres éléments l'Ic le plus bas est relevé en hiver, c'est à partir du printemps que l'indice augmente pour atteindre sa valeur maximale en été et cela dans les deux stations. Tous les indices relevés par le mercure , tant au niveau de la station 1 que la station 2 sont inférieurs à la norme 3 et permettent de considérer la lagune comme zone normale et de classe 1.

2. Teneurs en métaux lourds relevées dans la chair des palourdes récoltées dans la lagune El-Mellah :

Tableau 124: Variations des teneurs en métaux lourds (mg/kg ; ps) dans la chair des palourdes récoltées au niveau du lac El-Mellah.

	Stations/EM	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
HIVER	Station1	5,75	3,42	0,53	0,7	0,045	0,025	0,035	0,024	0,0001
	Station2	3,6	3,38	0,24	0,16	0,044	0,024	0,032	0,022	0,0001
	Moyenne	4,675	3,4	0,385	0,43	0,0445	0,0245	0,0335	0,023	0,0001
	Ecart-type	±1,520	±0,028	±0,205	±0,381	±0,007	±0,0007	±0,0021	±0,0014	±0
ETE	Stations/EM	Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Hg
	Station1	5,7	3,4	0,5	0,16	0,042	0,023	0,032	0,022	traces
	Station2	3,33	3,33	0,2	0,15	0,04	0,02	0,03	0,02	traces
	moyenne	4,515	3,365	0,35	0,155	0,041	0,0215	0,031	0,021	0
	Ecart-type	±1,675	±0,049	±0,212	±0,007	±0,001	±0,0021	±0,0014	±0,0014	±0
	VGf	250	6.5	110	1	6	1.8	1.5	0.5	0.1

VGf : valeurs guides françaises.

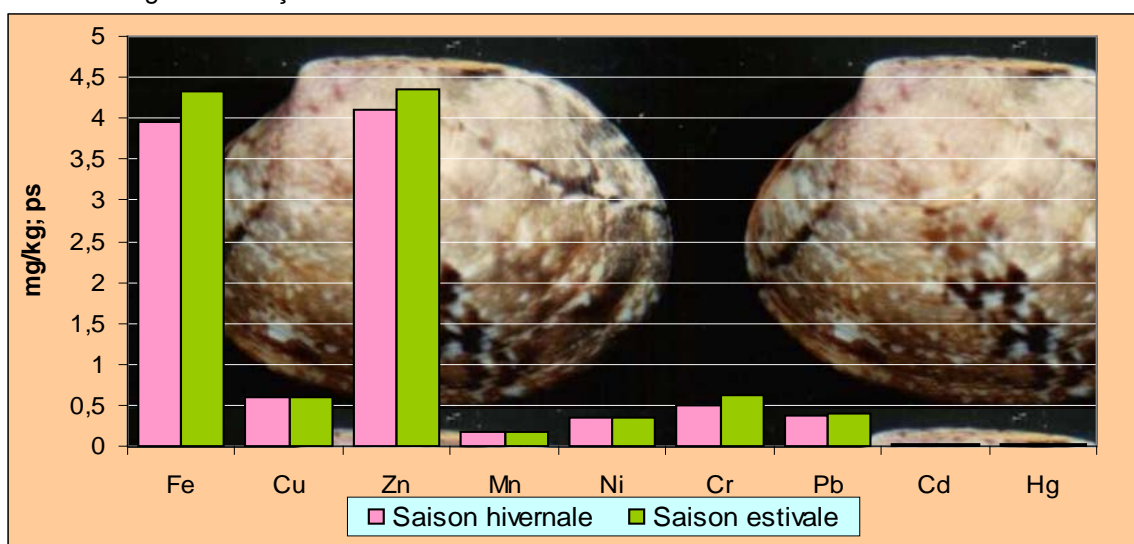


Figure 65: Distribution des teneurs de 9 métaux lourds relevées dans la chair des palourdes récoltées au niveau de la lagune El-Mellah.

Les teneurs en fer contenues dans la chair de palourde varient de 3,3 à 5,7 mg/kg de p.s; les valeurs relevées durant les 2 périodes d'étude ne montrent pas de grosses variations. C'est, toutefois, la palourde de la station 1 qui contient les teneurs en fer les plus élevées (fig.65).

La chair de palourde de la lagune présente des teneurs en cuivre comprises entre 3,3 et 3,42 mg/kg de p.s. Ce métal est présent, dans la chair de palourde, à des concentrations assez proches d'une station à l'autre et d'une saison à l'autre (fig.65).

Les concentrations en zinc de la chair de palourde sont comprises entre 0,2 et 0,5 mg/kg de p.s. Les valeurs relevées dans la station 1 font plus du double de celles notées dans la station 2. Nous notons, par ailleurs que les teneurs en zinc contenues dans la chair de palourde récoltées en hiver ou en été ne changent pas (fig.65).

Le manganèse présente sa valeur maximale (0,7 mg/kg de p.s.), en hiver, chez les palourdes récoltées dans la station 1 ; ceci représente 7 fois la teneur en manganèse relevée chez les palourdes de la station 2. Les teneurs en manganèse contenues dans les palourdes récoltées en période estivale sont très proches dans les 2 stations (fig.65).

Le nickel est présent dans la chair de palourde à des teneurs variant entre 0,04 et 0,045 mg/kg de p.s. ; Les concentrations sont très proches d'une station à l'autre, mais sont relativement plus élevée en période hivernale (fig.65).

Dans la chair de palourde, le chrome est présent à des concentrations comprises entre 0,02 et 0,025 mg/kg de p.s. Bien que les valeurs relevées soient assez proche, ce sont toutefois les palourdes de la station 1 qui contiennent le plus de chrome ceci aussi bien en période hivernale qu'estivale (fig.65).

Les teneurs en plomb relevées dans la chair de palourde varient de 0,03 à 0,035 mg/kg de p.s.; ces valeurs sont très proche d'une station à l'autre et d'une période à l'autre. Par ailleurs, c'est en période hivernale et dans la station 1, que les palourdes montrent les concentrations maximales (0,035 mg/kg de p.s.) en plomb (fig.65).

Le cadmium est présent, dans la chair de palourde, à des teneurs très proche d'une station à l'autre et d'une période à l'autre (de 0,02 à 0,024 mg/kg de p.s.). Les teneurs maximale et minimale sont rencontrées respectivement dans la station 1 en hiver et dans la station 2 en été (fig.65).

La chair de palourde montre, en hiver, des teneurs en mercure très faible, de l'ordre du millième de mg/kg de p.s. ceci aussi bien dans la station 1 que dans la station 2. En période estivale, ce métal est en revanche rencontré à l'état de traces, chez les palourdes des 2 stations (fig.65).

- Niveau de contamination de la chair des palourdes par les métaux lourds :

- Les concentrations des neuf métaux lourds analysés et rencontrés chez les palourdes peuplant la lagune El Mellah, sont inférieures aux valeurs guides françaises, algériennes, européennes et celles de l'OMS ; cela nous permet de considérer que les palourdes peuplant la lagune El-Mellah sont indemnes de toute contamination métallique voire de bonne qualité.

3. Détermination du niveau de la contamination métallique au niveau de la lagune El-Mellah (eaux, sédiments et palourdes):

En se référant aux des normes admises pour notre étude, nous pouvons conclure que les eaux de la lagune El Mellah sont indemnes de toute contamination par le cuivre et le zinc, du fait que les concentrations obtenues au niveau des deux stations et pendant les quatre saisons de l'année 2006, sont inférieures aux valeurs guides. Pour les autres éléments dosés Fe, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd et Hg, les concentrations enregistrées dépassent les normes admises classant ainsi les eaux analysées en tant que polluées.

En revanche, 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 ».

Pour les autres éléments dosés Cu, Zn, Mn, Pb, Cd et Hg, 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 ».

Par ailleurs, les teneurs des neuf métaux lourds dosés dans la chair de palourdes récoltées au niveau des deux stations de la lagune El-Mellah et durant les deux saisons considérées, sont inférieures aux valeurs de références aussi bien algériennes qu'internationale (françaises, européennes et celles de l'Organisation Mondiale de la Santé) et permettent de conclure que les palourdes de la lagune sont indemnes de toute contamination métallique.

Il reste à signaler que la distribution des métaux lourds dans l'eau et le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah est généralement variable d'une saison à l'autre, cette observation est appuyée par deux tests statistiques en l'occurrence l'analyse de la variance (AV1) et la PPDS.

DISCUSSION

Les résultats des analyses relatifs aux eaux superficielles des trois plans d'eaux ont permis de tracer des histogrammes pour les stations étudiées, l'observation de ces derniers montre une fluctuation des concentrations, ces dernières 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. Les eaux de précipitations restent importantes aux cours des saisons pluvieuses par contre au cours des saisons sèches les eaux alimentant les lacs proviennent essentiellement des rejets domestiques.

Au niveau des embouchures des lacs les concentrations se caractérisent soit par une baisse soit par un accroissement. Dans le cas du lac El Mellah les variations des concentrations des métaux analysés se caractérisent par une baisse assez sensible en fer, en nickel et en cadmium, cette baisse s'accompagne d'un accroissement en manganèse, en zinc, en cuivre, en chrome, en plomb et en mercure au niveau de la station 2.

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 (L.Djabri ;1996).

Les concentrations métalliques les plus élevées sont relevées durant la saison estivale pour la plupart des éléments analysés, pour d'autres éléments c'est au cours de la saison automnale où les concentrations sont plus importantes.

Parallèlement à ces analyses nous avons recherché la présence des métaux lourds dans les sédiments superficiels des trois lacs, l'étude de ces métaux est réalisée sur la fraction sédimentaire inférieure à 63 μ 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) (D.Claissé, 1995- RNO).

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 neuf métaux lourds dosés dans les sédiments superficiels du complexe lacustre (Lac El Mellah, lac Oubeira, lac Tonga) de la région d'El Kala, 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.

Ainsi, **le fer** 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.

En revanche, les valeurs les plus faibles sont observées au niveau de la station 2 au sud de la lagune El Mellah, et les valeurs intermédiaires sont observées au lac Oubeira. De ce fait, l'abondance de l'élément fer montre une distribution variable entre les trois lacs. 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 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 Burton., 1976 ; Rodier et al, 1996, 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 et de manganèse, facilitant la formation et l'agrégation des particules organiques et minérales, selon Burton, 1976 ; Copin.Montegut, 1996), 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 (Raschid.,1971 ; Sholkovitz.,1978 ; Hart., 1982).

Quant aux 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 le 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 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) 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 H. Benbuih et al ; 2005).

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 ».

La distribution du **manganèse** est identique à celle du zinc et du cuivre. Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau du lac Tonga (600 mg/Kg ps au nord du lac durant l'été, puis c'est le lac Oubeira avec 600 mg/Kg ps au nord et au sud du lac durant la même période. Alors que de faibles teneurs sont relevées au niveau de la lagune El Mellah (100 mg/Kg ps). Il est à noter que les teneurs en manganèse sont plus élevées au niveau des embouchures et pendant la saison estivale. Cela montre que l'augmentation de la température est fortement corrélée à la concentration de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels. Ces teneurs assez élevées en manganèse semblent être déterminées par la nature des sédiments. Cawet et Faguet ; 1982, ont montré que le fond argileux est considéré comme étant le substrat sur lequel le Mn et le fer s'adsorbent le plus ; cela confirme les valeurs élevées enregistrées au niveau du lac Tonga et Oubeira par notre étude. D'autre part, les teneurs les plus faibles sont relevées sur le fond sableux (cas de la lagune El Mellah).

Scholkovitz ; 1978 montre par ailleurs, que les oxydes de fer et du manganèse sont très sensibles aux variations du pH, et du potentiel d'oxydo-réduction, ces derniers se trouvent remobilisés et passent en solution. De ce fait, la pollution par le manganèse est liée à l'érosion de la roche pendant les périodes de crues (lessivage) et aux rejets domestiques et urbains. Les différents teneurs relevées par le manganèse sont inférieures aux normes et classent les stations considérées pour chaque lac en tant que zones non polluées et de classe « A ».

Contrairement au fer et au manganèse, **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 Cawet et Faguet ; 1982 et Scholkovitz ; 1978). 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

(J.Chifolleau, 2001 ; S.Casas, 2005). 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, Anagnostou et al ; 1998 ; Boguer et al ; 1998, montrent que des teneurs élevées en chrome peuvent provenir de la sédimentation d'organismes morts et aussi de l'origine géologique des roches.

En effet, les différents résultats relevés par le chrome, classent les deux stations de la lagune El Mellah en tant que zones polluées, voire à risque (durant certaines périodes) et de classe « B », et classent les deux stations des lacs Tonga et Oubeira en tant que zones normales et de classe « A ».

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 (Fernex et al., 1995, Li et al., 2003;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 J.F. Chiffolleau ; 2001, 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.

Contrairement à la distribution des teneurs des neuf métaux lourds, seul le **mercure** montre des teneurs élevées au niveau de la station 1 de la lagune El-Mellah et pendant l'été. La valeur intermédiaire est relevée dans le sédiment superficiel du lac Oubeira au niveau de la station 2 et pendant la même saison, alors que la valeur la plus faible est relevée dans le sédiment superficiel du lac Tonga au niveau de la station 1 et pour la même saison.

La teneur maximale du mercure relevée dans le sédiment superficiel de la lagune El-Mellah est 3 fois plus élevée que celle relevée dans le sédiment superficiel du lac Oubeira et 6 fois plus par rapport à celle relevée dans le sédiment superficiel du lac Tonga pendant la saison estivale. En outre les teneurs relevées dans les sédiments superficiels dans les trois lacs restent relativement faibles durant toute l'année 2006, avec des indices de contamination annuels inférieurs à 3 classant les sédiments des trois lacs indemnes de toute pollution mercurique et de classe « A ». En effet, les valeurs relevées dans les sédiments superficiels des trois lacs sont d'origine atmosphérique et anthropique et sa présence dans les sédiments est liée aux activités industrielles et agricoles. Selon (Cossa et Ficht, 1999) les sources ponctuelles anthropiques sont par ordre d'importance: la combustion des hydrocarbures fossiles, en particulier le charbon, l'incinération d'ordures ménagères et hospitalières et les procédés industriels (fabrication de la soude caustique, métallurgie non-ferreuse, etc.). Les

sources diffuses sont nombreuses: tubes fluorescents, piles, thermomètres, peintures, gaz d'échappement des véhicules, décharges d'ordures, certains dépôts d'armes, sols contaminés et certaines exploitations de gaz naturel.

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 .

Pour la matière vivante, les résultats du dosage des neuf métaux lourds analysés dans la chair du premier bivalve considéré dans notre étude, en l'occurrence la palourde peuplant la lagune El-Mellah, nous montre que chez ce bivalve ce sont les teneurs en fer et en cuivre qui présentent les maxima durant toute la période considérée dans cette étude, c'est toutefois les bivalves de la station 1 qui montre la teneur la plus élevée pour les deux éléments cuivre et fer durant la saison hivernale. Cette observation est comparable pour le sédiment superficiel de la lagune concernant ces deux éléments fer et cuivre. Ces résultats semblent être liées aux faciès et aux végétaux riches en fer surtout à l'embouchure de la station 1 avec Oued R'Guibet où l'eau est de couleur rougeâtre. Quant au cuivre, la présence de cet élément a une double origine, la roche d'une part et l'agriculture d'autre part (pesticides et fertilisants).

Pour les autres métaux Zn, Pb, Hg, Cr, Ni, Cd, les teneurs sont très faibles et assez proches aussi bien entre les stations et entre les saisons ; hormis pour le manganèse où l'on note une différence d'une station à l'autre pendant la saison hivernale (S1 : 0.7mg/kg de p.s, S2 : 0.16 mg/Kg de p.s).

Par ailleurs les teneurs en métaux lourds relevées chez les palourdes de la lagune El Mellah sont bien inférieures aux valeurs de référence aussi bien algériennes, qu'internationales (OMS, CE et VGF) et peuvent être déclarées de bonne qualité voire consommables et indemnes de toute contamination métallique.

Quant au deuxième bivalve, en l'occurrence l'Anodonte ; bivalve géant peuplant le lac Oubeira ; les résultats des dosages de 9 métaux, réalisés dans la chair de l'anodonte prélevée à partir de deux stations et pendant deux périodes différentes de l'année (hivernale et estivale) montrent une distribution assez variable aussi bien en relation avec le site que la saison.

Pour la saison hivernale, les teneurs des 9 métaux se classent comme suit:

- en première position, viennent celles du manganèse relevé dans la chair de l'anodonte de la station 2 (392.29 mg/kg de p.s,
- en 2^{ème} position celles du zinc relevées dans la chair de l'anodonte de la station 1 (77.81 mg/kg de p.s)
- en troisième position, celles du fer qui donne une teneur de 34.43 mg/kg de p.s dans la chair de l'anodonte de la station 2

- en quatrième position, viennent le nickel et le chrome avec des teneurs similaires de 16 mg/kg de p.s relevées dans la chair de l'anodonte de la station 1
- en 5^{ème} position se situe le plomb avec une teneur de 15.69 mg/kg de p.s relevée dans la chair de l'anodonte de la station 2.
- en 6^{ème} position le cuivre avec une teneur de 3.06 relevée dans la chair de l'anodonte de la station 1,
- ensuite le cadmium en 7^{ème} position (1.10 mg/kg de p.s) dans la chair de l'anodonte de la station 2.
- Enfin de classement, le mercure avec une teneur de 0.09 mg/kg de p.s relevée dans la chair de l'anodonte dans les deux stations du lac Oubeira.

Concernant la saison estivale, la distribution des neuf métaux analysés dans la chair de l'anodonte montre que, les valeurs les plus élevées sont notées dans la station 1 à l'exception du métal plomb, où les valeurs les plus élevées sont observées au niveau de la station 2. Les deux saisons sont significativement différentes ; pour le Mn, Ni et Cr, Cu, Zn, Fe, Hg, les teneurs moyennes sont beaucoup plus élevées en été. C'est uniquement le Cd et le Pb qui représentent les teneurs moyennes les plus faibles pour cette saison.

Concernant l'origine de ces métaux lourds on note que pour le cuivre, l'origine est liée aux faciès de la roche et à l'agriculture. Pour le fer, le manganèse et le nickel et le chrome, l'origine est beaucoup plus liée à la roche. Alors que pour le plomb, le cadmium et le mercure l'origine est anthropique.

Contrairement à l'observation relevée chez la palourde indemne de toute pollution métallique, la chair de l'anodonte révèle des teneurs assez élevées en certains métaux lourds, principalement le plomb pour les deux stations pendant la saison hivernale et pour le cuivre, le manganèse, le nickel et le chrome pour l'ensemble des stations et pendant les deux saisons, pour le zinc la contamination est marquée durant la saison estivale. Ces valeurs sont supérieures aux normes françaises, De ce fait, la chair de ce mollusque bivalve peuplant le lac Oubeira est de mauvaise qualité voire toxique et contaminé par le plomb, le chrome, le nickel, le manganèse, le cuivre et le zinc. Cela est du certainement à l'immense capacité de cette moule géante à bioaccumuler les métaux lourds présents dans son environnement.

Pour le lac Tonga, contrairement aux deux autres lacs, l'échantillon retenu est au sommet de la chaîne trophique aquatique, en l'occurrence l'anguille poisson carnassier et espèce bioindicatrice. Les résultats du dosage des neuf métaux lourds analysés sont assez homogènes pendant les deux saisons. Les teneurs les plus élevées aussi bien pour les deux stations que pour les deux saisons sont celles du zinc, du fer et du manganèse. Le cuivre et le chrome sont assez proches et un peu moins le nickel avec des valeurs très faibles pour le plomb, le cadmium et le mercure. Ces teneurs semblent être liées aux faciès, à la végétation forestière, à l'agriculture et un degré moindre à l'axe routier, et donc liées à des origines naturelles et anthropiques.

Les teneurs des neuf métaux lourds analysés chez l'anguille montrent des valeurs faibles voire inférieures aux normes requises par les instances internationales. De ce fait le poisson reste de bonne qualité.

Les observations, nous conduisent aux conclusions suivantes : les teneurs les plus élevées sont notées au niveau du lac Oubeira dans la chair de l'anodonte pendant la saison estivale et au niveau de la station 1. Toutefois, en tenant compte des normes admises par les instances internationales les teneurs relevées dans la chair de la palourde bivalve peuplant la lagune El-Mellah et dans le foie du poisson peuplant le lac Tonga reste faible et ne suscitent aucune inquiétude. Le facteur saisonnier est important et de nombreux auteurs ont montré que les teneurs métalliques mesurées chez ces espèces varient en fonction des saisons. (Majori et al, 1978 ; Cossa et al, 1980 ; Cosa et Randeau, 1985, Lee et al, 1996 ; Bei et al, 1999 Wright et Masson, 1999 ; Kaimoussi et al, 2000, Orban et al, 2002).

Par ailleurs nous notons une observation particulière concernant la distribution de certains métaux (Cd, Pb, Cu et Zn) qui font apparaître des teneurs maximales pendant l'hiver et au début du printemps. Ces variations sont liées à plusieurs facteurs principalement le poids, la température, la biodisponibilité de la nourriture et la biodisponibilité des métaux lourds. (Selon Cossa et al, 1980 ; Zandée et al 1980, Smaal et al, 1997 ; Wrog et Cheung, 2001, Rainbow et al, 2004).

Les résultats obtenus au niveau des ces trois matrices biologiques eaux, sédiments et organismes aquatiques des trois lacs milieux de notre étude, révèlent que l'eau de surface est le premier vecteur de contamination par les métaux lourds, ensuite avec le temps ces éléments métalliques ne restent pas dans l'eau superficielle, ils sont transférés dans les sédiments superficiels où ils sont en partie métabolisés par les organismes aquatiques vivants et mis en circulation dans les chaînes alimentaires.

Les milieux aquatiques sont très sensibles aux éléments traces par la co-existence de deux phénomènes de bio-accumulation et de bio-amplification, car ces éléments se concentrent au fur et à mesure des absorptions par les consommateurs successifs de la chaîne alimentaire (eau, plancton, poissons herbivores, poissons carnivores, homme).

En effet, cette pollution métallique est préoccupante du fait qu'il est pratiquement impossible de récupérer aisément ces métaux une fois disséminés dans la nature.

Tableau 127 : La comparaison de notre étude avec d'autres travaux réalisés dans certains lacs Africains, Asiatiques et Européens (Sédiments superficiels).

Sites/ métaux	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Références
Croûte continentale	0.08	0.10	12.5 20	55	70	950	56000	Taylor, 1964
Lac Mariout Egypte	-	0.20	7.3	38.00	94.00	958.00	25600	Saad et al. ; 1985
Lac Nozha Egypte	-	0.15	10.6	79.60	106	1.25	57800	Saad et al. ; 1985
Estuaire du Nil Egypte	-	1.06	/	85.6	139	387	460	Saad et Fahmy; 1985
Fleuve du Rhône de France St Vallier-	1.22	7	280	137.6	285	698	22342	Greenpeace, 1986
Fleuve du Rhône de France - Isère -	0.24	4	80	41.7	107.7	716	27389	Greenpeace, 1986
Fleuve du Rhône de France - Valence -	0.21	4	280	44	148	120	31594	Greenpeace, 1986
Lac Victoria, Kenya	-	Min 0.55 Max 1.02	6.02 69.4	0.96 78.6	2.54 265	53.1 616	1180 52900	Onyari et Wandiga, 1989
Lac Ghar El Mellh	-	1.5	-	15	100	200	-	S.Azzaoui, 1993
Lac Ichkeul Tunisie	-	1.0	60	20	180	300	-	N.Ben M'barek, 1995
Lac Fouaret, Maroc	-	0.4	64.6	45.5	219	407	15200	H.Benbuih et al., 2005
Lac El-Mellah	0.20	0.30	06.48	06.57	74.03	049.05	3968	Bendjama Amel, 2006
Lac Tonga	0.05	1.25	69.60	34.86	104.7	297.86	13643	Bendjama Amel, 2006
Lac Oubeira	0.03	0.33	21.10	23.50	89.95	494.45	13436	Bendjama Amel, 2006
Sédiment non pollué	0.05	0.11	19	33	95	770	41000	GESAMP, 1982 ; Salamon, Forstner, 1984

Tableau 128 : La comparaison de notre étude avec d'autres travaux réalisés dans certains lacs Africains, Asiatiques et Européens (les eaux superficielles).

Sites/ métaux (mg/l)	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Références
Fleuve du Nil Egypte	-	0.4		1.3	8.18	0.46	2.5	Saad et al. ; 1985
Lac Nozha Egypte	-	0.2		20.5	17.1		40.1	Saad et al. ; 1985
Lagune Mariout, Egypte	-	0.22	-	10.6	18.3	-	42.5	Saad et Fahmy; 1985
Fleuve du Rhône de France St Vallier-	0.0011	0.002	0.01	0.01	0.050	0.07	0.90	Greenpeace, 1986
Fleuve du Rhône de France - Isère -	0.0004	0.002	0.022	0.013	0.08	0.08	0.60	Greenpeace, 1986
Fleuve du Rhône de France - Valence -	0.0006	0.002	0.01	0.01	0.05	0.22	1.35	Greenpeace, 1986
Lac Victoria, Kenya	-	2 8	7 93.6	5 57.6	25 125	50 3.27	-	Ochieng, 1987
Lagune de Lagos, Nigeria	-	2	9	3	15	21	86	Okoye, 1991
Rivière Warri, Nigéria	-	2.3	17.9	23.1	42.9	-	625	Kakulu & Osibanjo, 1992
Lac El-Mellah – Algérie-	0.08	0.01	0.56	0.07	1.10	0.42	3.91	Bendjama Amel, 2006
Lac Tonga- Algérie-	traces	0.01	0.61	0.19	1.19	0.78	4.42	Bendjama Amel, 2006
Lac Oubeira- Algérie-	0.133	0.008	0.45	0.65	0.42	0.86	9.45	Bendjama Amel, 2006

Tableau 129 : Concentrations moyennes de quelques métaux lourds dans des poissons et mollusque des eaux intérieures ($\mu\text{g/g}$ poids frais)

Emplacement	Hg	Cd	Pb	As	Cu	Zn	Mn	Fe	Référence
POISSONS									
Lac Mariout, Egypte		0,15			3,7	7,6	0,9	11,2	Saad <i>et al.</i> , 1981a
Lacs Idku, Mariout, Egypte	0,01	0,004	0,67	0,031	1,77	7,4			El Nabawi <i>et al.</i> , 1987
Hydrodrome Nozha, Egypte		0,05			3,14	8,0		12,6	Saad, 1987
Bassin de Kpong, Ghana	0,053	<0,10	0,43		0,36	5,6	0,63	3,8	Biney, 1991
Rivière Wiwi, Ghana	0,37	0,19	0,47		0,18	3,0			Biney et Beeko, 1991
Delta du Niger, Nigéria	0,034	0,03	0,48		0,70	4,8	1,1	5,4	Kakulu <i>et al.</i> , 1987a
Lac Nakuru, Kenya	0,044	0,05	0,17	0,36	2,0	22	1,8		Greichus <i>et al.</i> , 1978a
Lac Victoria, Kenya*		0,04–0,12	0,4–1,1		0,15–0,53	2,21–7,02	0,22–0,74	0,53–4,65	Wandiga et Onyari, 1987
Lac McIlwaine, Zimbabwe		0,02	0,17	0,28	1,08	9,6	5,4		Greichus <i>et al.</i> , 1978
MOLLUSQUES									
<i>Macrobrachium sp</i>									
Basse-Volta, Ghana	0,04	<0,10	4,36		11,0	16,1			Biney, 1991
Delta du Niger, Nigéria	0,02	0,04	2,47		8,5	14,1			Kakulu <i>et al.</i> , 1987a
<i>Egeria radiata</i>									
Basse-Volta, Ghana	0,05	<0,10	1,37		4,5	20,2			Biney, 1991

CONCLUSION & PERSPECTIVES

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 9 métaux lourds dissous dans les eaux des trois lacs montrent une distribution spatiotemporelle assez variable. Cependant, les concentrations 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 pour les eaux des trois lacs, qu'au niveau des six stations de prélèvement, les concentrations des neuf métaux lourds se caractérisent soit par une baisse soit par un accroissement. Par exemple, les variations des concentrations des neuf 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, en manganèse, en plomb et en mercure 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.

Les eaux du lac Tonga sont polluées par certains éléments dont l'ordre de croissance est comme suit : Fe>Mn>Pb>Ni>Cr>Cd. Les autres éléments Cu, Zn sont présents mais à des concentrations normales. En ce qui concerne le mercure, sa concentration est en dessous de la limite de détection.

Par ailleurs, les eaux du lac Oubeira sont polluées par le Fe>Cu>Mn>Cr>Pb>Hg>Cd et cela par ordre croissant ; seul le zinc présente des concentrations normales.

Quand aux eaux de la lagune El Mellah, les éléments métalliques qui présentent des concentrations dépassant les normes sont par ordre croissant comme suit : Fe>Cr>Ni>Pb>Mn>Hg>Cd. Le zinc et le cuivre sont présents à des concentrations normales.

L'évolution des métaux lourds analysés dans les sédiments des trois sites Tonga, Oubeira, El Mellah suivent la même évolution saisonnière que les eaux, présentant ainsi des teneurs élevées par le fer pour l'ensemble du complexe lacustre d'El-Kala. Néanmoins lac El Mellah montre des teneurs élevées seulement par le nickel et le chrome, et lac Tonga pour le plomb et le cadmium. Les apports sont d'origine géologiques et humaines et favorisent la contamination de ces écosystèmes.

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 ».

Pour la chair du bivalve « palourde » peuplant la lagune El Mellah, les teneurs restent faibles et inférieures aux normes admises pour cette étude. Quant à la chair de l'anodonte peuplant lac Oubeira, est considérée comme contaminée par tous les éléments sauf le fer. En revanche, le foie du poisson anguille peuplant lac Tonga accusent des valeurs inférieures aux normes ne suscitant aucune inquiétude.

On a pu ressortir de cette étude que la distribution des teneurs en métaux dans les trois matrices (eau, sédiment et organismes aquatiques) dépends des variations saisonnière dont les valeurs maximales s'observent généralement durant la période d'étiage, et les teneurs les plus faibles durant la période de crue avec des concentrations intermédiaires durant le printemps et l'automne et que la nature du sédiment joue un rôle important dans la répartitions des ETM au niveau des trois lacs.

► EN PERSPECTIVES :

- Pour déterminer avec exactitudes l'origine des eaux, il serait important voire utile pour des études ultérieures de dégager une stratégie menant à la détermination de l'origine des ETM dans les eaux et les sédiments ce qui débouchera sur la nature (naturelle ou anthropique) de cette pollution.
- De comprendre les processus couplés, biologique, géochimique, hydrogéologique qui en définitif régulent les concentrations en métaux lourd dans les sédiments et les organismes aquatiques.
- L'autre perspective serait de prendre les facteurs accélérateurs de la pollution tel que la fraction du sédiment et les paramètres physique (la conductivité électrique, la matière en suspension, la DBO₅, la DCO, la température, le pH, l'oxygène dissous, le potentiel redox et les paramètres chimiques particulièrement le brome et le bore car le rapport Br/Cl montre l'influence marine sur la salinité des eaux et le bore caractérise l'apport des rejets urbains (L.Djabri, 1996).

RESUME

Cette étude a pour objectif d'évaluer les niveaux de contamination par 9 métaux lourds (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd et Hg) au niveau des zones humides de la région d'El-Kala (Tonga, Oubeira, et El Mellah) dans trois matrices ; eau, sédiment et organisme aquatique.

Lac El Mellah : eau, sédiment et le bivalve « *Ruditapes decussatus* ».

Lac Tonga : eau, sédiment et l'anguille « *Anguilla anguilla* ».

Lac Oubeira : eau, sédiment et la moule « *Anodonta sp* ».

154 prélèvements ont été réalisés au cours de l'année 2006. Le dosage des ETM a été réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA).

Les résultats obtenus montrent que la distribution des neuf métaux lourds analysés dans les différentes matrices est assez variable aussi bien entre les saisons qu'entre les stations. Cette observation est appuyée par deux tests statistiques (ANOVA et PPDS).

Les résultats du dosage dans les eaux prélevées au niveau du Lac Oubeira révèlent la présence de concentrations élevées concernant le Cu, Fe, Mn Ni, Cr, Pb, Cd, Hg ; au niveau du Lac El-Mellah nous relevons des concentrations élevées pour le Fe, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, et Hg et au niveau du Lac Tonga se sont le Fe, Mn, Ni, Cr, Pb et Cd qui sont présents à des concentrations élevées dépassant ainsi les normes européennes.

Les résultats du dosage dans les sédiments échantillonnés au niveau de la lagune El Mellah, montrent de fortes teneurs en fer, en nickel et en chrome ; dans l'Oubeira ce sont le fer et le nickel qui présentent des teneurs élevées ; mais dans le Tonga ce sont le fer, le cadmium et le plomb qui sont présents à de fortes teneurs.

L'évaluation de l'indice de contamination nous permet de classer le sédiment de la lagune El-Mellah dans la classe B du fait de la présence du fer, du nickel et du chrome à de fortes teneurs. En ce qui concerne le sédiment du Tonga, il est de classe B par la forte présence du fer, du cadmium et du plomb ; quant à l'Oubeira, il est de classe B pour seulement les fortes teneurs en fer qu'il abrite.

Pour la chair, les résultats obtenus montrent de faibles teneurs chez la palourde peuplant la lagune El-Mellah et l'anguille, poisson peuplant le lac Tonga cependant ils sont indemnes de toute contamination métallique. Seule l'anodonte peuplant l'Oubeira montrent de fortes teneurs pour le Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni, Cr, Mn, supérieures aux normes admises.

Mots clés : contamination, métaux lourds, sédiment, eau, *Ruditapes decussatus*, *anguilla anguilla*, *Anodonta sp*, zones humides lac Tonga, lac Oubeira, lagune El-Mellah.

ABSTRACT

The aim of our study concerns the evaluation of levels of contamination by 9 heavy metals (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, Hg) in water, sediment and aquatic organisms within 3 wetland areas Tonga, Oubeira and Mellah in the National Park of El Kala.

Lake El Mellah: water, sediment and bivalve "*Ruditapes decussatus*".

Lake Tonga: water, sediment and eel "*Anguilla anguilla*".

Lake Oubeira: water, sediment and mussel watch "*Anodonta sp*".

In each area, two sampling station were fixed. During the year 2006, 154 samplings were carried out.

Statistical analysis (ANOVA and PPDS) of concentration of these 9 heavy metals at the level of water and sediment showed significant variation in time and space.

In Lake Oubeira, waters are polluted by Fe, Cu, Mn, Ni, Pb, Cr, Cd, Hg. In Lake Mellah, levels of pollution by Fe, Mn, Ni, Cr, Pd, Cd, and Hg are higher than European standards. In Lake Tonga, 6 heavy metals (Fe, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd) show high levels.

Measurements of levels of heavy metals in sediment show higher values of :

- Fe, Ni, Cr in Mellah,
- Fe in Oubeira
- Fe, Pb, Cd in Tonga

In aquatic organisms, levels of heavy metals in *Anguilla anguilla* from Lake Tonga and *Ruditapes decussatus* from Lake Mellah are very low, whereas very high in *Anodonta Sp.* from Lake Oubeira.

Key words: contamination, heavy metals, sediment, water, *anguilla anguilla* , *Ruditapes decussatus*, *Anodonta sp*, wetland areas, Lake Tonga, Lake Oubeira, Mellah Lagoon.

ملح-خ-ص

هذه الدراسة تهدف إلى تقييم مستوى التلوث ب تسعة م عادن ثقيلة و المتمثلة في الحديد، الزنك، النحاس، المنغنيز، النيكل، الكروم، الرصاص، الكاديوم و الزئبق) و ذلك بللبحيرات الرئيسية الثلاثة (طونقا، أبيرة، الملاح) لمجمع المناطق الرطبة للحظيرة الوطنية بالقبالة و ذلك على مستوى المياه، الرواسب و الكائنات الحية، مع تبين مصدر التلوث بالمعادن الثقيلة.

- بحيرة الملاح: الماء، الراسب، ثنائيات الصدفة « *Ruditapes decussatus* » .
 بحيرة طونقا : الماء، الراسب، سمك الأنقليس « *anguilla anguilla* » .
 بحيرة أبيرة : الماء، الراسب، ثنائيات الصدفة « *Anodonta sp* » .

154 عينة أخذت خلال سنة 2006 و م عايرة 9 معادن ثقيلة تم بواسطة مطياف الإمتصاص الدردي.

نتائج التحاليل التي أجريت أظمرت توزيع متغير للمعادن الثقيلة من حيث الزمان و المكان. هذا الاستنتاج مؤيد بطرق إحصائية أجريت على مختلف النتائج المحصل عليها (ANOVA et PPDS).

- نتائج تحاليل المعادن الثقيلة المنحلة التي أجريت في ماء البحيرات، أظهرت ما يلي :
- مياه بحيرة الملاح أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد ، المنغنيز، النيكل، الكروم، الرصاص، الكاديوم و الزئبق).
 - مياه بحيرة طونقا أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد، المنغنيز، النيكل، الكروم، الرصاص و الكاديوم).
 - مياه بحيرة أبيرة أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد ، النحاس ، المنغنيز، النيكل، الكروم، الرصاص، الكاديوم و الزئبق).

- 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).

- من خلال تقييم عوامل التلوث، نستطيع أن نصنف راسب البحيرات كما يلي :
- راسب بحيرة الملاح ملوث ومن الصنف "ب" و ذلك بالنسبة للمعادن التالية: (الحديد، النيكل، الكروم).
 - راسب بحيرة طونقا : ملوث ومن الصنف "ب" و ذلك بالنسبة للمعادن التالية : (الحديد، الرصاص و الكاديوم).
 - راسب بحيرة أبيرة أظهرت تراكيز تفوق المقاييس و ذلك بالنسبة لمعدن الحديد فقط.
 - راسب عبر ملوث ومن الصنف أ بالنسبة لباقي المعادن الثقيلة التي تم تعييرها.
- نتائج تحاليل المعادن الثقيلة التي أجريت في لحم الكائنات الحية، أظهرت ما يلي:

ثنائيات الصدفة « *Ruditapes decussatus* » و سمك الأنقليس « *Anguilla anguilla* » أظهرت معدلات عادية لا تفوق المقاييس، أما بالنسبة ل ثنائيات الصدفة « *Anodonta sp* » فتراكيز المعادن الثقيلة التي تفوق المقاييس هي (الزنك، النحاس، المنغنيز، النيكل، الكروم، الرصاص، الكاديوم و الزئبق) .

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **ADAM., 1960** Faune de Belgique. Mollusques Tome 1. Mollusques terrestres et dulcicoles. Inst. Roy. Sci. Nat. Belg. 402 p.
- 2 **AISSI A. & SIBLOT D., 1980.** - Etude du lac Mellah (Wilaya d'Annaba) : Les métaux lourds dans certains organismes . V^{es} des journées *Etud. Pollution. Cagliari* : 151-154.
- 3 **AMINOT A., CHAUSSPIED M., 1983.** -Manuel des analyses chimiques en milieu marin .Centre national pour l'exploitation des océans, 396 p.
- 4 **AMSTRONG MARGARETTE., 1996** – La moule des eaux douces – Freshwater Mussels-, Rapport N° 4, des associés de la biodiversité pour le bureau de la convention sur la biodiversité environnement – Cannada -
- 5 **ANAGNOSTOU C., KABERI, H., KARAGEORGIE, A., 1998.** « Horizontal and vertical distribution of heavy metals in sediment from thermaikos golf ». Rapport du 35 Congrès (Dubromik); CIESM, 313 p.
- 6 **ANGELIDIS M.O. ET V.A.CATSIKI (2002).**-Metal bioavailability and bioaccumulation in the marine environment: methodological questions, CIESM Workshop Monograph, Monaco: 128p.
- 7 **AQUITAINE CERECA/ADERA., 2003** - Évaluation du stock de palourdes du bassin d'Arcachon ; page 07.
- 8 **ASSO, A, 1982.** « Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule *Perna perna*, dans la région d'Alger ». Mémoire de Magister en océanologie biologique. Université d'Aix-Marseille II, 138 p.
- 9 **ATSDR (1990).** "Toxicological profiles for copper. Agency for toxic substances and disease registry, atlanta, GA: US department of Health and Human Services, Public Health Services.
- 10 **Azzaoui S., 1993.** – Géochimie de certains Métaux lourds dans les sédiments de la lagune de ghar El Mellh (N-E –Tunisie), mémoire de DEUA, Université de Tunis II, 100p.
- 11 **BACHELET G., 1987**-Processus de recrutement et rôle des stades juveniles d'invertébrés dans le fonctionnement des écosystèmes benthiques des substrats meubles en milieu estuarien .*Thèse de doctorat d'état ; Univ.Bordeaux I* : 478p.
- 12 **BEI F., CATSIKI V.A. & STROGGYLOUDI 1998.** – Seasonal AND SPATIAL Variation of Cu, Cr, Ni and Pb concentration in *Mytilus galloprovincialis* of Sarannikos gulf , Greece. Rapports de la Commission Internationale pour l'exportation Scientifique de la Mer Méditerranée.
- 13 **BELAIR G. ,1990** - Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de quatre éco-complexes lacustre et marécageux El-Kala (est algérien).Thèse d'université U.S.T.L Mont Pellier II, 193p.
- 14 **BEN M'BAREK N ., 1995** – Impact des ouvrages sur l'équilibre de l'écosystème : Lac Ichkeul », Mémoire de DEA, Université de Tunis II ; 97p.
- 15 **BEN BOUIH H, H.NASSALI , M.LEBLANS et A.SHIRI. , 2005** – Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouaret-Maroc. *Afrique Science* 01 1009-125.

- 16 **BENYACOUB S. 2004.** « Connaissance des biomasse des lacs de la Willaya d'El Tarf et établissement des règles de gestion».
- 17 **BENSLAMA., 1993** - Couvertures écopédologique et rôle de la matière organique dans l'évolution et la différenciation des sols en milieu humide sous couvert forestier bassin versant du lac Tonga, thèse de magister I.N.A El-HARECH, 152 p.
- 18 **BINEY, C.A., 1991.** – The distribution of trace metals in the Kpong Headpond and Lower Volta River, Ghana. Dans Perspectives in aquatic ecotoxicology, édité par N.K. Shastree. Delhi, India, Narendra Publ. House
- 19 **BINEY, C.A. ET C.A. BEEKO, 1991.** – Trace metal concentrations in fish and sediment from the Wiwi, a small urban river in Kumasi, Ghana. Trop.Ecol., 32(2):197–206.
- 20 **BNEDER 2004** ; Bureau national des études et du développement rural Alger.
- 21 **BOGUER D., JURACIC M., BARIE, A., 1998.** « Cr and Vi content in sediment from Kastela bay, Adriatic sea, Croatia », rapport du 35 congrès Croatia (Dubrovnik), CIESM, 313 p.
- 22 **BORCHARDT, T. (1985).** "Relation ship between carbon and cadmium uptake in *Mytilus edulis*." Mar. Biol **85**: 233-244.
- 23 **BOUDOU A., 1982** - « Recherches en écotoxicologie expérimentale sur les processus de bioaccumulation et de transfert des dérivés du mercure ». Thèse de doctorat d'Etat, Université de Bordeaux 1: 297.
- 24 **BOUDOU, A., J. P. DESMAZES ET D. GEORGESCAULD (1982).** "Fluorescence quenching study of mercury compounds and liposome interactions: effect of charged lipid and pH." Ecotox. Environment. Safety **6**:p 379-387.
- 25 **BRANCH H.C., 1973** - Corrosion resistant materials for U equipment »Materials Protection and Performance, , vol,12, n° 3.
- 26 **BROWN B.F., 1971** - Les matériaux et la corrosion en milieu marin » Matériaux et Techniques, janvier, p.22-27 .1971, février, p39-42.
- 27 **Buet.a ., 2002.** – Impact biologique des HAP chez l'anguille européenne.Définition et validation de biomarqueurs in situ. Thèse de Doctorat Univ.Paris-Sud XI, 194p.
- 28 **BURCH R.E., SULLIVAN J.F., 1976** – “The medical clinics of north America” Symposium of traces elements,vol.60n° 4,juillet 1976,852 page W.P Saunders Company, Philadelphia.
- 29 **BURTON J.D., 1976.** « Basic properties and processes *in* estuarine chemistry ». In: estuarine chemistry, Ed. Burton J.D and Liss P.S, Londres.
- 30 **CALAMARI D., MARCHETTI R., 1973** - ”The toxicity of mixtures of metals and surfactants to rainbow trout (*Salmo Gairdenri Rich*) »water research, vol.7p.1453-1464.
- 31 **CAMPBELL, P. G. C. (1995).** Interactions between trace metals and organisms: critique of the free-ion activity model. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. A. Tessier et D. R. Turner, J.Wiley & Sons, Chichester, UK: 45-97.
- 32 **CAWET.G & FAGUET.D, 1982.** – The role of organisme matter in transport processer of metals in estuarine environnements. Thalassa ogoslavia, pp 379-392.

- 33 **C.BINEY, A.T.AMUZU, D.CALAMARI, N.KABA, I.L.MBOME, H.NAEVE.O.O.CHUMBA. O.OSIBANJO, V.RADEGONDE & M.A.H.SAAD., (2003).** – Etude des métaux lourds; Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain. Produit par département des pêches.
- 34 **CHARLOUT G et al. 1983.** « Dosage Absorbtiométrique des éléments minéraux ».
- 35 **CHIFFOLEAU, J. F., D. AUGER, E. CHARTIER, P. MICHEL, I. TRUQUET, A. FICHT, J. L. GONZALEZ ET L. A.ROMANA (2001).** – Spatiotemporel changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France). *Estuaries* 24 (6B): 1029-1040.
- 36 **CHIFFOLEAU, J. F., D. CLAISSE, D. COSSA, A. FICHT, G. GONZALEZ, T. GUYOT, P. MICHEL, P. MIRAMAND, C. OGER ET F. PETIT., (2001).** – La contamination métallique, Programme scientifique Seine Aval: 39.
- 37 **CLAISSE D., 1995.** – Surveillance du milieu marin « Les métaux lourds dans les sédiments de la baie de Seine » .Travaux Du RNO ; p 25.
- 38 **COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES** “Environnement et qualité de la vie – les rejets d'origine industrielles en milieu marin » 1975, p.230.
- 39 **COPIN-MONTECUT G., 1996.** « Chimie de l'eau de mer ». Edition Institut océanographique. Paris. 319.
- 40 **CORIOU H., BOISDE G., GRALL L. ,1970**-Essais de corrosion sur différents matériaux dans l'eau de mer jusqu'à 151°C »3rd International Symposium on Fresh Water from the sea,p.597-590.
- 41 **COSSA D et al., 1980.** « Utilisation de la moule bleue comme indicateur du niveau de pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures dans l'estuaire et le golfe du St Laurent », Rapport INRS Océanologie (Université du Québec). NSI-43600/00/74.
- 42 **COSSA D. & RONDEAU. J. G. 1985.** « Seasonal, geographical and size-induced variability in mercury content of *Mytilus edulis* in an estuarine environment »: a re- assessment of mercury pollution level in the estuary and golg of St Laurent. *Mar. Biol* 88: 43-49.
- 43 **COSSA. D., (1989)** - "Cadmium in *Mytilus spp.*: Worldwide Survey and Relationship between seawater and Mussel Content." *Mar. Environ. Res* 26: 265-284.
- 44 **COSSA, D. ET P. LASSUS (1989).** Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie, Editions Ifremer, Plouzané, France. 16: 111.
- 45 **COSSA, D. ET A. FICHT., 1999.** - La dynamique du mercure, Programme scientifique Seine-Aval, Editions Ifremer, Plouzané, France: 2.
- 46 **DAGNELLIE.P., 1975** - « Théorie méthodes statistiques » ; Tome II. Bruxelles université de BOECK et LARCIER, : p109, p242.
- 47 **DAMERON, C. ET P. D. HOWE (1998).** – Copper Environmental Health criteria n°200. Geneve, World Health Organization.
- 48 **DEBIECHET.H., 2002** - Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse obtenue à l'U. F. R. des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté Ecole Doctorale Homme, Environnement, Santé. Spécialité (Hydrogéologie et Environnement).235p.

- 49 **DRAREDJA B., 1992.** « Condition hydro sédimentaires et structure de la macrofaune benthique en période printanière d'un écosystème lagunaire méditerranéen : lac Mellah (Algérie) ». *Thèse de Magister en Océanographie, ISMAL (Alger)* : 147 p.
- 50 **Di-BENEDETTO et al., 1997** : Méthodes spectrophotométriques d'analyse et de caractérisation, Rapport , Ecole des mines de Saint-Etienne .
- 51 **DJABRI. L ; 1996** – Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la seyhouse « Origine géologique, industrielles, agricoles et urbains » thèse de Doctorat Es-science Univ Besançon p .
- 52 **EL NABAWI, A., B. HEINZOW ET H. KRUSE, 1987.** As, Cd, Cu, Pb, Hg and Zn in fish from the Alexandria Region, Egypt. Bull.Environ.Contam.Toxicol., 39:889–97.
- 53 **FERNEX, F. MIZNON, C, FEVRIER, G, ARNONX, A, 1995.** «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, 263 p.
- 54 **FITZGERALD, W. F. ET C. J. WATRAS., 1989.** - Mercury in surfacial waters of rural Wisconsin lakes." Sci.Total. Environ. **87/88**: p 223-232.
- 55 **FITZGERALD.W.F. et T.W.CLARKSON., 1991.** Mercury and monomethylmercury: Present and future concerns. Environ. Health Perspectives **96**: p 159-166.
- 56 **FRIEDRICH A.R., F.P.FILICE, 1976** –“ Uptake and accumulation of the nickel ion by *Mytilus edulis*” Bulletin of Environmental contamination and toxicology; vol 16, n° 6, p 750-755
- 57 **GESAMP., 1997** – IMO/FAO/Unesco/WMO/WHO/IAEA/UN/Unep. Joint Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Pollution. Report of the Thirty-third session, Working group on the evaluation of the hazards of harmful substances carried by ships, EHS/Feb 97, International Maritime Organization, London.
- 58 **GRANIER M., 1975** - Cobalt, Cadmium, Nickel, 62 pages.
- 59 **GERARD A., 1978** – Recherche sur la variabilité de diverses populations de *Ruditapes decussatus* et *Ruditapes philippinarum* (Vénéridae, Bivalvia), Thèse de 3^{ème} cycle U.B.O, 149 p.
- 60 **GOLDBERG, E. D., 1975.** - "The Mussel Watch." Mar. Pollut. Bull. **6**: 111-113.
- 61 **GONZALEZ J.L., CHIFFOLEAU J.F., MIRAMAND P. ET THOUVENIN B. (1999).** - Le cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Programme scientifique Seine Aval, Editions Ifremer, Plouzané, France: 31.
- 62 **GREICHUS, Y.A. ET al., 1978a.** Insecticides, polychlorinated biphenyls and metals in African lake ecosystems. 2. Lake McIlwaine, Rhodesia. Bull.Environ.Contam.Toxicol., 19: 444–53
- 63 **GUIDE CETIM., 1995.** - traitement de surface ;technique de réduction des déchets .
- 64 **GUENUEN T., Année eau 1974 -1975.** - Mémoire sur le Chrome. Institut de technique sanitaire – conservatoire des arts et métiers, 37 pages.
- 65 **HART BIT., (1982)** . – Heavy metals review paper trace metal complexing capacity of natural water environs. Tech.Lett.pp 95-110.
- 66 **HELENE ROCHE, ASTRID BUET ET FRANÇOIS RAMADE ; 2003**– Caractéristiques écophysiologicals d'une population d'Anguille de Camargue exposée à une pollution clandestine par des polluants organiques persistants.Rev.Ecol, (Terre vie), vol, 8, p 103.

- 67 **HECKER. P ., SCHAEZLER D.J ., KRAMER G.R.,1972** - Effects of heavy metals on micro organisms application to process design” Engineering Bulletin of Purdue university, n° 141, part.1,p 350-368.
- 68 **J.J .MORGAN., 1967** – “Chemical equilibrium and kinetic properties of manganese in natural waters” Principals and applications of water chemistry .
- 69 **J .GREFFARD, 1970** - Equilibres carboniques et corrosion Bulletin du BRGM – section 3 – n° 4, p. 23 – 44.
- 70 **JOANNY M., CHAUSSEPIED M. ET CORRE F. 1980.** Présentation des résultats des océans. centre océanologique de Bretagne (CNEXO/COB),49
- 71 **KAIMOUSSI A., CHAFIK A., CHEGGOUR M., MOUZDAHIR A. & BAKKAS 2000.** « Seasonal variation of metal concentration (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel *Mytilus galloprovincialis* from EL jadida coastline (Morocco) ». Mar. Life 10: 77-85.
- 72 **KAKULU, S.E., O. OSIBANJO ET S.O. AJAYI, 1987a.** – Trace metal content of fish and shellfishes of the Niger delta area of Nigeria. Environ.Int., 13:247–51
- 73 **LANE, T. W. ET F. M. M. MOREL (2000).** "A biological function for cadmium in marine diatoms."Proceedings of the National Academy of Sciences **97**(9): 4627-4631.
- 74 **LEE K. M., KRUSE H. & WASSERMANN O. 1996.** « Seasonal fluctuation of organochlorines in *Mytilus edulis* L. from the South West Baltic Sea ». Chemosphere 32: 1883-1895.
- 75 **LI, X. D, WANG D. C, WAI, O.M.H, LI, Y. S, LIU, W. X, SHEN, Z. G. 2003.** - Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the earl river estuary. Environmental pollution 121. pp. 377-388.
- 76 **PRICE, N. M. ET F. M. M. MOREL (1990).** "Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom." Nature **344**(6267): 658-660.
- 77 **LINDQVIST, O. ET H. RHODE., 1985.** "Atmospheric mercury - a review." Tellus **37B**: 136-159.
- 78 **LINDQVIST, O., 1991.** "Mercury in the Swedish environment. recent research on causes, consequences and corrective methods." Water Air Soil Pollut **55**: 261.
- 79 **L.LEVESQUE., 1979** - Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales Chrome, Cuivre,Nickel p 17,,26,27,28,112,128,131 ;137 ;Rapport n°6.AFEE.Paris
- 80 **L.LEVESQUE., 1979** - Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales Fer, Aluminium, Manganèse, Molybdène, Vanadium, Titane ; p 78-101 Rapport n°2. AFEE.Paris.
- 81 **L.LEVESQUE., 1979-** Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales plomb, l'étain ; p 1,13,56,58,73,78, ;Rapport n°3, AFEE.Paris.
- 82 **L.LEVESQUE., 1979-** Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales le mercure ;p 1, 50 , 56 , 64 , Rapport n°4, AFEE. Paris.
- 83 **L .R .PITTWEL** “Metals coordinated by ligands normally found in natural waters” journal of hydrology –1974 – p.301 – 339.

- 84 MAJORI L., NEDOCLAN G., MODONTTI G.B. & DARIS. F. 1978. « Study of seasonal variation of some trace elements in the tissue of *Mytilus galloprovincialis* taken in the gulf of Trieste ». Revue. Int. Océanogr. Méd. 49: 37-40.
- 85 MASON, R. P., W. F. FITZGERALD ET F. M. M. MOREL (1994). "The biogeochemical cycling of elemental mercury: Anthropogenic influences." Geochim. Cosmochim. Acta. **58**: 3191-3198.
- 86 MARCHAND, M. ET R. KANTIN (1997). - "Les métaux traces en milieu aquatique." Océanis **23**(4): p 595-629.
- 87 MEHANNAOIU F-Z ET S.MEHANAOUIL , 2004 - Assessment of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. p 434-446. *Laboratoire de biologie et Environnement, facultés des sciences, université de Constantine (Algérie).*
- 88 MIQUEL. M, (2001). – Les effets des Métaux lourds sur l’environnement et la santé . Rapport office parlementaire d’évaluation des choix scientifiques et technologique (Dir). Rapport Sénat n° 261 :360.
- 89 NAS/NRC (1989). – Recommended dietary allowances, National Academy of Science/National Research Council, Washington.
- 90 NUNEZ-DELGADO A., (1996). – l’Anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.). Effet de la pollution du milieu .Rev. Real Acad.Galega Cienc ., 15 : 51-79.
- 91 OCHIENG, E.N., 1987. – Limnological aspects and trace elements analysis Kenyan natural inland waters. MSc. Thesis, University of Nairobi, Kenya, 294 p.
- 92 OKOYE, B.C.O., O.A. AFOLABI ET E.A. AJAO, 1991. Heavy metals in the Lagos Lagoon sediments. *Int.J. Environ.Stud.*, 37:35–41.
- 93 OMS-IPCS (1998). Environmental Health Criteria n°200: copper, World Health Organisation, International Programme on chemical safety.
- 94 ONYARI, J.M. ET S.O. WANDIGA, 1989. – Distribution of Cr, Pb, Cd, Zn, Fe and Mn in Lake Victoria sediments, East Africa. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 42:807–13
- 95 O. OSIBANJO, C. BINEY, D. CALAMARI, N. KABA, I.L. MBOME, H. NAEVE, P.B.O. OCHUMBA ET M.A.H. SAAD. - Etude des métaux lourds; Revue de la pollution dans l’environnement aquatique africain. Produit par département des pêches.
- 96 ORBAN E., DILENA G., NEVIGATO T., CASINI I. & CAPRONI. (2002) . - Seasonal change in meat content, condition index and chemical composition of mussel (*Mytilus galloprovincialis*) cultured in two different Italian sites. Food Chemistry.
- 97 PARISELLE. H , (1956) . – Matières en suspension dans l’eau - source AFNOR, NF T 90-105, Juin 78- Chimie (tome II - métaux) - Editions Masson -
- 98 P. de LATIL., (1983) - l’exploitation minière des océans »science et avenir – n° spécial océanologies ; p .69 – 71.
- 99 P.MARCET, M.L.ANDRAL, M.J MONTERO, (1997). - Efficacité d’une méthode de digestion par micro-ondes pour la détermination de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cr, Al et Cd dans les sédiment in « Contaminated soils, Third international conférence on the biogeochemistry of trace éléments.R.POSTED, Cd –Rom .INRA, Paris 1997.

- 100 PRICE, N. M. ET F. M. M. MOREL, 1990 – “Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom.” *Nature* **344**(6267): 658-660.
- 101 RAINBOW P.S., W. FIALKOWSKI, A. SOKOLOWSKI, B.D.SMITH ET M. WOLOWICZ, (2004). - Geographical and seasonal variation of trace metal bioavailabilities in the Gulf of Gdansk, Baltic Sea using mussels (*Mytilus trossulus*) and barnacles (*Balanus improvisus*) as biomonitors. *Mar. Biol* **144**: 271-286.
- 102 RAIN, F., FERNEX ., F., (1982). « 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.* pp. 85-96
- 103 RAMADE.F., (1999)-« Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales » p55.
- 104 RAMADE F., (1992). Précis d'écotoxicologie. Paris.
- 105 RASHID M.A., 1971. “The role of humic acids of marine origine and their différent molecular weight fraction in complexing di and trivalent métal. *Soil.*
- 106 RENHOLDT R et al., 1976 –“Distribution of selected metals in tissue samples of carp, cyprinus carpio” *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, vol.15, n° 3, p.374-377.
- 107 R.S.INGOLS ET R.D.WILROY., Février 1962 - Observation of manganese in Georgia waters; vol.54 – n° 2 – p 203 – 207 .
- 108 ROGER KANTIN et GERARD PERGENT., Octobre 2004 -Rapport d'étape « Gestion des écosystèmes littoraux méditerranéens »
- 109 REFES W., 1994 – Contribution à la connaissance de la population *ruditapes decussatus* (Linnaeus, 1758) du lac el-Mellah (El-Kala, Algérie). *Ecologie, reproduction, dynamique de la pop et exploitation* .Thèse de magistère en océanographie biologique, ISMAL (Alger) : 197p
- 110 RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.P., CHAMBOU P., CHAMPSAUR H. & RODIER L., 1996. « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer ». 8^{ème} édition. Paris. Collection DUNOD, 383 pages.
- 111 SAAD, M.A.H. ET AL., 1981a. Occurrence and distribution of chemical pollutants in Lake Mariut, Egypt. 2. Heavy metals. *Water Air Soil Pollut.*, 16:401–7.
- 112 SAAD, M.A.H., S.R. MCCOMAS ET S.J. EISENREICH, 1985. – Metals and chlorinated hydrocarbons in surficial sediments of three Nile delta lakes, Egypt. *Water Air Soil Pollut.*, 24:27–39
- 113 SAAD, M.A.H. ET M.A. FAHMY, 1985. – Occurrence of some heavy metals in surficial sediments from the Damietta estuary of the Nile. *Journ.Etud.Pollut.CIESM*, 7:405–7.
- 114 SAAD, M.A.H., 1987. Limnological studies on the Nozha Hydrodrome, Egypt, with special reference to the problems of pollution. *Sci. Total Environ.*, 67:195–214
- 115 SCHROEDER, W. H., J. MUNTHE ET O. LINDQVIST., 1989 - "Cycling of mercury between water, air and soil compartments of the environment." *Water Soil Pollut* **48**: p 337-347.
- 116 SEMROUD R., 1983 - Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Mellah (El-KALA, Algérie) Thèse 3^{ème} cycle, USTHB (Alger) : 137p. Lane, T. W. et F. M. Morel (2000). "A biological function *Proceedings of the National Academy of Sciences* **97**(9): 4627-4631.

- 117 SERICANOT, J. et PUCCLA, 1982 . – Cu, Cd and Zinc in Blanca bay surface sediments. Mar. Pollution.bull.vol5.13N° 12 pp 429-431.
- 118 SHOLKOVITZ E.R., 1978. « The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co and Cd during estuarine mixing ». Earth and planetary sciences letters, 41: 77-86.
- 119 SITTING M., 1976 - Toxic metals: pollution control and worker protection » Noyes Data corporation, 350 pages.
- 120 SMAAL, A. C., A. P. M. A. VONCK ET M. BAKKER (1997). "Seasonal variation in physiological energetics of *Mytilus edulis* and *Cerastoderma edule* of different size classes." Journal of the marine biological association of the United Kingdom 77(3): 817-838.
- 121 STELLIO CASAS., 2005 - Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu, et Zn) chez la moule *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat 356p.
- 122 STEWART A.R., 1999 – Accumulation of Cd by freshwater mussel (*Pyganodon grandis*) is reduced in the presence of Cu, Zn, Pb and Ni; *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 56 : p 467-178 (1999).
- 123 TAYLOR, S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust - a new table. *Geochim.Cosmochim.Acta*, (28):1273–85
- 124 TRAVAUX DU RNO. IFREMER, 1995 – Ministère d'Aménagement du territoire et de l'Environnement « Surveillance du milieu marin, les contaminants dans la matière vivante ; les métaux lourds dans les sédiments de la Baie de Seine – France.
- 125 WANDIGA, S.O. ET J.M. ONYARI, 1987. The concentration of heavy metals: Mn, Fe, Cu, Zn, Cd and Pb in sediments and fish from the Winam Gulf of Lake Victoria and fish bought in Mombasa town markets. *Kenya J.Sci.*, 8:5–18.
- 126 WASSER.O., 1983 - "Le fer dans l'eau et les bactéries ferrugineuse" ; p.90-92
- 127 WATER QUALITY CRITERIA, 1963 "The resources agency of california- state water quality contrôle board", 550p.
- 128 W.J .TRAVERSY et al., 1979-Methods for chemical analysis of waters and wastewaters; 117p.
- 129 W.B.KIRCHNER ET S.BRABOWSKI., Décembre 1972 - « Manganèse in lacustrine ecosystem: A review » Water resources bulletin — p.1259-1264 .
- 130 WONG, W. H. & CHEUNG S. G. 2001. – Feeding rates and scope for growth of green mussels, *Perna viridis* (L.) and their relationship with food availability in Kat O, Hong Kong ». *Aquaculture* 193(1-2):123-137.
- 131 WRIGHT P. & MASON, C.F 1999. – Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries, the Orewell and Stour, in eastern England . *The Science of the Total Environment* 226: 139-156.
- 132 ZECHER D .C., 1970. – Problems in replacing chromate as a corrosion inhibitor for open recirculating cooling waters. Extrait de "Industrial Process design for Water Pollution Control" American Institut of Chemical Engineers , p.89-92 .

- 133 ZANDEE, D. I., KLUYTMANS, J. H. ZURBURD W. & PIETERS, H. (1980). – Seasonal variations in biochemical composition of *Mytilus edulis* with reference to energy metabolism and gametogenesis . Neth. J. Sea Res. 14: 1-29p.
- 134 WILSON,AL, (1972) – A method for determination of manganese in water” the water research association –53p.

WEBOGRAPHIE

[www.senat](http://www.senat.fr) : les effets des métaux lourds sur l'environnement.

[www.ineris](http://www.ineris.fr) / [afssa](http://www.afssa.fr) / [cnrs](http://www.cnrs.fr) – syntèse opecst.

[www.senat](http://www.senat.fr) : les métaux lourds et les coquillages

<http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>."

<http://www.inchem.org/fullist.htm>.

ANNEXE DE LA PARTIE MATERIELS ET METHODES

1 - Matériels préconisés pour cette étude :

Tableau 129 : Matériels préconisés pour notre étude

Matériels de prélèvements
-Un carottier boîte ou un seau en polyéthylène ou une benne à main
-Bouteilles de prélèvement en polyéthylène.
-Clovisière pour la récolte des bivalves.
Verrerie
-Fioles jaugées.
-Entonnoirs.
-Bechers
-Pipettes
-Eprouvettes
-Flacons d'échantillonnage en verre ou en polyéthylène.
-Sachets en plastique transparent de 1 litre.
-Verres de montre.
Réactifs
-HCl pur
-HNO ₃ pur
-H ₂ SO ₄ pur
-Eau Distillée.
-Eau Bi.distillée.

2 - Caractères généraux des espèces retenues dans cette étude :

2.1. La Palourde *Ruditapes decussatus* peuplant la lagune El-Mellah : La palourde *Ruditapes decussatus* est un mollusque bivalve appartenant à la famille des Vénéridé. (In REFES W., 1994)

2.1.1. Caractères généraux de la palourde :

La palourde *Ruditapes decussatus* possède une coquille équivalente, in équilatérale. La région antérieure est courte et arrondie, la région postérieure est plus développée. La coloration de la coquille est blanchâtre à brun clair extérieurement, avec ou sans motif brun mais plus foncé ; l'intérieur de la coquille est blanchâtre à jaunâtre. La taille maximale est de 8 centimètre, tandis que la taille commune est de 4cm à 5cm. Le corps de la palourde est relié à la coquille par le manteau, qui secrète la coquille par les muscles adducteurs qui l'attache aux deux valves.

Figure 66 : Morphologie de la palourde *Ruditapes decussatus*

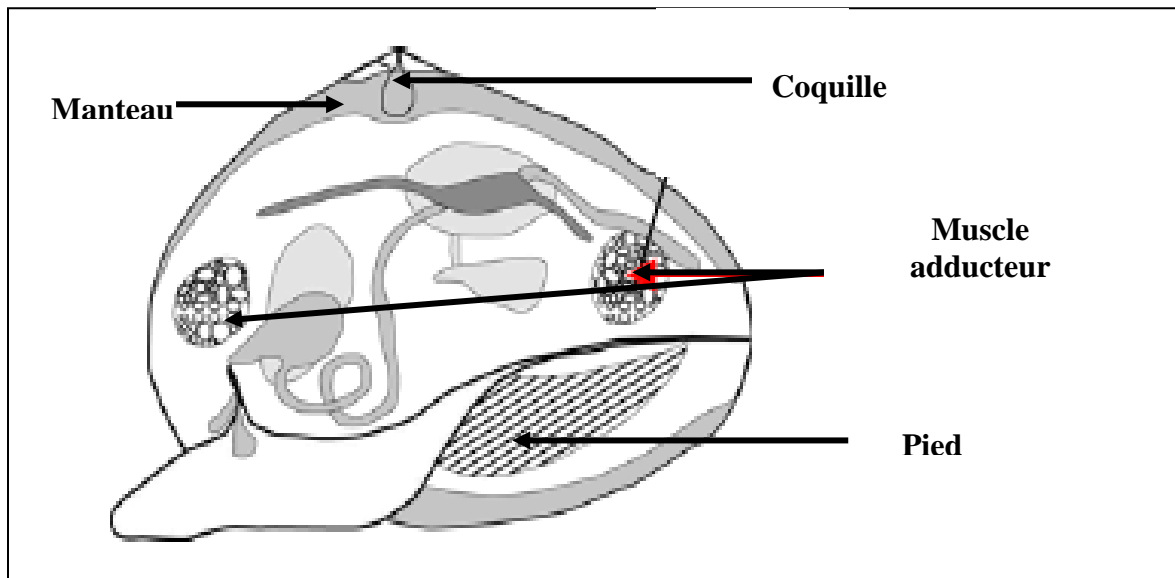


Figure 67 : Anatomie de la palourde *Ruditapes decussatus*.

2.1.2. Anatomie de la palourde *Ruditapes decussatus* :

2.1.3. Distribution géographique : *Ruditapes decussatus* appelée communément palourde, est un bivalve fouisseur qui vit en milieu côtier dans les sédiments meubles littoraux. On le rencontre sur tout le pourtour méditerranéen, mais aussi le long des côtes atlantiques de l'Europe. Sur les côtes algériennes, ce mollusque a été signalé pour la première fois dans le lac El-Mellah en avril 1988 selon, dans la baie d'Alger et dans le golf d'Arzew (B.Drardja, 1992).

2.1.4. Position systématique : (In REFES W., 1994)

Embranchement	: Mollusques	
Classe	: Bivalves	LINNAEUS, 1758
Sous-classe	: Heterodonta	NEUMAR, 1884
Ordre	: Vénéroïda	ADAMS ; 1856
Super Famille	: Vénéracea	RAFINESQUE, 1815
Famille	: Veneridae	RAFINESQUE, 1815
Sous Famille	: Tapitinae	ADAMS, 1856
Genre	: <i>Ruditapes</i>	CHIAMENTI, 1900
Espèce	: <i>decussatus</i>	LINNAEUS, 1758

2.1.5. Noms communs de la palourde : (In REFES W., 1994)

- Anglais	: Butterfish
- Algérie (El.Kala)	: Balourde
- Tunisie	: Babouch Essouad
- Français	: Palourde
- Espagnol	: Almeja
- Italien	: Arsella
- Grec	: Archinada
- Hollandais	: Tasijschelp
- Portugais	: Ameijoa
- Suédois	: Tapesmussla
- Norvégien	: Gullskjill



AOUITAINE CERECA / ADERA.. 2003

2.1.6. Quelques Synonymes de la palourde : (In REFES W., 1994)

- *Venerupis decussata*
- *Ceneus reticulatus*
- *Venus litterata*
- *Paphia decussata*
- *Venus fusca*
- *Venus obscura*
- *Venerupis decussata*
- *Venus florid*

Remarque : La famille des Vénéridés regroupe à travers le monde plus de 400 espèces vivantes actuellement.
GERARD A. 1978-.

2-1-7- Habitat : La palourde est considérée par PICARD, (1965) comme caractéristique exclusive de la biocénose de sable vaseux en mode calme, elle vit dans les eaux abritées peu profondes, enfouie dans le sédiment jusqu'à une dizaine de centimètre de profondeur. C'est une espèce relativement eurytherme, survivant à des températures variant de 5 à 30°C, présente une tolérance à une grande variation de la salinité des eaux.

2-1-8- Régime alimentaire : La palourde se nourrit par filtration du matériel en suspension dans l'eau de mer dans la couche située à l'interface eau sédiment, ou déposé sur le sédiment. Elle se nourrit à la fois d'algues planctoniques et benthiques (diatomées, cyanophycées).

2.1.9. Reproduction :

La palourde est gonochorique, les sexes sont séparés. La maturité apparaît à partir d'une taille d'une vingtaine de millimètres soit lors de la 2^{ème} année. Le cycle de reproduction présente une forte saisonnalité : (In REFES W., 1994)

- Repos sexuel hivernal.
- Gamétogenèse printanière et estivale.
- Pontes estivales et automnales.

Les facteurs environnementaux jouent un rôle important dans le déroulement de la reproduction, et l'apport trophique est primordial dans le bon déroulement de la gamétogenèse.

2.2. La moule géante des eaux douces ou Anodonte vivant au lac Oubeira :

2.2.1. Caractères généraux :

La moule des eaux douces ou Anodonte est un mollusque lamellibranche d'eau douce qui, selon les auteurs, appartient à la famille des Unionidae.

L'Anodonte, par sa taille, est l'un des plus grands mollusques d'eau douce, il peut atteindre 15.1cm, sa coquille est mince, de couleur brunâtre et d'intérieur nacré ;elle présente des bandes d'accroissement denses et régulières et sa couleur varie généralement du brun foncé (juvéniles) au noir mat (adultes).

Les coquilles des adultes ont une longueur de 95 à 190 mm, une hauteur de 50 à 60 mm, sans valeur commerciale.

Elle présente une forme allongée dont la partie postérieure est deux et demi à trois fois plus longue que la partie antérieure.

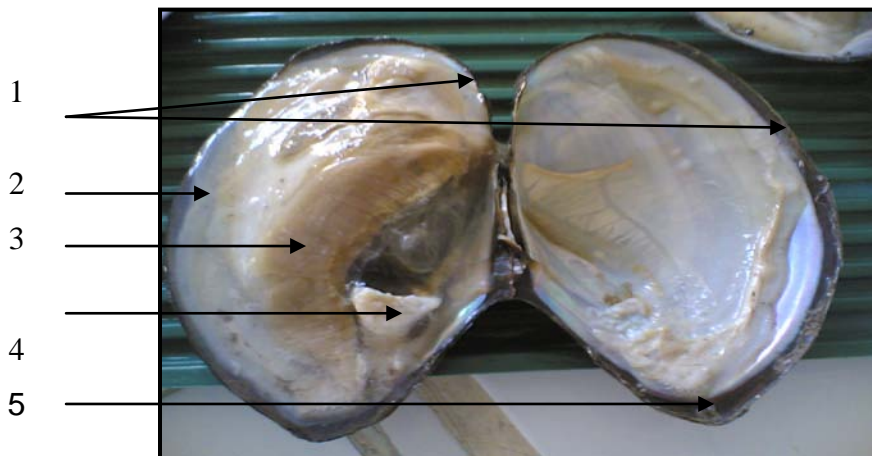
2.2.2. Systématique de l'Anodonte :

Phylum : Mollusques (Cuvier, 1795)
 Classe : Bivalves (Linnaeus, 1758)
 Sous-classe : Eulamellibranchies (Pelseneer, 1889)
 Super-ordre : Paleoheterodontes (Newell, 1965)
 Ordre : Unionoida (Stoliczka, 1871)
 Famille : Unionoidés (Rafinesque, 1820)
 Genre : *Anodonta* (Schumacher, 1816)
 Espèce : *sp*



Figure 68 : Morphologie de la moule géante
 Des eaux douces peuplant au lac Oubeira

2.2.3. Anatomie de l'Anodonte:



1-Coquille 2-pied 3-les branchies 4- le muscle adducteur 5- le Manteau

Figure 69: Anatomie de l'Anodonte vivant au lac Oubeira.

2-2-4 - Habitats:

L'Anodonte est un mollusque bivalve appartient à l'ordre des lamellibranches .Il vit et se déplace au fonds de l'eau grâce à un pieds unique. Enfoncé dans la vase l'Anodonte entrouvre sa coquille pour laisser passer ses siphons respiratoires .C'est un excellent filtre et par son action il participe à la purification de l'eau.

2-2-5- Régime alimentaire :

La moule des eaux douces absorbe la nourriture en suspension dans l'eau par filtration. En d'autres termes, elle retient et digère toutes les particules d'aliments (phytoplancton, etc.) présentes dans l'eau qui traversent ses branchies. Elles peuvent ingérer certaines algues, mais la principale source de nourriture est constituée de débris organiques, préférentiellement d'origine végétale.

2.2.6. La reproduction :

Les moules géante d'eau douce ont besoin des poissons pour se reproduire. Les œufs au nombre de 50.000, éclosent entre les branchies ; c'est à dire les larves vivent d'abord à l'intérieur de la coquille maternelle puis sont expulsés par les siphons au bout d'un an. Les jeunes larves sont gobées par les poissons et parasitent leurs branchies grâce à des crochets où elles s'enkystent. Par une lente mutation la larve se transforme en moule. Après plusieurs mois, quand elle atteint la taille d'un centimètre, elle se détache du poisson et tombe au fond de l'eau.

Certains poissons tel que la bouvière, confie sa ponte aux Anodontes grâce à un long oviducte qu'elle plonge dans les branchies du mollusque. Elles y déposent ses œufs. L'Anodonte conservera la progéniture de la bouvière jusqu'à ce que les jeunes poissons aient atteint la taille de 1cm.

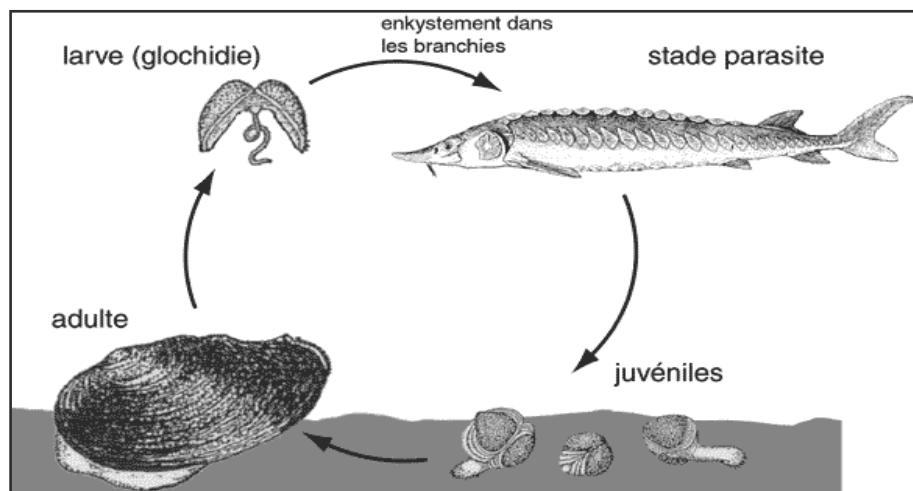


Figure 70: Cycle biologique de la moule des eaux douces.

M. Armstrong, 1996

2.3. Anguille *Anguilla anguilla* :

L'Anguille *Anguilla anguilla*, est un poisson Ostéichthyens appartenant à la famille des Anguillidés.

2.3.1. Caractères généraux de l'espèce :

C'est un poisson effilé, à la peau visqueuse. La mâchoire de l'anguille est très puissante. Les yeux sont petits et ronds, ce qui nous montre que les activités de ce poisson se déroulent plus principalement la nuit ou dans les zones de grande profondeur, là où il y a le moins de lumière. Elle reste dans sa cachette toute la journée, mais ne manque pas de sortir si un appât se présente.

Le corps serpentiforme, recouvert d'une peau épaisse et visqueuse, le dos brun verdâtre et les flancs jaunes, la mâchoire de l'anguille est très puissante. Les yeux sont petits et ronds. L'anguille est à la fois capable d'onduler dans l'eau avec une grande agilité et de se déplacer hors de l'eau, sur de courtes distances, notamment quand elle doit contourner des obstacles sur le trajet de sa migration.

Elle passe de 8 à 15 ans en eau douce. Elle mesure en moyenne 50.60 centimètres (comme souvent chez les poissons, les femelles sont plus grosses) pour 500 grammes à 2,5 kilos. Une anguille d'un mètre et plus, c'est assez courant.

2.3.2. Position systématique :

Embranchement :	Vertébrés
Super - Classe :	Poissons
Classe :	Ostéichtyens
Sous-classe :	Apodes
Ordre :	Anguilliformes
Familles :	Anguillidé
Genre :	<i>Anguilla</i>
Espèce :	<i>anguilla</i>



Figure 71: Morphologie de l'anguille *Anguilla anguilla* vivant au lac Tonga

2.3.3. Anatomie de l'anguille peuplant lac Tonga :

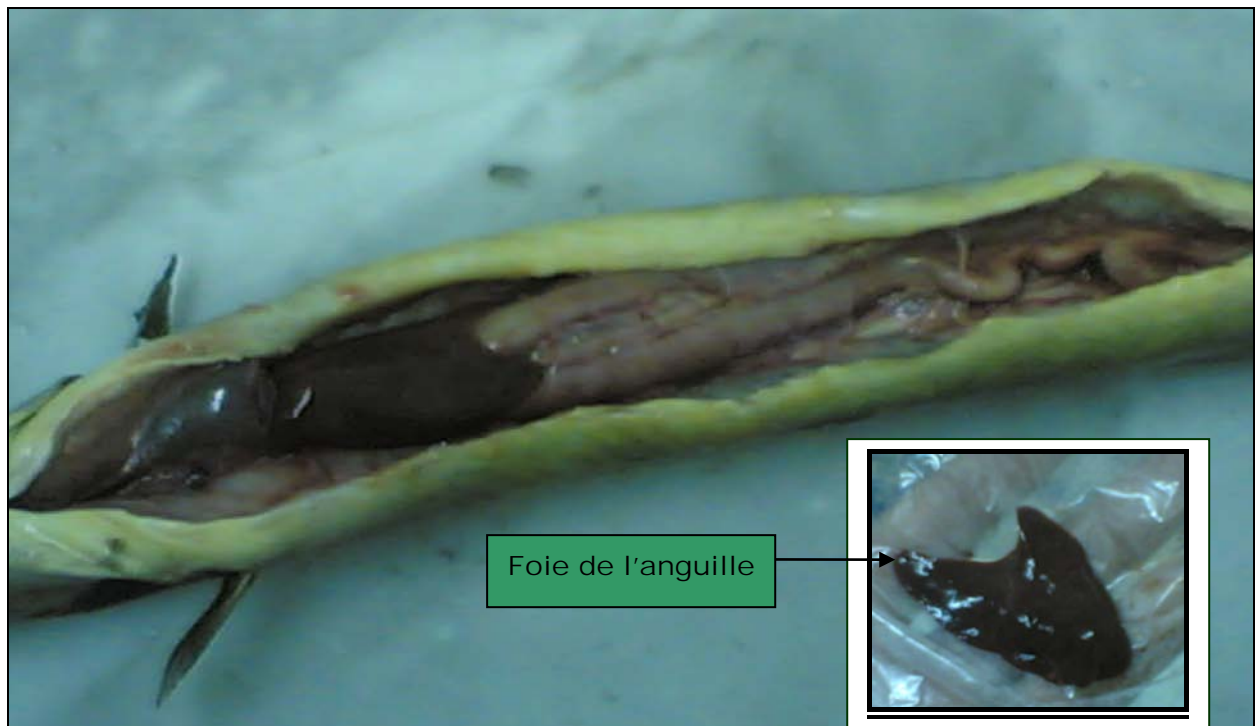


Figure 72: Anatomie de l'Anguille vivant au lac Tonga

Remarque : Le terme Anguille vient du latin *anguis*, ce qui signifie serpent. Les anguilles se répartissent en 19 espèces à travers le monde.

2.3.4. Habitat :

L'anguille fait partie des grands poissons migrateurs. Elle passe une partie de sa vie dans les eaux douces ; rivière, fleuves, lacs et eaux saumâtres des herbiers du littoral, des estuaires, des marais et des lagunes. Elle aime vivre aux postes de bas fonds où il y a un fond vaseux ou encombré (rochers, arbres) ceci la conduit à avoir des relations étroites avec les sédiments.

2.3.5. Régime alimentaire:

L'anguille se nourrit surtout la nuit, sa nourriture se compose de crustacés, d'insectes, de vers, de mollusques, écrevisses, grenouilles, petits poissons morts ou vivants car l'anguille s'est un carnassier pourvue de dents.

2.3.6. La Reproduction chez l'anguille :

Arrivée à maturité, son corps s'argente ; elle dévale vers la mer. Car à l'inverse des autres poissons migrateurs, qui se reproduisent en eau douce, l'anguille se reproduit, mystérieusement, dans les grands fonds de la mer des Sargasses où disparaissent tous les géniteurs.

Appelées leptocéphales (feuilles de saule), les larves qui naissent sont apportées vers les côtes par les courants marins. Elles mesurent 6 mm. A l'approche des estuaires elles se transforment en civelles (ou pibales). Ces alevins transparents d'un tiers de gramme, ayant une haute valeur gastronomique, sont sur pêchés et braconnés dans les estuaires, ce qui met l'espèce en péril.

3. Précaution de prélèvement des différents échantillons :

3.1. Précaution a prendre durant le prélèvement de l'eau :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté; car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

Les prélèvements doivent être effectués dans les conditions telles que l'échantillon d'eau ne subisse aucune contamination par les bouteilles de prélèvement en poly éthylène. En général l'échantillon d'eau doit être homogène, représentatif et ne doit pas subir de modifications des caractères physico-chimiques.

Il est recommandé d'analyser les échantillons le plus rapidement possible. Aussi les échantillons non filtrés ne doivent pas être conservés, toutefois, si la filtration ne peut être effectuée immédiatement à bord, les échantillons doivent être réfrigérés, ou mieux congelés pour être traités au laboratoire où ils seront filtrés dès que possible.

3.2. Conservation des échantillons d'eau (Rodier 1996; 8^{ème} édition) :

Selon l'élément à analyser dans l'eau, voici la méthode de conservation qui convient :

Tableau 130 : Conservation des échantillons d'eaux (Selon Rodier, 1996).

Elément analysé	Récipient	Conservateur à utiliser	Volume Min de prélèvement	Température de conservation	Effectuer la mesure avant
Manganèse	P ou V.	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Cadmium	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Plomb	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Mercuré	Vb	Acide nitrique + permanganate de potassium	800 ml	4 °C	1 mois
Zinc	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Cuivre	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Nickel	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Chrome	P ou V	Acide nitrique	800 ml	4 °C	2 mois
Fer	P	Voir texte (traitement)	100 ml	4 °C	1 mois

P : Polyéthylène ; **V** : Verre ; **VP** : Verre borosilicaté

3.3. Précaution à prendre avant d'entamer la digestion humide du sédiment :

3.3.1. Décontamination de la verrerie :

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 (A.Aminot; 1982) .

3.3.2. Précaution à prendre durant la Phase analytique :

Elle correspond à la digestion du sédiment. Des précautions préliminaires sont prises lors du rinçage des récipients de digestions à l'eau bi distillée et l'acide nitrique (HNO₃)3 mol/l.

NB : 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 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et Na⁺⁺ et cela pour effectuer des mesures directes dans les meilleures conditions possibles.

3.3.3. Précaution à prendre avant la minéralisation de la chair :

- Les entonnoirs, et les béciers en verre sont rincés à l'eau bi-distillé et séchés.
- Le petit matériel ; couteau, scalpels, entonnoirs, spatules, est rincé à l'eau du robinet puis à l'eau bi-distillés

- Les piluliers utilisés et leurs couvercles ont subi un traitement spécifique. Il sont lavé par de l'eau bi-distillé, ensuite séché pendant 8 heures au four, une fois refroidis, il sont fermé avec des couvercles en matière plastique.
- Les feuilles d'aluminium sont utilisées lors de diverse manipulation, fermeture des béchers et entonnoirs , pendant l'égouttage de la chair des mollusques.



Figure 73: Spectrophotomètre d'Absorption Atomique - SAA-

► **L'Appareillage comprend :**

Une source d'atomisation qui permet le passage des métaux de la forme ionique à la forme atomique ; deux types de sources d'atomisation sont utilisés (par flamme ou par four a graphite).

Une source de radiation, spécifique selon les métaux étudiés pour cela, nous utilisons une lampe de type cathode creuse. Cette dernière constituée par le métal à analyser émet sous tension le spectre de l'élément.

- Un système de miroirs,
- Un brûleur,
- Un four a graphite,
- Un monochromateur,
- Un détecteur relié à un amplificateur,
- Un dispositif d'acquisition.

► **Principe de la SAA :**

Le passage de la forme ionique (métal en solution) a la forme atomique se produit par une source thermique (flamme et four). Les atomes ainsi formés passent d'un niveau énergétique fondamental (état initial) à un niveau plus élevée (état excité) traverse par un faisceau de lumière à mesurer et d'intensité incidente I_0 .

L'absorbance correspond à la différence entre l'intensité incidente (I_0) et l'intensité transmise (I). Cette différence ($I - I_0$) est déterminée par un photomultiplicateur ; ce dernier transforme cette intensité lumineuse en courant électrique quantifiable.

LAC TONGA / EAUX SUPERFICIELLES

1 - Analyse statistique univariée :

Tableau 131 : Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Tonga.

Variables	Effectif	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HFe	3	2.10	0.61	1.39 – 2.50
S1PFe	3	5.17	0.05	5.11 – 5.21
S1EFe	3	5.31	0.02	5.30 – 5.34
S1AFe	3	5.64	2.20	3.11 – 7.10
S2HFe	3	2.80	0.13	2.71 – 2.96
S2PFe	3	4.72	0.06	4.65 – 4.77
S2EFe	3	5.25	0.03	5.21 – 5.28
S2AFe	3	4.36	1.16	3.05 – 5.26
S1HCu	3	0.09	0.01	0.08 – 0.10
S1PCu	3	0.10	0.01	0.09 – 0.11
S1ECu	3	0.14	0.02	0.11 – 0.16
S1ACu	3	0.94	0.04	0.90 – 0.98
S2HCu	3	0.01	0.01	0.00 – 0.03
S2PCu	3	0.07	0.01	0.06 – 0.08
S2ECu	3	0.94	0.04	0.90 – 0.98
S2ACu	3	0.12	0.02	0.10 – 0.15
S1HZn	3	0.68	0.03	0.65 – 0.71
S1PZn	3	1.81	0.02	1.80 – 1.84
S1EZn	3	1.84	0.04	1.80 – 1.88
S1AZn	3	1.77	0.03	1.75 – 1.81
S2HZn	3	0.34	0.01	0.33 – 0.36
S2PZn	3	1.01	0.01	0.99 – 1.02
S2EZn	3	1.08	0.03	1.05 – 1.11
S2AZn	3	1.05	0.00	1.05 – 1.05
S1HMn	3	0.05	0.01	0.04 - 0.06
S1PMn	3	0.07	0.005	0.07 - 0.08
S1EMn	3	0.12	0.01	0.11 - 0.13
S1AMn	3	0.15	0.06	0.09 - 0.22
S2HMn	3	1.12	0.02	1.11 - 1.15
S2PMn	3	1.35	0.02	1.33 - 1.38
S2EMn	3	1.71	0.02	1.69 - 1.74
S2AMn	3	1.65	0.23	1.38 - 1.81
S1HNi	3	0.01	0.01	0.00 – 0.03
S1PNi	3	0.04	0.04	0.01 – 0.09
S1ENi	3	0.20	0.01	0.16 – 0.21
S1ANi	3	0.27	0.03	0.24 – 0.30
S2HNi	3	0.22	0.02	0.19 – 0.24
S2PNi	3	0.79	0.01	0.78 – 0.81
S2ENi	3	0.81	0.02	0.80 – 0.84
S2ANi	3	0.90	0.02	0.88 – 0.92

(Suite du tableau n° 131)

Variables	Effectifs	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HCr	3	0.03	0.02	0.00 – 0.05
S1PCr	3	0.14	0.05	0.09 – 0.19
S1ECr	3	0.12	0.01	0.11 – 0.13
S1ACr	3	0.06	0.05	0.00 – 0.09
S2HCr	3	0.07	0.01	0.06 – 0.09
S2PCr	3	0.14	0.04	0.11 – 0.19
S2ECr	3	0.17	0.01	0.16 – 0.19
S2ACr	3	0.20	0.06	0.13 – 0.26
S1HPb	3	0.44	0.020	0.42 – 0.46
S1PPb	3	0.68	0.020	0.66 – 0.70
S1EPb	3	1.20	0.015	1.19 – 1.22
S1APb	3	1.15	0.092	1.05 – 1.23
S2HPb	3	0.08	0.015	0.07 – 0.10
S2PPb	3	0.46	0.015	0.45 – 0.48
S2EPb	3	0.44	0.035	0.14 – 0.48
S2APb	3	0.45	0.005	0.45 – 0.46
S1HCd	3	0.025	0.0005	0.025 – 0.026
S1PCd	3	0.014	0.0015	0.013 – 0.016
S1ECd	3	0.017	0.0015	0.016 – 0.019
S1ACd	3	0.008	0.0070	0.000 – 0.013
S2HCd	3	0.020	0.0100	0.010 – 0.030
S2PCd	3	0.200	0.0010	0.019 – 0.021
S2ECd	3	0.021	0.0015	0.020 – 0.023
S2ACd	3	0.016	0.0073	0.008 – 0.022
S1HHg	3	Hg est sous forme de Traces	Hg est sous forme de Traces	Hg est sous forme de Traces
S1PHg	3			
S1EHg	3			
S1AHg	3			
S2HHg	3			
S2PHg	3			
S2EHg	3			
S2AHg	3			

S1 : station 1

S2 : station 2

H : saison hivernale

P : saison printanière

E : saison estivale

A : saison automnale

Effectif 3 : nombre de prélèvement par saison

Moyenne x : moyenne des trois prélèvement

RESULTATS DU TEST D'ANALYSE DE LA VARIANCE A UN CRITERE DE CLASSIFICATION CONCERNANT LA DISTRIBUTION DE 9 METAUX LOURDS AU NIVEAU DE L'EAU SUPERFICIELLE DES DEUX STATIONS DE LAC TONGA DURANT LES QUATRE SAISONS DE L'ANNEE 2006 –

Tableau n° 132: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1.55	0.518	828.92	0.000***
Variation résiduelle	8	0.005	0.00062		
Total	11	1.559			

Tableau n° 133: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1.72	0.573	983.55	0.000***
Variation résiduelle	8	0.005	0.006		
Total	11	1.725			

Tableau n° 134: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	2.86	0.95	948.50	0.000***
Variation résiduelle	8	0.008	0.001		
Total	11	2.87			

Tableau n° 135: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1.120	0.37347	1042.26	0.000***
Variation résiduelle	8	0.002	0.00035		
Total	11	1.123			

Tableau n°136 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.01	0.005	5.30	0.02*
Variation résiduelle	8	0.009	0.001		
Total	11	0.02			

Tableau n° 137 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.66	0.22	15.50	0.001***
Variation résiduelle	8	0.11	0.01		
Total	11	0.77			

Tableau n°138 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.130	0.04	61.01	0.000***
Variation résiduelle	8	0.006	0.0007		
Total	11	0.140			

Tableau n° 139: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.87	0.2914	659.99	0.000***
Variation résiduelle	8	0.003	0.0004		
Total	11	0.878			

Tableau n° 140: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.024	0.008	5.46	0.025*
Variation résiduelle	8	0.012	0.001		
Total	11	0.036			

Tableau n° 141: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.028	0.009	5.71	0.02*
Variation résiduelle	8	0.013	0.001		
Total	11	0.041			

Tableau n° 142: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station1-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	24.48	8.16	6.26	0.01**
Variation résiduelle	8	10.42	1.30		
Total	11	34.90			

Tableau n° 143: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station2-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	10.01	3.33	9.70	0.005**
Variation résiduelle	8	2.75	0.34		
Total	11	12.76			

Tableau n° 144: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1.24	0.41	171.57	0.000***
Variation résiduelle	8	0.01	0.002		
Total	11	1.26			

Tableau n° 145: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.30	0.102	236.00	0.000***
Variation résiduelle	8	0.003	0.0004		
Total	11	0.31			

Tableau n° 146: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.000484	0.000161	11.97	0.003**
Variation résiduelle	8	0.000108	0.00001		
Total	11	0.000592			

Tableau n° 147: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0000416	0.0000139	0.35	0.789
Variation résiduelle	8	0.0003153	0.0000394		
Total	11	0.0003569			

Tableau n° 148: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	/	/	/	/
Variation résiduelle	8	/	/		
Total	11	/			

Tableau n° 149: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	/	/	/	/
Variation résiduelle	8	/	/		
Total	11	/			

LAC OUBEIRA / EAU SUPERFICIELLE

1 - Analyse statistique univariée :

Tableau 150: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Oubeira.

Variables	Effectif	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HFe	3	5.616	0.011	5.60 – 5.63
S1PFe	3	13.80	0.100	13.70 – 13.90
S1EFe	3	17.19	0.010	17.18 – 17.20
S1AFe	3	2.520	2.030	3.26 – 7.20
S2HFe	3	4.786	0.015	4.77 – 4.80
S2PFe	3	8.400	0.010	8.39 – 8.41
S2EFe	3	15.61	0.036	15.58 – 16.65
S2AFe	3	4.737	0.855	3.75 – 5.26
S1HCu	3	1.72	0.02	1.71 – 1.75
S1PCu	3	1.66	0.01	1.72 – 1.75
S1ECu	3	1.73	0.02	2.32 – 2.36
S1ACu	3	2.34	0.44	1.38 – 2.18
S2HCu	3	1.66	0.01	1.32 – 1.35
S2PCu	3	1.90	0.01	1.89 – 1.92
S2ECu	3	2.78	0.01	2.76 – 2.80
S2ACu	3	1.99	0.63	1.60 – 2.72
S1HZn	3	0.82	0.02	0.81 – 0.85
S1PZn	3	1.19	0.01	1.18 – 1.20
S1EZn	3	2.13	0.01	2.12 – 2.14
S1AZn	3	1.94	0.52	1.50 – 2.52
S2HZn	3	0.71	0.006	0.70 – 0.72
S2PZn	3	0.92	0.01	0.91 – 0.93
S2EZn	3	1.62	0.0032	1.61 – 1.62
S2AZn	3	1.23	0.223	1.05 – 1.48
S1HMn	3	0.61	0.01	0.60 – 0.62
S1PMn	3	0.72	0.01	0.71 – 0.62
S1EMn	3	1.12	0.01	0.71 – 1.13
S1AMn	3	1.06	0.61	0.42 – 1.65
S2HMn	3	0.61	0.02	0.59 – 0.63
S2PMn	3	0.66	0.01	0.65 – 0.68
S2EMn	3	1.06	0.04	1.01 – 1.11
S2AMn	3	1.03	0.60	0.36 – 1.53
S1HNi	3	0.11	0.02	0.09 – 0.14
S1PNi	3	0.14	0.11	0.01 – 0.22
S1ENi	3	0.49	0.01	0.49 – 0.51
S1ANi	3	0.77	0.33	0.43 – 1.10
S2HNi	3	0.17	0.01	0.16 – 0.18
S2PNi	3	0.35	0.01	0.34 – 0.36
S2ENi	3	0.54	0.01	0.53 – 0.56
S2ANi	3	0.78	0.24	0.50 – 0.94

(Suite du tableau 150)

Variabes	Effectifs	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HCr	3	0.07	0.001	0.07 – 0.08
S1PCr	3	0.43	0.020	0.41 – 0.45
S1ECr	3	0.67	0.015	0.66 – 0.69
S1ACr	3	1.71	0.351	1.35 – 2.05
S2HCr	3	0.05	0.040	0.01 – 0.08
S2PCr	3	0.32	0.011	0.31 – 0.33
S2ECr	3	0.50	0.015	0.49 – 0.52
S2ACr	3	1.46	0.340	1.21 – 1.85
S1HPb	3	0.44	0.01	0.43 – 0.46
S1PPb	3	0.35	0.26	0.04 – 0.51
S1EPb	3	0.55	0.01	0.54 – 0.57
S1APb	3	0.46	0.05	0.43 – 0.52
S2HPb	3	0.43	0.01	0.42 – 0.45
S2PPb	3	0.44	0.01	0.43 – 0.45
S2EPb	3	0.46	0.006	0.45 – 0.47
S2APb	3	0.48	0.04	0.45 – 0.53
S1HCd	3	0.005	0.0015	0.004 – 0.007
S1PCd	3	0.015	0.0010	0.014 – 0.016
S1ECd	3	0.001	0.0001	0.0009 – 0.001
S1ACd	3	0.008	0.0064	0.001 – 0.013
S2HCd	3	0.004	0.0005	0.004 – 0.005
S2PCd	3	0.013	0.0095	0.002 – 0.019
S2ECd	3	0.003	0.0001	0.002 – 0.003
S2ACd	3	0.019	0.0151	0.003 – 0.033
S1HHg	3	0.066	0.0081	0.065 – 0.067
S1PHg	3	0.090	0.0015	0.089 – 0.092
S1EHg	3	0.106	0.0152	0.090 – 0.120
S1AHg	3	0.093	0.0293	0.062 – 0.120
S2HHg	3	0.081	0.0030	0.079 – 0.085
S2PHg	3	0.402	0.5170	0.103 – 0.999
S2EHg	3	0.130	0.0015	0.129 – 0.132
S2AHg	3	0.095	0.0150	0.081 – 0.111

S1 : station 1

S2 : station 2

H : saison hivernale

P : saison printanière

E : saison estivale

A : saison automnale

Effectif 3 : nombre de prélèvement par saison

Moyenne x : moyenne des trois prélèvement

**TEST D'ANALYSE DE LA VARIANCE A UN CRITERE DE CLASSIFICATION
(SAISONS) LAC OUBEIRA – EAU SUPERFICIELLE-**

Tableau 151: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.91	0.30	6.06	0.01**
Variation résiduelle	8	0.40	0.05		
Total	11	1.32			

Tableau 152 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3.22	1.07	10.80	0.003**
Variation résiduelle	8	0.79	0.09		
Total	11	4.01			

Tableau 153: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3.41	1.13	16.53	0.001***
Variation résiduelle	8	0.55	0.06		
Total	11	3.96			

Tableau 154 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1.40	0.46	37.49	0.000***
Variation résiduelle	8	0.10	0.01		
Total	11	1.50			

Tableau 155: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.56	0.18	1.99	0.19 ns
Variation résiduelle	8	0.76	0.09		
Total	11	1.33			

Tableau 156: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.51	0.17	1.85	0.21 ns
Variation résiduelle	8	0.74	0.09		
Total	11	1.25			

Tableau 157: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.88	0.29	9.32	0.005
Variation résiduelle	8	0.25	0.03		
Total	11	1.13			

Tableau 158 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.62	0.20	13.50	0.002**
Variation résiduelle	8	0.12	0.01		
Total	11	0.75			

Tableau 159: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	4.44	1.48	47.91	0.000***
Variation résiduelle	8	0.24	0.03		
Total	11	4.69			

Tableau 160 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.37	1.12	38.24	0.000***
Variation résiduelle	8	0.23	0.02		
Total	11	3.61			

Tableau 161 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 1-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3.12	104.29	100.68	0.000***
Variation résiduelle	8	8.29	1.04		
Total	11	321.17			

Tableau 162 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 2-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	235.37	78.45	428.35	0.000***
Variation résiduelle	8	1.465	0.18		
Total	11	236.84			

Tableau 163: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.06	0.02	1.15	0.38 ns
Variation résiduelle	8	0.14	0.01		
Total	11	0.20			

Tableau 164 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0054	0.0018	3.59	0.066 ns
Variation résiduelle	8	0.0040	0.0005		
Total	11	0.0094			

Tableau 165 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.00030	0.000100	9.10	0.006**
Variation résiduelle	8	0.00008	0.000011		
Total	11	0.00039			

Tableau 166 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.00050	0.00016	2.10	0.17 ns
Variation résiduelle	8	0.00063	0.00007		
Total	11	0.00114			

Tableau 167 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0025	0.0008	3.13	0.087
Variation résiduelle	8	0.0021	0.0002		
Total	11	0.0047			

Tableau 168 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.205	0.068	1.03	0.13 ns
Variation résiduelle	8	0.534	0.066		
Total	11	0.740			

LAC EL -MELLAH / EAU SUPERFICIELLE

- Analyse statistique univariée :

Tableau 169: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac El Mellah.

Variables	Effectif	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HFe	3	3.10	0.01	3.09 – 3.12
S1PFe	3	6.31	0.03	6.29 – 6.35
S1EFe	3	6.47	0.02	6.44 – 6.49
S1AFe	3	5.44	0.77	4.81 – 6.31
S2HFe	3	1.82	0.04	1.79 – 1.88
S2PFe	3	2.16	0.01	2.15 – 2.18
S2EFe	3	3.33	0.03	3.31 – 3.37
S2AFe	3	2.63	0.53	2.10 – 3.17
S1HCu	3	0.07	0.005	0.07 – 0.08
S1PCu	3	0.07	0.015	0.06 – 0.09
S1ECu	3	0.09	0.005	0.09 – 0.10
S1ACu	3	0.05	0.046	0.00 – 0.08
S2HCu	3	0.07	0.010	0.06 – 0.08
S2PCu	3	0.07	0.010	0.06 – 0.08
S2ECu	3	0.08	0.010	0.07 – 0.09
S2ACu	3	0.07	0.005	0.07 – 0.08
S1HZn	3	0.06	0.015	0.05 – 0.08
S1PZn	3	1.34	0.010	1.33 – 1.35
S1EZn	3	1.40	0.010	1.39 – 1.41
S1AZn	3	1.37	0.087	1.28 – 1.45
S2HZn	3	0.13	0.020	0.11 – 0.15
S2PZn	3	1.47	0.595	0.79 – 1.83
S2EZn	3	1.62	0.010	1.61 – 1.63
S2AZn	3	1.44	0.088	1.34 – 1.51
S1HMn	3	0.65	0.020	0.63 – 0.67
S1PMn	3	0.11	0.020	0.09 – 0.13
S1EMn	3	0.20	0.010	0.19 – 0.21
S1AMn	3	0.15	0.064	0.11 – 0.23
S2HMn	3	0.22	0.015	0.21 – 0.24
S2PMn	3	0.06	0.002	0.06 – 0.06
S2EMn	3	1.16	0.010	1.15 – 1.17
S2AMn	3	0.83	0.023	0.80 – 0.86
S1HNi	3	0.55	0.02	0.54 – 0.58
S1PNi	3	0.72	0.02	0.70 – 0.74
S1ENi	3	0.70	0.01	0.69 – 0.72
S1ANi	3	0.53	0.19	0.31 – 0.67
S2HNi	3	0.50	0.01	0.49 – 0.51
S2PNi	3	0.55	0.02	0.53 – 0.57
S2ENi	3	0.71	0.02	0.69 – 0.73
S2ANi	3	0.52	0.21	0.28 – 0.65

(Suite du tableau 169)

Variables	Effectives	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HCr	3	0.206	0.015	0.19 – 0.22
S1PCr	3	0.260	0.010	0.25 – 0.27
S1ECr	3	0.770	0.010	0.76 – 0.78
S1ACr	3	0.753	0.109	0.63 – 0.84
S2HCr	3	0.350	0.017	0.33 – 0.36
S2PCr	3	0.613	0.015	0.60 – 0.63
S2ECr	3	1.110	0.026	1.08 – 1.13
S2ACr	3	1.023	0.092	0.92 – 1.10
S1HPb	3	0.10	0.015	0.09 – 0.12
S1PPb	3	0.58	0.010	0.57 – 0.59
S1EPb	3	0.70	0.010	0.69 – 0.71
S1APb	3	0.60	0.107	0.48 – 0.68
S2HPb	3	0.63	0.026	0.60 – 0.65
S2PPb	3	0.46	0.010	0.45 – 0.47
S2EPb	3	0.82	0.010	0.81 – 0.83
S2APb	3	0.61	0.144	0.45 – 0.70
S1HCd	3	0.029	0.001	0.029 – 0.031
S1PCd	3	0.017	0.002	0.015 – 0.019
S1ECd	3	0.015	0.000	0.015 – 0.016
S1ACd	3	0.012	0.002	0.010 – 0.015
S2HCd	3	0.003	0.001	0.002 – 0.005
S2PCd	3	0.020	0.001	0.019 – 0.022
S2ECd	3	0.005	0.001	0.004 – 0.005
S2ACd	3	0.002	0.001	0.002 – 0.004
S1HHg	3	0.021	0.001	0.020 – 0.023
S1PHg	3	0.040	0.001	0.039 – 0.042
S1EHg	3	0.051	0.002	0.490 – 0.053
S1AHg	3	0.039	0.014	0.022 – 0.050
S2HHg	3	0.096	0.001	0.095 – 0.098
S2PHg	3	0.135	0.001	0.134 – 0.137
S2EHg	3	0.175	0.003	0.172 – 0.178
S2AHg	3	0.129	0.040	0.089 – 0.170

S1 : station 1

S2 : station 2

H : saison hivernale

P : saison printanière

E : saison estivale

A : saison automnale

Effectif 3 : nombre de prélèvement par saison

Moyenne x : moyenne des trois prélèvements

**TEST D'ANALYSE DE LA VARIANCE A UN CRITERE DE CLASSIFICATION
(SAISONS) LAC EL-MELLAH – EAU SUPERFICIELLE-**

Tableau 170: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.002	0.0008	1.44	0.30 ns
Variation résiduelle	8	0.005	0.0006		
Total	11	0.007			

Tableau 171: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0002	0.000075	0.90	0.48 ns
Variation résiduelle	8	0.0006	0.000083		
Total	11	0.0008			

Tableau 173: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3.860	1.286	638.04	0.000***
Variation résiduelle	8	0.016	0.002		
Total	11	3.876			

Tableau 174: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	4.35	1.45	16.03	0.001***
Variation résiduelle	8	0.72	0.09		
Total	11	5.07			

Tableau 175 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.56	0.189	149.91	0.000***
Variation résiduelle	8	0.01	0.001		
Total	11	0.57			

Tableau 176: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	2.381	0.793	2315.94	0.000**
Variation résiduelle	8	0.002	0.0003		
Total	11	2.384			

Tableau 177 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.086	0.028	2.87	0.10 ns
Variation résiduelle	8	0.080	0.010		
Total	11	0.166			

Tableau 178 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.07	0.02	2.35	0.14 ns
Variation résiduelle	8	0.09	0.01		
Total	11	0.17			

Tableau 179 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.84	0.280	90.06	0.000***
Variation résiduelle	8	0.02	0.003		
Total	11	0.86			

Tableau 180 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1.141	0.380	154.32	0.000***
Variation résiduelle	8	0.019	0.002		
Total	11	1.161			

Tableau 181 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 1-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	21.67	7.22	47.92	0.000***
Variation résiduelle	8	1.20	0.15		
Total	11	22.87			

Tableau 182: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 2-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3.83	1.27	17.65	0.001***
Variation résiduelle	8	0.57	0.07		
Total	11	4.41			

Tableau 183 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.63	0.211	70.20	0.000***
Variation résiduelle	8	0.02	0.003		
Total	11	0.65			

Tableau 184 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.19	0.065	11.99	0.002**
Variation résiduelle	8	0.04	0.005		
Total	11	0.23			

Tableau 185 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.00052	0.000175	50.12	0.000***
Variation résiduelle	8	0.000028	0.000035		
Total	11	0.000554			

Tableau 186 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.000648	0.000216	143.62	0.000***
Variation résiduelle	8	0.000012	0.0000015		
Total	11	0.00066			

Tableau 187 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.00136	0.000454	7.85	0.009**
Variation résiduelle	8	0.00046	0.000057		
Total	11	0.00182			

Tableau 188 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.00946	0.00315	7.63	0.01**
Variation résiduelle	8	0.00331	0.00041		
Total	11	0.01277			

LAC TONGA – SEDIMENT SUPERFICIEL -

1 - Analyse statistique univariée :

Tableau 189: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Tonga

Variables	Effectif	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HFe	3	7950	3950	4000 - 11900
S1PFe	3	13000	4095	10200 - 17700
S1EFe	3	15200	364	14980 - 15620
S1AFe	3	14000	400	36000 - 14400
S2HFe	3	9900	5100	4800 - 15000
S2PFe	3	15000	921	14230 - 16020
S2EFe	3	17800	1226	16990 - 19210
S2AFe	3	16300	200	16100 - 16500
S1HCu	3	34.45	8.45	26.00 - 42.90
S1PCu	3	46.00	9.52	35.90 - 54.80
S1ECu	3	56.00	6.16	51.20 - 62.95
S1ACu	3	48.00	2.00	46.00 - 50.00
S2HCu	3	19.00	3.10	15.90 - 22.10
S2PCu	3	18.00	1.10	16.47 - 19.23
S2ECu	3	34.00	2.96	31.39 - 37.21
S2ACu	3	23.50	0.50	23.00 - 24.00
S1HZn	3	103.15	4.85	98.300 - 108.00
S1PZn	3	102.00	6.92	95.760 - 109.44
S1EZn	3	128.60	4.46	123.54 - 117.62
S1AZn	3	113.20	4.24	109.10 - 117.62
S2HZn	3	86.900	6.62	80.600 - 93.800
S2PZn	3	98.000	6.22	93.540 - 105.11
S2EZn	3	106.80	6.82	99.180 - 112.32
S2AZn	3	98.950	3.05	95.900 - 102.00
S1HMn	3	71.35	8.15	63.20 - 79.50
S1PMn	3	70.00	4.58	65.00 - 74.00
S1EMn	3	100.0	1.83	98.25 - 101.90
S1AMn	3	87.50	2.50	85.00 - 90.00
S2HMn	3	432.3	42.5	390.0 - 475.0
S2PMn	3	480.0	112.7	410.0 - 610.0
S2EMn	3	680.0	37.1	645.3 - 719.2
S2AMn	3	541.5	18.5	523.0 - 560.0
S1HNi	3	39.75	14.55	25.20 - 54.30
S1PNi	3	65.00	4.12	61.35 - 69.47
S1ENi	3	80.00	2.34	77.82 - 82.47
S1ANi	3	67.00	2.50	65.00 - 70.00
S2HNi	3	66.07	1.83	64.00 - 67.50
S2PNi	3	75.00	1.59	73.22 - 76.31
S2ENi	3	98.00	7.27	92.43 - 106.23
S2ANi	3	78.27	1.86	76.30 - 80.00

(Suite du tableau 189)

Variables	Effectifs	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HCr	3	33.00	5.00	28.00 - 38.00
S1PCr	3	59.00	14.51	50.50 - 75.75
S1ECr	3	72.00	10.44	63.00 - 84.00
S1ACr	3	61.50	2.50	58.00 - 64.00
S2HCr	3	63.10	5.10	58.00 - 68.20
S2PCr	3	80.00	11.67	71.41 - 93.29
S2ECr	3	86.00	10.85	78.10 - 98.37
S2ACr	3	77.95	4.05	73.90 - 82.00
S1HPb	3	82.10	32.10	50.00 - 114.1
S1PPb	3	78.00	12.60	69.35 - 92.46
S1EPb	3	171.00	4.96	165.90 -175.81
S1APb	3	138.75	17.25	121.50 -156.00
S2HPb	3	17.530	1.65	15.70 - 19.00
S2PPb	3	20.000	1.24	18.90 - 21.35
S2EPb	3	27.200	0.84	26.45 - 28.11
S2APb	3	22.500	1.50	21.00 - 24.00
S1HCd	3	1.78	0.02	1.76 - 1.80
S1PCd	3	3.20	0.60	2.80 - 3.90
S1ECd	3	2.20	0.49	1.85 - 2.76
S1ACd	3	1.94	0.14	1.83 - 2.10
S2HCd	3	0.19	0.08	0.11 - 0.28
S2PCd	3	0.32	0.07	0.26 - 0.41
S2ECd	3	0.20	0.09	0.11 - 0.30
S2ACd	3	0.19	0.004	0.19 - 0.20
S1HHg	3	0.069	0.004	0.065 - 0.074
S1PHg	3	0.070	0.087	0.010 - 0.170
S1EHg	3	0.083	0.027	0.060 - 0.114
S1AHg	3	0.080	0.000	0.080 - 0.081
S2HHg	3	0.011	0.009	0.002 - 0.021
S2PHg	3	0.080	0.052	0.040 - 0.140
S2EHg	3	0.033	0.029	0.011 - 0.067
S2AHg	3	0.029	0.001	0.028 - 0.030

S1 : station 1

S2 : station 2

H : saison hivernale

P : saison printanière

E : saison estivale

A : saison automnale

Effectif 3 : nombre de prélèvement par saison

Moyenne x : moyenne des trois prélèvement

RESULTATS DU TEST D'ANALYSE DE LA VARIANCE A UN CRITERE DE CLASSIFICATION
CONCERNANT LA DISTRIBUTION DE 9 METAUX LOURDS AU NIVEAU DU SEDIMENT SUPERFICIEL
DES DEUX STATIONS DE LAC TONGA DURANT LES QUATRE SAISONS DE L'ANNEE 2006 –

Tableau 190 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	712.1	237.4	4.65	0.036*
Variation résiduelle	8	407.9	51.00		
Total	11	1120.0			

Tableau 191: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	482.06	160.69	31.25	0.000***
Variation résiduelle	8	41.14	5.14		
Total	11	523.20			

Tableau 192: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1365.1	455.0	16.63	0.001***
Variation résiduelle	8	218.9	27.4		
Total	11	1584.1			

Tableau 193: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	603.3	201.1	5.81	0.021*
Variation résiduelle	8	276.7	34.6		
Total	11	880.0			

Tableau 194: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1834.5	611.5	25.21	0.000***
Variation résiduelle	8	194.00	24.30		
Total	11	2028.5			

Tableau 195: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	103870	34623	8.53	0.007**
Variation résiduelle	8	32454	4057		
Total	11	136323			

Tableau 196: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	2561.4	853.8	14.21	0.001***
Variation résiduelle	8	480.8	60.1		
Total	11	3042.2			

Tableau 197: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	1633.1	544.4	34.95	0.000***
Variation résiduelle	8	124.60	15.60		
Total	11	1757.7			

Tableau 198: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	2471.1	823.7	9.40	0.005**
Variation résiduelle	8	701.40	87.7		
Total	11	3172.4			

Tableau 199 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	851.70	283.9	3.83	0.057*
Variation résiduelle	8	592.70	74.1		
Total	11	1444.4			

Tableau 200 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station1-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	4195709	1398779	1.12	0.395 ns
Variation résiduelle	8	9955709	1244779		
Total	11	1415710			

Tableau 201 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station2-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	10587000	3529000	4.97	0.031*
Variation résiduelle	8	56800000	710000		
Total	11	16267000			

Tableau 202 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	18392	6131	16.26	0.001***
Variation résiduelle	8	3016	377		
Total	11	21409			

Tableau 203 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	158.06	52.69	29.16	0.000***
Variation résiduelle	8	14.46	1.81		
Total	11	172.52			

Tableau 204 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3.65	1.21	7.73	0.009**
Variation résiduelle	8	1.26	0.15		
Total	11	4.91			

Tableau 205 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.035	0.011	2.09	0.18 ns
Variation résiduelle	8	0.044	0.005		
Total	11	0.079			

Tableau 206 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0004	0.00015	0.07	0.97 ns
Variation résiduelle	8	0.0168	0.0021		
Total	11	0.0172			

Tableau 207 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0077	0.0025	2.75	0.113 ns
Variation résiduelle	8	0.0075	0.0009		
Total	11	0.0153			

LAC OUBEIRA / SEDIMENT SUPERFICIEL

1 - Analyse statistique univariée :

Tableau 208: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Oubeira.

Variables	Effectif	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HFe	3	8700	1300	7400 - 10000
S1PFe	3	15597	108	15490 - 15706
S1EFe	3	16900	34	16867 - 16934
S1AFe	3	10850	5850	5000 - 16700
S2HFe	3	10050	50	10000 - 10100
S2PFe	3	15900	361	15600 - 16300
S2EFe	3	16300	265	16100 - 16600
S2AFe	3	13190	2990	10200 - 16180
S1HCu	3	15.95	2.55	13.40 - 18.50
S1PCu	3	21.00	2.11	19.41 - 23.39
S1ECu	3	22.31	3.64	18.47 - 25.70
S1ACu	3	19.50	4.50	15.00 - 24.00
S2HCu	3	20.35	0.65	19.70 - 21.00
S2PCu	3	24.20	4.99	20.60 - 29.90
S2ECu	3	32.00	5.76	27.65 - 38.53
S2ACu	3	25.00	1.00	24.00 - 26.00
S1HZn	3	72.09	1.10	71.00 - 73.20
S1PZn	3	98.10	8.41	92.35 - 107.75
S1EZn	3	114.7	30.6	95.60 - 150.0
S1AZn	3	42.10	40.4	14.00 - 88.4
S2HZn	3	35.30	30.3	14.50 - 70.1
S2PZn	3	87.60	17.5	75.10 - 107.6
S2EZn	3	102.80	7.91	97.12 - 111.83
S2AZn	3	44.0	36.2	22.30 - 85.8
S1HMn	3	379.0	81.0	298.1 - 460.0
S1PMn	3	520.0	3.61	517.0 - 460.0
S1EMn	3	600.0	5.29	596.0 - 606.0
S1AMn	3	436.0	122.0	314.0 - 558.0
S2HMn	3	430.0	40.0	390.0 - 470.0
S2PMn	3	520.5	5.80	516.1 - 527.0
S2EMn	3	600.0	21.8	585.0 - 625.0
S2AMn	3	470.0	70.0	400.0 - 540.0
S1HNi	3	119.0	43.7	75.3 - 162.70
S1PNi	3	82.60	4.79	79.52 - 88.12
S1ENi	3	96.00	2.73	93.36 - 98.82
S1ANi	3	128.3	41.7	86.6 - 170.00
S2HNi	3	99.60	18.7	80.9 - 118.30
S2PNi	3	87.80	4.13	84.30 - 92.35
S2ENi	3	94.00	3.61	91.00 - 98.00
S2ANi	3	107.0	17.0	90.00 - 124.00

(Suite du Tableau 208)

Variables	Effectifs	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HCr	3	145.0	76.0	69.0 – 220.9
S1PCr	3	78.00	5.09	75.0 – 83.88
S1ECr	3	90.00	4.09	87.2 – 94.69
S1ACr	3	157.0	75.0	82.0 – 232.0
S2HCr	3	115.2	45.2	70.0 – 160.4
S2PCr	3	71.20	3.64	68.90 – 75.40
S2ECr	3	76.00	9.65	70.35 – 87.14
S2ACr	3	119.0	45.0	74.0 – 164.0
S1HPb	3	66.20	93.8	10.3 – 174.50
S1PPb	3	21.00	8.00	13.00 – 29.00
S1EPb	3	26.60	3.43	23.92 – 30.47
S1APb	3	19.00	5.00	14.00 – 24.00
S2HPb	3	17.90	3.40	14.50 – 21.30
S2PPb	3	19.50	2.79	17.60 – 22.70
S2EPb	3	27.80	2.63	25.85 – 30.79
S2APb	3	23.15	0.85	22.30 – 24.00
S1HCd	3	0.053	0.029	0.024 – 0.082
S1PCd	3	0.070	0.040	0.030 – 0.110
S1ECd	3	0.023	0.006	0.019 – 0.030
S1ACd	3	0.020	0.000	0.020 – 0.021
S2HCd	3	0.037	0.004	0.033 – 0.042
S2PCd	3	0.032	0.007	0.026 – 0.041
S2ECd	3	0.040	0.010	0.030 – 0.050
S2ACd	3	0.041	0.001	0.040 – 0.042
S1HHg	3	0.108	0.039	0.069 – 0.147
S1PHg	3	0.037	0.010	0.026 – 0.045
S1EHg	3	0.133	0.058	0.090 – 0.200
S1AHg	3	0.114	0.005	0.109 – 0.120
S2HHg	3	0.076	0.010	0.060 – 0.093
S2PHg	3	0.003	0.002	0.001 – 0.006
S2EHg	3	0.162	0.037	0.131 – 0.203
S2AHg	3	0.159	0.002	0.157 – 0.162

S1 : station 1

S2 : station 2

H : saison hivernale

P : saison printanière

E : saison estivale

A : saison automnale

Effectif 3 : nombre de prélèvement par saison

Moyenne x : moyenne des trois prélèvements

**TEST D'ANALYSE DE LA VARIANCE A UN CRITERE DE CLASSIFICATION
(SAISONS) LAC OUBEIRA – SEDIMENT SUPERFICIEL-**

Tableau 209: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	67.9	22.6	2.04	0.18 ns
Variation résiduelle	8	88.8	11.1		
Total	11	156.7			

Tableau 210: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	212.0	70.7	4.75	0.03 *
Variation résiduelle	8	119.0	14.9		
Total	11	331.0			

Tableau 211: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	9040	3010	4.57	0.03*
Variation résiduelle	8	5276	660		
Total	11	14317			

Tableau 212 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	9716	3239	4.99	0.03*
Variation résiduelle	8	5189	649		
Total	11	14905			

Tableau 213: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	84221	28074	5.23	0.02*
Variation résiduelle	8	42956	5369		
Total	11	127177			

Tableau 214: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	48331	16110	9.19	0.006**
Variation résiduelle	8	14017	1752		
Total	11	62348			

Tableau 215 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3939	1313	1.43	0.30 ns
Variation résiduelle	8	7358	920		
Total	11	11297			

Tableau 216 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	601	200	1.20	0.37 ns
Variation résiduelle	8	1337	167		
Total	11	1939			

Tableau 217 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	13891	4630	1.62	0.26 ns
Variation résiduelle	8	22872	2859		
Total	11	36763			

Tableau 218 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	5735	1912	1.83	0.21 ns
Variation résiduelle	8	8349	1044		
Total	11	14084			

Tableau 219 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 1-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	135204241	45068080	5.02	0.03*
Variation résiduelle	8	71850577	8981322		
Total	11	207054818			

Tableau 220 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 2-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	75240600	25080200	10.97	0.003**
Variation résiduelle	8	1828200	2285650		
Total	11	93525800			

Tableau 221 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	4458	1486	0.67	0.59 ns
Variation résiduelle	8	17791	2224		
Total	11	22248			

Tableau 222 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	174.10	58.03	8.61	0.007**
Variation résiduelle	8	53.93	6.74		
Total	11	228.03			

Tableau 223 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0052	0.0017	2.80	0.10 ns
Variation résiduelle	8	0.0049	0.0006		
Total	11	0.0101			

Tableau 224 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0001	0.000048	1.06	0.14 ns
Variation résiduelle	8	0.0003	0.000046		
Total	11	0.0005			

Tableau 225 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0158	0.0053	4.17	0.047*
Variation résiduelle	8	0.0101	0.0012		
Total	11	0.0260			

Tableau 226 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0520	0.0173	41.85	0.000 ***
Variation résiduelle	8	0.0033	0.0004		
Total	11	0.0553			

LAC EL -MELLAH / SEDIMENT SUPERFICIEL

1 - Analyse statistique univariée :

Tableau 227 : Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac El Mellah.

Variables	Effectif	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HFe	3	6045.0	45.0	6000 – 6090
S1PFe	3	6100.0	918	5185 – 7020
S1EFe	3	6500.0	498	6200 – 7075
S1AFe	3	6250.0	150	6100 – 6400
S2HFe	3	1370.0	170	1200 – 1540
S2PFe	3	1500.0	138	1370 – 1645
S2EFe	3	1900.0	25	1875 – 1925
S2AFe	3	1725.0	25	1700 - 1750
S1HCu	3	6.35	0.35	6.00 – 6.70
S1PCu	3	6.00	0.27	5.70 – 6.23
S1ECu	3	8.00	0.62	7.30 – 8.49
S1ACu	3	7.34	0.64	6.82 – 8.07
S2HCu	3	6.10	0.10	6.00 – 6.20
S2PCu	3	4.90	0.31	4.65 – 5.25
S2ECu	3	8.00	0.82	7.23 – 8.87
S2ACu	3	6.00	0.00	6.00 – 6.00
S1HZn	3	35.20	25.2	10.00 – 60.4
S1PZn	3	75.66	0.93	74.95 – 76.72
S1EZn	3	92.20	1.70	90.23 – 93.26
S1AZn	3	73.70	3.46	69.75 – 76.22
S2HZn	3	42.90	22.9	20.00 – 65.70
S2PZn	3	69.50	5.64	63.54 – 74.75
S2EZn	3	91.80	2.92	89.11 – 94.90
S2AZn	3	75.45	1.93	73.65 – 77.48
S1HMn	3	32.15	11.85	20.30 – 44.00
S1PMn	3	20.00	3.41	17.51 – 23.89
S1EMn	3	28.00	1.54	26.92 – 29.77
S1AMn	3	22.50	1.32	21.50 – 24.00
S2HMn	3	34.60	10.5	24.00 – 45.00
S2PMn	3	8.60	1.10	7.830 – 9.860
S2EMn	3	100.0	5.88	95.26 – 106.58
S2AMn	3	90.63	1.62	89.33 – 92.460
S1HNi	3	520	400	119.00 – 920.00
S1PNi	3	200	14.18	189.00 – 216.00
S1ENi	3	224	59.4	157.00 – 270.00
S1ANi	3	214	3.80	210.00 – 218.00
S2HNi	3	287	152.5	135.00 – 440.00
S2PNi	3	178	3.35	174.20 – 180.50
S2ENi	3	200	20.3	180.40 – 220.70
S2ANi	3	181.1	3.00	178.00 – 184.00

(Suite du tableau)

Variables	Effectifs	Moyenne x	Ecart -type	Min - Max
S1HCr	3	205.00	5.00	200.00 – 210.00
S1PCr	3	203.00	6.08	199.00 – 210.00
S1ECr	3	300.00	21.08	276.00 – 319.00
S1ACr	3	251.50	4.29	248.12 – 256.33
S2HCr	3	470.00	70.0	400.0 – 540.00
S2PCr	3	610.00	22.40	585.7 – 629.80
S2ECr	3	700.00	5.00	695.00 – 705.00
S2ACr	3	630.50	9.50	621.00 – 640.00
S1HPb	3	5.80	0.20	5.60 – 6.00
S1PPb	3	7.40	1.57	6.00 – 9.10
S1EPb	3	10.0	0.95	8.90 – 10.6
S1APb	3	7.55	0.45	7.10 – 8.00
S2HPb	3	7.00	3.00	4.00 – 10.00
S2PPb	3	4.00	1.60	2.94 – 5.85
S2EPb	3	6.10	2.53	4.10 – 8.95
S2APb	3	5.52	0.28	5.24 – 5.80
S1HCd	3	0.19	0.13	0.06 – 0.32
S1PCd	3	0.34	0.05	0.29 – 0.40
S1ECd	3	0.44	0.06	0.39 – 0.51
S1ACd	3	0.36	0.01	0.35 – 0.38
S2HCd	3	0.13	0.03	0.10 – 0.16
S2PCd	3	0.18	0.06	0.13 – 0.25
S2ECd	3	0.38	0.03	0.34 – 0.41
S2ACd	3	0.26	0.002	0.26 – 0.26
S1HHg	3	0.33	0.00	0.33 – 0.33
S1PHg	3	0.39	0.06	0.35 – 0.46
S1EHg	3	0.48	0.05	0.44 – 0.54
S1AHg	3	0.46	0.01	0.45 – 0.47
S2HHg	3	0.06	0.02	0.04 – 0.09
S2PHg	3	0.08	0.02	0.05 – 0.10
S2EHg	3	0.11	0.03	0.09 – 0.16
S2AHg	3	0.11	0.00	0.11 – 0.11

S1 : station 1

S2 : station 2

H : saison hivernale

P : saison printanière

E : saison estivale

A : saison automnale

Effectif 3 : nombre de prélèvement par saison

Moyenne x : moyenne des trois prélèvement

TEST D'ANALYSE DE LA VARIANCE A UN CRITERE DE CLASSIFICATION (SAISONS) LAC EL-MELLAH – SEDIMENT SUPERFICIEL-

Tableau 228: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	7.55	2.51	10.02	0.004**
Variation résiduelle	8	20.1	0.25		
Total	11	9.56			

Tableau 229: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	14.91	4.97	25.25	0.000***
Variation résiduelle	8	1.575	0.19		
Total	11	16.48			

Tableau 230 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	5241	1747	10.74	0.004**
Variation résiduelle	8	1302	163		
Total	11	6543			

Tableau 231: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	3727	1442	8.78	0.007**
Variation résiduelle	8	1132	142		
Total	11	4859			

Tableau 232 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	268.9	89.6	2.29	0.15 ns
Variation résiduelle	8	312.4	39.1		
Total	11	581.3			

Tableau 233: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	174448	5816	156.43	0.000***
Variation résiduelle	8	297	37.20		
Total	11	17745			

Tableau 234 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	212750	70917	1.73	0.23 ns
Variation résiduelle	8	328117	41014		
Total	11	540867			

Tableau 235 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	212750	70917	1.73	0.23 ns
Variation résiduelle	8	328117	41015		
Total	11	54086			

Tableau 236 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	23864	7955	1.34	0.32 ns
Variation résiduelle	8	47369	5921		
Total	11	71232			

Tableau 237: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	18979	6326	45.07	0.000***
Variation résiduelle	8	1123	140		
Total	11	20101			

Tableau 238: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 1-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	83708	27903	20.23	0.000***
Variation résiduelle	8	11033	1379		
Total	11	94741			

Tableau 239 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 2-

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	372806	124269	0.45	0.72 ns
Variation résiduelle	8	2228950	278619		
Total	11	2601756			

Tableau 240 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	27.03	9.01	9.95	0.004**
Variation résiduelle	8	7.24	0.90		
Total	11	34.28			

Tableau 241 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	14.29	4.76	1.05	0.42 ns
Variation résiduelle	8	36.17	4.52		
Total	11	50.46			

Tableau 242 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.098	0.032	5.45	0.02*
Variation résiduelle	8	0.048	0.006		
Total	11	0.146			

Tableau 243 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.107	0.035	23.41	0.000***
Variation résiduelle	8	0.012	0.001		
Total	11	0.119			

Tableau 244: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 1

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.042	0.0141	8.55	0.007**
Variation résiduelle	8	0.013	0.0016		
Total	11	0.055			

Tableau 245: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Source de variation	ddl	SCE	CM	Fobs	P
Différences entre les saisons	3	0.0063	0.0021	2.96	0.09 ns
Variation résiduelle	8	0.0056	0.0007		
Total	11	0.0119			

Figure 66 : Morphologie de la palourde *Ruditapes decussatus*.

Figure 67 : Anatomie de la palourde *Ruditapes decussatus*.

Figure 68 : Morphologie de la moule géante des eaux douces peuplant au lac Oubeira.

Figure 70: Cycle biologique de la moule des eaux douces.

Figure 71: Morphologie de l'anguille *Anguilla anguilla* vivant au lac Tonga.

Figure 72: Anatomie de l'Anguille vivant au lac Tonga.

Figure 73: Spectrophotomètre d'Absorption Atomique - SAA-

Tableau 129 : Matériels préconisés pour notre étude.

Tableau 130 : Conservation des échantillons d'eaux (Selon J.Rodier, 1996).

Tableau 131 : Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Tonga.

Tableau n° 132: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Tableau n° 133: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Tableau n° 134: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Tableau n° 135: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Tableau n°136 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Tableau n° 137 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Tableau n°138 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Tableau n° 139: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Tableau n° 140: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Tableau n° 141: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Tableau n° 142: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station1-

Tableau n° 143: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station2-

Tableau n° 144: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Tableau n° 145: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Tableau n° 146: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Tableau n° 147: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Tableau n° 148: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station1

Tableau n° 149: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Tableau n°150: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Oubeira.

Tableau 151: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Tableau 152 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Tableau 153: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Tableau 154 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Tableau 155: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Tableau 156: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Tableau 157: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Tableau 158 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Tableau 159: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Tableau 160 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Tableau 161 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station1-

Tableau 162 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station2-

Tableau 163: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Tableau 164 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Tableau 165 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Tableau 166 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Tableau 167 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 1

Tableau 168 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Tableau 169: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac El Mellah.

Tableau 170: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station 1.

Tableau 171: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station 2.

Tableau 173: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Tableau 174: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Tableau 175 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Tableau 176: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Tableau 177 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Tableau 178 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Tableau 179 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Tableau 180 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Tableau 181 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 1-

Tableau 182: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 2-

Tableau 183 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Tableau 184 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Tableau 185 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Tableau 186 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Tableau 187 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 1

Tableau 188 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Tableau 189: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Tonga.

Tableau 190 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station 1.

Tableau 191: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station 2.

Tableau 192: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Tableau 193: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Tableau 194: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Tableau 195: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Tableau 196: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Tableau 197: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Tableau 198: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Tableau 199: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Tableau 200 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 1-

Tableau 201 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station 2-

Tableau 202: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Tableau 203 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Tableau 204 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Tableau 205 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Tableau 206 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station1

Tableau 207 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Tableau 208: Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac Oubeira.

Tableau 209: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Tableau 210: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Tableau 211: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Tableau 212 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Tableau 213: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Tableau 214: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Tableau 215 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Tableau 216 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Tableau 217 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Tableau 218 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Tableau 219 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station1-

Tableau 220 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station2-

Tableau 221 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Tableau 222 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Tableau 223 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Tableau 224 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Tableau 225 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station1

Tableau 226 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2

Tableau 227 : Statistiques descriptives des variations des teneurs de neuf métaux lourds durant les quatre saisons de l'année 2006 pour les deux stations du lac El Mellah.

Tableau 228: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station1.

Tableau 229: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cuivre dans la station2.

Tableau 230 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 1

Tableau 231: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du zinc dans la station 2

Tableau 232 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 1

Tableau 233: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du manganèse dans la station 2

Tableau 234 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 1

Tableau 235 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du nickel dans la station 2

Tableau 236 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome dans la station 1

Tableau 237: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du chrome, dans la station 2

Tableau 238: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station1-

Tableau 239 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du fer dans la station2-

Tableau 240 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 1

Tableau 241 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du plomb dans la station 2

Tableau 242 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 1

Tableau 243 : comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du cadmium dans la station 2

Tableau 244: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station1.

Tableau 245: comparaison entre les quatre saisons concernant la distribution du mercure dans la station 2