

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master en

Sciences de la mer

Option : Environnement

Thème :

**La bioaccumulation des métaux traces par le pageot commun (*pagellus erythrinus*) dans la côte algérienne : influence de la composition biochimique**

Préparé par :

M<sup>me</sup> : Benmoussa Samia

Soutenu : le 05.10.2014

Devant les jurys suivants :

M. Boulahdid. M	Professeur-ENSSMAL	: Président
M <sup>me</sup> . Boubechiche. Z	Maître assistant A-ENSSMAL	: Examinatrice
M. Belhouchate. N	Attaché de recherche-CNRDPA	: Examinatrice
M. Inal. A	Attachée de recherche-CNRDPA	: Encadreur

Promotion 2014

## **Remerciement**

*Avant de faire de quelconque développements au sujet de cette expérience, il apparaît opportun de débiter ce mémoire par des remerciements à tous ceux qui à divers titres, ont collaboré, soutenues, et encouragés pour la réalisation de ce modeste travail.*

*Pour nous avoir permis d'être ce que nous sommes devenus aujourd'hui, pour la force qu'il nous donne, on voudrait bien remercier d'abord le SEIGNEUR du monde, par qui tout est possible : DIEU.*

*C'est ainsi que nous venons avec respect remercier :*

*Mr BELKESSA R. Professeur à ENSSMAL qui a l'amabilité de présider notre jury, puisse-t-il trouver ici notre profonde gratitude.*

*Mme BOUBECHICHE Z. Enseignante à ENSSMAL et Mr BACHOUCHE Attaché de recherche à CNRDPÀ pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*J'exprime aussi mes profonds remerciements à mon co-promoteur Pr BOULAHJID M pour l'aide compétent qu'il m'a toujours apportés, pour sa patience, et son encouragement.*

*Je remercie chaleureusement mon promoteur Mr INAL A qui m'a encadré avec patience et m'a orientée tout au long de l'élaboration de ce mémoire. C'est grâce à ses conseils et ses critiques pertinentes que ce travail à vue le jour.*

*Nous associons à ces remerciements toute l'équipe de laboratoire de Sidi Fredj : Mr Mekki, Mme Nabila, Mlle Fariza et Mr Boudjellal pour leurs aides précieuses dans le laboratoire.*

*Enfin un grand merci pour tous les professeurs d'ENSSMAL de DELY IBRAHIM, ainsi que tous les étudiants, on ne citera pas de noms ici, pour ne pas en oublier certains. D'autres personnes nos ont encouragé à finir ce travail par des gestes d'amitié dont nous sommes reconnaissants.*

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail :*

*A ma mère :*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve envers toi. Que dieu te garde et t'accorde santé et bonheur pour que tu restes la splendeur de ma vie.*

*A mon père :*

*Puisse ce travail constituer une légère compensation pour tous les nobles sacrifices que tu t'es imposé pour assurer mon bien être et mon éducation.*

*Puisse dieu te prêter longue vie, santé et bonheur.*

*A ma grand-mère que dieu la donnera une longue vie.*

*A mes frères et mes sœurs : Amel, zohir, ismahane, imad dine.*

*A toutes ma famille*

*À tous mes amis que je ne pourrai oublier Anoss, noura, djema, fairouz, fatiha.*

*A tout le monde que je connais de près ou de loin.*

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Évaluation mensuelle (mai à octobre) des concentrations moyenne en cadmium exprimées en mg kg-1 de poids frais au niveau du muscle et du foie chez <i>Sardinella aurita</i> .	26
<b>Figure 2</b> : corrélations mercure - composition biochimique. ....	36
<b>Figure 3</b> : corrélations mercure-composition biochimique. ....	37
<b>Figure 4</b> : corrélations nickel-composition biochimique.....	38
<b>Figure 5</b> : les corrélations inter métaux.....	39

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : les travaux réalisés sur la contamination des poissons par les métaux traces.....	14
<b>Tableau 2</b> : Concentrations moyennes en Zn, Cu, (ppm PF) dans l’Espadon ( <i>Xiphias gladius</i> ) pêché à Ghazaouet.....	15
<b>Tableau 3</b> : variations des teneurs moyennes en métaux traces (en ppm P.F) dans le muscle du rouget de roche ( <i>Mullus surmeletus</i> ) dans la partie occidentale du golfe d’Arzew. ....	16
<b>Tableau 4</b> : Concentrations moyennes en Zn, Cu, Cd (ppm PF) dans différents organes de <i>Sardina pilchardus</i> et <i>Trachurus trachurus</i> . ....	16
<b>Tableau 5</b> : concentrations moyennes (mg/kg) en métaux lourds dans la sardine pêché dans la baie d’Oran. ....	17
<b>Tableau 6</b> : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle de la bogue ( <i>Boops boops</i> ) pêchés dans la baie d’Oran. ....	18
<b>Tableau 7</b> : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle du rouget ( <i>Mullus barbarus</i> ) du golfe d’Oran. ....	18
<b>Tableau 8</b> : Concentrations moyennes (mg/kg) en métaux lourds dans la seiche ( <i>Sepia officinalis</i> ) pêchée dans la baie d’Oran. ....	18
<b>Tableau 9</b> : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle du Rouget de roche ( <i>Mullus surmuletus</i> ) pêché dans la baie d’Oran.....	19
<b>Tableau 10</b> : Concentrations des métaux traces chez la Sardinelle et le Zooplancton en $\mu$ g/g exprimées en poids frais. ....	19
<b>Tableau 11</b> : Concentrations moyenne de trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) chez <i>Trachurus trachurus</i> pêchée dans la baie d’Oran (exprimées en mg/kg P.F). ....	20
<b>Tableau 12</b> : Concentrations moyenne de trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans la sardine ( <i>Sardinella aurita</i> ) pêchée dans la baie d’Oran (exprimées en ppm). ....	21
<b>Tableau 13</b> : concentrations moyennes de métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans le Sar ( <i>diplodus sargus</i> ) pêché dans la baie d’Oran exprimés en mg/kg de PF.....	23
<b>Tableau 14</b> : concentrations moyennes de métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans le Sar ( <i>diplodus sargus</i> ) pêché dans la baie de Béni Saf exprimés en mg/kg de PF. ....	24
<b>Tableau 15</b> : Concentrations moyennes en Zn, Cu, Pb, Cd (exprimées en ppm PF) dans le mullet ( <i>mugil cephalus</i> ) pêché dans la baie de Béni Saf et la baie d’Oran. ....	25
<b>Tableau 16</b> : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle du le marlu ( <i>Merluccius merluccius</i> ) dans la baie d’Oran.....	27
<b>Tableau 17</b> : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm) dans le pageot ( <i>pagellus erythrinus</i> ) dans la côte algérienne. ....	29
<b>Tableau 18</b> : variations du mercure et de composés biochimique en fonction d’organe .....	34
<b>Tableau 19</b> : variations du zinc et de composés biochimique en fonction d’organe .....	34
<b>Tableau 20</b> : variations du nickel et de composés biochimique en fonction d’organe. ....	35
<b>Tableau 21</b> : variations inter métaux en fonction d’organe. ....	35
<b>Tableau 22</b> : corrélation mercure – composition biochimique dans le pageot .....	35
<b>Tableau 23</b> : corrélation zinc – composition biochimique dans le pagoet.....	37
<b>Tableau 24</b> : corrélation nickel – composition biochimique dans le pagoet.....	38
<b>Tableau 25</b> : corrélation inter métaux dans le pageot .....	39

<b>Tableau 26</b> : variations des concentrations moyennes en métaux traces (exprimées en ppm) bioaccumulés par différents poissons en méditerranée. ....	40
--	----

## **Liste des abréviations**

**ACP** : Analyse des Composantes Principales.

**Al Zinc** : Entreprise de production de Zinc et d'acide sulfurique de Ghazaouet

**ANOVA**: Analysis Of Variance.

**Cd**: Cadmium.

**CEE** : Commission Européenne de l'Environnement.

**Cr** : Chrome.

**Cu** : Cuivre.

**ETM** : Eléments Traces Métalliques.

**Fe** : Fer.

**Glu** : Glucides.

**Hg** : Mercure.

**L** : Linné.

**Lip** : Lipides.

**MANOVA** : Analysis multiple Of Variance.

**Ni** : Nickel.

**Pb** : Plomb.

**PF** : Poids Frais.

**Pr** : Protéines.

**SAA** : Spectrométrie d'Adsorption Atomique.

**Zn** : Zinc.

# **Sommaire**

## Sommaire

Introduction .....	12
La bioaccumulation des métaux traces.....	14
1 Aperçu général des travaux réalisés sur la contamination des poissons par les métaux traces : .....	14
2 Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des poissons par les métaux traces ..	15
2.1 Ghomari, M. et Malik, M., 1992 .....	15
2.2 Benguedda rahal, W., 1993 .....	15
2.3 Bendahou mustapha, 1993.....	16
2.4 Merbouh, 1998.....	17
2.5 Aoudjit, N., 2001 .....	17
2.6 Bensahla Talet, L 2001 .....	18
2.7 Haddou, A., 2003.....	18
2.8 Borsali Sofia 2006 .....	18
2.9 Rym ennouri, L.Chouba et M.M.Kraiem 2008 .....	19
2.10 Benadda hocine 2009.....	20
2.11 Benamar nardjess 2010.....	21
2.12 Ayad farah 2010 .....	22
2.13 Bouhadiba Chenait Sultana, 2010 : .....	25
2.14 Benamar Nardjess, Bouderbala Mohammed et Boutiba Zitouni 2010 :.....	26
2.15 Ennouri rym et Chouba lassaad, 2012 : .....	26
2.16 Fatma belhoucine 2012.....	27
2.17 Présente étude 2014 .....	28
3 Facteurs influençant la bioaccumulation des métaux .....	30
3.1 Les facteurs extrinsèques.....	30
3.1.1 Température .....	30
3.1.2 Le pH.....	30
3.1.3 Le potentiel redox.....	30
3.1.4 Action de la dureté de l'eau.....	31
3.1.5 Les variations saisonnières .....	31
3.1.6 Fixation des métaux par les sédiments .....	31
3.2 Les facteurs intrinsèques .....	31

3.2.1	Age, poids ou taille des poissons .....	31
3.2.2	Sexe du poisson .....	31
3.2.3	Régime alimentaire .....	32
	Méthodologie .....	34
1	Applications statistiques .....	34
1.1	Analyse binaire .....	34
1.1.1	Elaboration des matrices de corrélation .....	34
2	Résultats et interprétations .....	35
2.1	Corrélations métaux – composition biochimique .....	35
2.1.1	Corrélation mercure- composition biochimique .....	35
2.1.2	Corrélation zinc - composition biochimique .....	37
2.1.3	Corrélation nickel - composition biochimique .....	38
2.1.4	Inter métaux .....	39
2.2	Comparaison des moyennes en métaux traces de <i>pagellus erythrinus</i> par rapport aux autres poissons (exprimées en ppm) .....	40
	Conclusion .....	43
	Références bibliographiques .....	45

# **Introduction**

## Introduction

La pollution est un problème d'actualité, elle affecte pratiquement tous les écosystèmes y compris l'environnement marin. Le milieu marin est menacé de plusieurs types de pollution. En effet, Les zones côtières sont des espaces fragiles et très sollicités. Ils sont exposés à des énormes risques : la pression démographique, la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme et à une exploitation intensive des ressources marines. Cela a suscité une prise de conscience de la communauté internationale concernant le développement durable de ces espaces et leurs ressources naturelles (Mennad, 2008)

Des centaines de polluants sont déversés chaque jour dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme des polluants dangereux pour l'environnement aquatique à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques (Harte, et al., 1991) et (Schuurmann, et al., 1998).

Parmi ces organismes, les groupes d'espèces les plus utilisées jusqu'à présent en routine, on retrouve essentiellement les bivalves (moules, huîtres) et les poissons. En dehors de la simple évaluation de la contamination du milieu par les micropolluants, la mesure de la bioaccumulation des contaminants chez les espèces marines permet également d'obtenir des informations concernant les variations géographiques et temporelles des rejets de ces composés dans le milieu naturel (Perez, et al., 2000).

Dans ce contexte, plusieurs travaux de recherches ont été effectuées pour mieux cerner le phénomène de la bioaccumulation des métaux traces par ces espèces en méditerranée.

L'objectif assigné par ce travail est de synthétiser et comparer les travaux réalisés sur l'utilisation des poissons comme bioindicateur de la contamination métallique à l'échelle de la méditerranée. Ainsi une étude statistique des résultats déjà obtenus (concentrations en zinc, mercure et nickel et taux des protéines, lipides et glucides dans trois organes de pageot commun (*Pagellus erythrinus*) est réalisée pour chercher une telle relation entre ces deux paramètres, et donc, l'influence de la composition biochimique sur la bioaccumulation des trois métaux traces analysés par le pageot commun.

Pour cela, le présent travail est organisé en deux parties :

- La première partie présente une synthèse des travaux réalisés sur la bioaccumulation des métaux traces par les poissons, ainsi les facteurs qui influence cette bioaccumulation.
- La deuxième partie sera consacrée au traitement et analyse statistique des données acquises

# **La bioaccumulation des métaux traces**

### La bioaccumulation des métaux traces

#### 1 Aperçu général des travaux réalisés sur la contamination des poissons par les métaux traces :

Dans le cadre d'évaluation de la pollution métallique dans le milieu marin, plusieurs travaux utilisant des poissons marins pour cette évaluation ont été réalisés par différentes institutions à l'échelle de la méditerranée, dont les principaux sont consignés dans le tableau ci-après :

**Tableau 1** : les travaux réalisés sur la contamination des poissons par les métaux traces.

Sites	Référence	Espèce	Les métaux analysés	Année
Ghazaouet	Ghomari <i>et al.</i>	<i>Xiphias gladius.</i>	Fe, Cu, Zn, Pb et Hg	1992
golfe d'Arzew	Benguedda rahal	<i>Mullus surmuletus</i>	Zn, Cu, Cd	1993
Ghazaouet	Bendahou mustapha	<i>Sardina pilchardus</i> et <i>Trachurus trachurus.</i>	Zn, Cu, Cd	1993
Baie d'Oran	Merbouh	<i>Sardine pichardus</i>	Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn	1998
Baie d'Oran	Aoudjit, N.	<i>Boops boops</i>	Zn, Fe, Ni, Cu, Pb	2001
Baie d'Oran	Bensahla Talet	<i>Mullus barbarus</i>	Zn, Cu, Cd	2001
Baie d'Oran	Haddou A.	<i>Sepia officinalis</i>	Zn, Cu, Cd	2003
Baie d'Oran	Borsali sofia	<i>Mullus surmuletus</i>	Zn, Cu, Cd	2006
Golfe de Tunis.	Ennouri Rym et M.M.Kraiem	<i>Sardinella aurita.</i>	Cd, Pb, Hg et Zn.	2008
Baie d'Oran	Benadda hocine	<i>Trachurus trachurus</i>	Cd, Pb, Zn	2009
Baie d'Oran	Benamar <i>et al.</i>	<i>Sardinella aurita</i>	Cd	2010
Baies de Béni saf et d'Oran	Ayad farah	<i>Diplodus sargus</i>	Cd, Pb, Zn.	2010

Baies de Béni saf et d'Oran	Bouhadiba Chenait Sultana	<i>Mugil cephalus</i>	Cd, Pb, Zn, Cu.	2010
Baie d'Oran	Benamar nardjess	<i>Sardinelle aurita</i>	Cd, Pb, Zn.	2011
Golfe de Tunis.	Ennouri rym et Chouba lassaad	<i>Mullus barbatus</i> et <i>Sardinella aurita</i> .	Cd, Pb, Hg, Zn, Cu.	2012
Baie d'Oran	Fatma belhoucine	<i>Merluccius merluccius</i>	Cd, Pb, Zn.	2012
côte algérienne	Présente étude	<i>Pagellus erythrinus</i>	Hg, Zn, Ni	2014

## 2 Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des poissons par les métaux traces

### 2.1 Ghomari, M. et Malik, M., 1992

Le thème intitulé le dosage des métaux lourds (Fe, Cu, Zn, Pb et Hg) dans l'Espadon, pêché à Ghazaouet. Les principaux résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 2 :** Concentrations moyennes en Zn, Cu, (ppm PF) dans l'Espadon (*Xiphias gladius*) pêché à Ghazaouet.

Espèce \ ETM	Zn	Cu
Espadon ( <i>Xiphias gladius</i> )	83,59	4,85

### 2.2 Benguedda rahal, W., 1993

Le thème consacré à la contribution à l'étude de quelques polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L) et le rouget de roche *Mullus surmuletus* (L) dans la partie occidentale du golfe d'Arzew. On n'a pas pu récupérer que les principaux résultats, qui sont résumés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 3 :** variations des teneurs moyennes en métaux traces (en ppm P.F) dans le muscle du rouget de roche (*Mullus surmeletus*) dans la partie occidentale du golfe d'Arzew.

Especce \ ETM	Cd	Pb	Zn
Rouget de roche ( <i>Mullus surmeletus</i> )	0,08±0,02	1,32±0,08	13,25±0,08

### 2.3 Bendahou mustapha, 1993

La thèse intitulé les teneurs en métaux traces (Zn, Cu, et Cd) dans différents organes de *Sardina pilchardus* et *Trachurus trachurus* pêchées dans le golf de Ghazaouet.

La détermination des concentrations des métaux traces (Zn, Cu, Cd) a été effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique au niveau de différents organes (écailles, peau, branchies, muscle, foie, gonades et squelette) appartenant aux poissons pélagiques (sardine te saurel) pêchés dans la baie de Ghazaouet a pu mettre en évidence les résultats portés dans le tableau ci-après.

**Tableau 4 :** Concentrations moyennes en Zn, Cu, Cd (ppm PF) dans différents organes de *Sardina pilchardus* et *Trachurus trachurus*.

Métal	Especce	Ecaille	Peau	Branchies	Muscle	Foie	Gonade	Squelette
<b>Zn</b>	S. pilchardus	9,29	7,89	9,01	2,25	6,33	5,49	6,48
	T. trachurus	/	9,80	7,60	1,63	8,87	5,91	5,91
<b>Cu</b>	S. pilchardus	0,048	/	0,016	0,158	0,09 9	0,020	0,063
	T. trachurus	/	0,50	0,82	0,29	0,38	0,48	0,14
<b>Cd</b>	S. pilchardus	0,083	0,00 6	0,088	0,03	0,07 3	0,068	0,084
	T. trachurus	/	0,11	0,10	0,03	0,10	0,03	0,07

La taille ne semble pas avoir une influence sur la distribution quantitative du Zn et du Cu. En effet, du fait de leur rôle métabolique, ces métaux sont soumis à une régulation par l'organisme

selon ses besoins. Concernant le Cd, les résultats montrent pour les deux espèces et pour tous les organes examinés, une diminution de la concentration de ce métal avec la taille.

Les métaux traces s'accumulent d'une façon préférentielle selon les organes. Les concentrations les plus élevées relevées au niveau des téguments (écailles + peau) des branchies et du foie indiquent qu'il s'agit dans l'ordre d'organes de protection, d'excrétion et de stockage. Le muscle, partie consommable est le tissu le moins contaminée.

Toutes ces valeurs sont inférieures aux normes établies par les instances internationales. Aussi, à l'heure actuelle, la zone de Ghazaouet ne peut pas être considérée comme polluée mais, néanmoins, une étude plus approfondie serait nécessaire dans cette région pour mieux évaluer le niveau actuel de pollution et son impact.

### 2.4 Merbouh, 1998

Le thème intitulé contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) d'un poisson pélagique, la sardine (*Sardine pichardus*, Walbaum, 1792), pêché dans la baie d'Oran.

Les principaux résultats de cet étude sont inscrits dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 5** : concentrations moyennes (mg/kg) en métaux lourds dans la sardine pêché dans la baie d'Oran.

Espèce	ETM	Zn	Pb	Cd
La sardine ( <i>Sardine pichardus</i> )		10,99±3,93	2,17±0,450	0,02±0,01

### 2.5 Aoudjit, N., 2001

Le thème porte sur la contribution à l'étude de quelques paramètres de la reproduction de la bogue *Boops boops* et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (Zn, Fe, Ni, Cu, Pb) dans la baie d'Oran. Les principaux résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 6 :** variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle de la bogu (*Boops boops*) pêchés dans la baie d'Oran.

Espèce \ ETM	Cd	Pb	Zn
Boops ( <i>Boops boops</i> )	0,021±0,01	0,40±0,18	13,5±3,55

### 2.6 Bensahla Talet, L 2001

Le thème intitulé la contribution à l'étude des caractères biologiques du rouget (*Mullus barbarus*) du golfe d'Oran et sa contamination par les métaux lourds. Les principaux résultats énoncés dans ce travail sont récapitulés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 7 :** variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle du rouget (*Mullus barbarus*) du golfe d'Oran.

Espèce \ ETM	Cd	Pb	Zn
Rouget de vase ( <i>Mullus barbarus</i> )	0,08±0,02	1,19±0,04	13,5±3,55

### 2.7 Haddou, A., 2003

Le thème intitulé l'impact de la pollution marine par trois métaux lourds : (Cd, Pb, Zn) sur la seiche *Sepia officinalis* pêchée dans la baie d'Oran. Les principaux résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 8 :** Concentrations moyennes (mg/kg) en métaux lourds dans la seiche (*Sepia officinalis*) pêchée dans la baie d'Oran.

Espèce \ ETM	Zn	Pb	Cd
la seiche ( <i>Sepia officinalis</i> )	14.04±1.94	0,86±0,48	0,51±0,40

### 2.8 Borsali Sofia 2006

Dans l'étude porte sur la contamination du Rouget de roche (*Mullus surmuletus*, L., 1758) dans les organes (foie, muscle et gonade) par trois métaux lourds (Cd, Pb et Zn), pêché dans la baie d'Oran.

Les principaux résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 9 :** variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle du Rouget de roche (*Mullus surmuletus*) pêché dans la baie d'Oran.

ETM Espèce	Cd	Pb	Zn
Rouget de roche ( <i>Mullus surmuletus</i> )	0,15±0,01	0,23±0,98	21,23±3,21

## 2.9 Rym ennouri, L.Chouba et M.M.Kraiem 2008

Le thème porte sur l'évaluation de la contamination chimique par les métaux traces (Cd, Pb, Hg et Zn) du zooplancton et de la sardinelle (*Sardinella aurita*) dans le golfe de Tunis.

Le golfe de Tunis constitue une des régions les plus productives de poissons pélagiques en Tunisie (Azouz, 1974). Cependant, il est sujet à des agressions anthropiques dues aux rejets d'eaux usées en provenance des agglomérations et des zones industrielles avoisinantes. Ces rejets chargés de divers polluants organiques et inorganiques ont des effets néfastes sur la faune et la flore marines.

Le tableau ci-après résume les valeurs moyennes des métaux analysés dans les différents organes en fonction du temps.

**Tableau 10 :** Concentrations des métaux traces chez la Sardinelle et le Zooplancton en µ g/g exprimées en poids frais.

période	organe	Cd	Pb	Hg	Zn
Eté	Branchie	0,020 ± 0,005	0,7 ± 0,05	0,37± 0,09	55,9 ± 0,9
	Foie	0,090 ± 0,009	0,19 ± 0,08	0,20 ± 0,05	24,2 ± 0,3
	muscle	0,017 ± 0,003	0,15 ± 0,05	0,1 ± 0,05	10,96 ± 0,8
Hiver	Branchie	0,020 ± 0,007	0,72 ± 0,07	0,35± 0,06	52,0 ± 0,6
	Foie	0,10 ± 0,01	0,14 ± 0,07	0,13 ± 0,06	26,0 ± 0,8
	muscle	0,018 ± 0,005	0,1 ± 0,08	0,09 ± 0,007	12 ± 0,65

D'après cette analyse, le foie chez la sardinelle, renferme la concentration la plus élevée en Cd et les branchies sont les plus riches en Hg, Pb et Zn. Les concentrations trouvées, sont inférieures aux seuils fixés par la Commission Européenne de l'Environnement (CEE). En conséquence, les organismes analysés sont considérés comme indemnes de toute contamination par ces métaux traces.

### 2.10 Benadda hocine 2009

Le thème porte sur l'évaluation de la pollution marine par trois métaux lourds (Cadmium, Plomb, Zinc) sur un Poisson pélagique : la Saurel, *Trachurus trachurus* (Linné, 1758) pêchée dans la baie d'Oran.

La baie Oranaise a été choisie pour des nombreuses raisons :

- Sa position géostratégique et sa proximité de la zone industrielle d'Arzew.
- Les activités des usines et leurs rejets directs en mer.
- Les rejets urbains : vu le manque des stations d'épuration, les eaux usées sont déversées directement en mer sans traitement préalable.
- L'importance commerciale et industrielle du port d'Oran aux niveaux national et international.

Les résultats obtenus montrent que les concentrations moyennes des trois métaux analysés au niveau de *Trachurus trachurus* se présentent sous l'ordre décroissant suivant :

$$\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd}.$$

Le tableau ci-après regroupe les concentrations moyennes des trois polluants suivies de leurs écart-types exprimées en mg/kg de P.F.

**Tableau 11** : Concentrations moyenne de trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) chez *Trachurus trachurus* pêchée dans la baie d'Oran (exprimées en mg/kg P.F).

	Zinc		Plomb		Cadmium	
	Muscle	Foie	Muscle	Foie	Muscle	Foie
Février	1,29±0,35	4,38 ±1,48	/	0,062± 0,04	0,023± 0,01	0,013± 0,01
Mars	2,72±0,85	2,55± 1,39	/	/	0,019± 0,01	/
Avril	1,553± 0,38	4,098± 1,22	/	/	0,02± 0,01	0,021±0,007

Nous constatons aussi que la bioaccumulation des métaux lourds étudiés est affectée par le sexe, la taille, la variation mensuelle de température et la salinité des eaux marines.

-Par rapport aux sexes, les femelles semblent accumulent mieux les métaux lourds que les mâles.

-En relation avec la maturité des individus, il apparaît que les plus jeunes sont plus contaminés que les individus âgés, et cela du fait que les poissons relèguent une partie des contaminants de leurs corps lors de la ponte, les individus âgés contiennent moins de contaminants.

-On constate aussi que le mois d'Avril, enregistre les concentrations les plus élevées en métaux lourds, cela sans doute à cause de l'augmentation en température et la salinité au niveau de la baie d'Oran durant ce mois par rapport au mois de février et mars.

-Il semblerait aussi que le foie bioaccumule les métaux lourds mieux que le tissu musculaire.

Les résultats obtenus chez les différentes espèces marines pêchées dans la baie d'Oran révèlent une véritable relation entre la pollution marine et ces espèces, ainsi la relation directe de leur impact sur l'homme à travers la chaîne alimentaire qui présente un vrai danger à long terme.

### 2.11 Benamar nardjess 2010

Le thème de cette thèse est l'étude de la biologie, de l'exploitation et de la contamination par les métaux lourds (cadmium, plomb et zinc) de la sardinelle ronde *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) pêchée dans la baie d'Oran.

La baie d'Oran correspond à un espace d'intenses activités économiques (activités domestiques, industrielles, agricoles, etc.) et constitue de ce fait, le réceptacle de quantités considérables de substances, d'origine naturelle ou de synthèse, dont, un nombre important possède des propriétés toxiques.

Les concentrations en métaux traces (Cd, Pb et Zn) ont été déterminées par la S.A.A. à flammes au niveau du foie, du muscle et des gonades de l'allache.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 12 :** Concentrations moyenne de trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans la sardine (*Sardinella aurita*) pêchée dans la baie d'Oran (exprimées en ppm).

ETM Espèce	Cd	Pb	Zn
<i>Sardinella aurita</i>	0,024	0,19	3,16

-Les trois métaux lourds s'accumulent plus dans le foie et les gonades que dans le muscle. -Les taux de contamination dans la chair des sardinelles au niveau de la baie d'Oran sont très faibles et restent inférieurs aux doses maximales admissibles.

-Les organes de *Sardinella aurita* semblent donc mieux bioaccumulés les polluants métalliques durant les mois de juillet et août, ceci correspond à la saison estivale.

-le sexe du poisson influe sur leur contamination. En effet, les résultats montrent que globalement, l'accumulation du Cd, du Pb et du Zn est plus importante chez les femelles que chez les mâles, ceci est due vraisemblablement au phénomène d'accumulation des réserves nutritive durant la vitellogénèse (Mortet, 1989)

Les résultats que nous venons d'exposer, révèlent l'existence d'une relation entre la pollution marine et les organismes marins. Ces derniers peuvent servir de nourriture à l'homme à travers la chaîne alimentaire et peuvent présenter à long terme un danger pour le consommateur. L'origine des polluants métalliques décelés au niveau des organes de *Sardinella aurita* de la baie d'Oran résulte vraisemblablement de multiples raisons en particulier qu'elle soit citée, parmi les 120 principales villes côtières du bassin méditerranéen, qui sont dépourvues de systèmes d'épurations efficaces.

### 2.12 Ayad farah 2010

Le thème du travail porte sur l'évaluation de la pollution métallique par trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans les organes (Foie, gonade et muscle) chez le Sar *Diplodus sargus* (linné, 1758) pêché dans les baies de Béni Saf et d'Oran.

Durant cette étude, nous avons choisi deux sites d'échantillonnages éloigné l'un de l'autres d'une distance de 105Km et correspondant à deux importants ports de pêches. Notre choix a porté sur ces zones pour de nombreuses raisons :

- L'exposition de ses nombreuses plages aux déversements d'eaux usées et d'effluents toxiques ; suite à une forte population contaminée sur le littoral.
- Les rejets urbains ; faute de stations d'épurations, les eaux usées sont rejetés sans être traités au préalable.
- Les activités à vacation commerciale dans le port d'Oran.
- la richesse halieutique et la disponibilité du sar (*Diplodus*) sur le plan qualitatif et quantitatif.
- L'ampleur de la surface du plateau continental.

## La bioaccumulation des métaux traces

- Absence de stations d'épuration et d'activités industrielles en dehors la cimenterie de Béni Saf et de quelques usines de conserverie de poissons.
- Présence de Al Zinc par le côté Ouest, et la cimenterie de Béni Saf par l'Est.

Cette étude a pour objectif d'évaluer le degré de contamination d'un poisson blanc démersal ; le Sar commun (*Diplodus sargus*) par trois métaux lourds (Zn, Pb, Cd) au niveau de trois différents organes : le foie, les gonades et le muscle du poisson dans les baies de Béni Saf et d'Oran.

Les concentrations en métaux lourds ont été déterminées par un appareillage de haute performance ; le spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) ; à flamme en fonction de trois paramètres (sexe, taille, mois).

Les deux tableaux ci-après portent les valeurs moyennes des métaux analysés dans les différents organes en fonction des saisons.

**Tableau 13** : concentrations moyennes de métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans le Sar (*diplodus sargus*) pêché dans la baie d'Oran exprimés en mg/kg de PF.

	Zinc			Plomb			Cadmium		
	Muscle	Foie	Gonade	Muscle	Foie	Gonade	Muscle	Foie	Gonade
<b>février</b>	2,182±	2,9±	3,367±	0,039±	0,18±	0,119±	0,065±	0,156±	0,129±
	1,21	0,93	1,32	0,001	0,011	0,003	0,002	0,05	0,111
<b>Mars</b>	3,282±	5,182±	1,109±	0,18±	0,321±	0,333±	0,088±	0,187±	0,096±
	0,084	0,907	0,064	0,0076	0,0198	0,071	0,001	0,092	0,004
<b>Avril</b>	1,236±	2,991±	3,557±	0,165±	0,505±	0,315±	<0,001	0,115±	0,143±
	0,135	1,1	1,236	0,006	0,051	0,006		0,039	0,074
<b>Mai</b>	2,182±	2,1± 0,5	<0,001	<0,001	0,085±	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,651				0,244				

## La bioaccumulation des métaux traces

**Tableau 14** : concentrations moyennes de métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans le Sar (*diplodus sargus*) pêché dans la baie de Béni Saf exprimés en mg/kg de PF.

	Zinc			Plomb			Cadmium		
	Muscle	Foie	Gonade	Muscle	Foie	Gonade	Muscle	Foie	Gonade
<b>février</b>	2,709±	3,152±	2,439±	<0,001	0,437±	0,124±	0,096±	0,156±	0,459±
	0,987	0,93	0,765		0,005	0,003	0,002	0,05	0,111
<b>Mars</b>	2,76±	3,053±0,	2,959±	0,2±	0,459±	<0,001	0,061±	0,822±	0,096±
	0,655	907	0,232	0,032	0,033		0,001	0,092	0,006
<b>Avril</b>	2,033±	3,498±	2,429±	0,12±	<0,001	0,126±	<0,001	0,079±	0,087±
	0,334	1,23	1,007	0,223		0,034		0,004	0,028
<b>Mai</b>	1,76±	3,58±	<0,001	0,116±	0,085±	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	0,021	1,64		0,011	0,244				

Les résultats du zinc ont révélé des concentrations très élevées par rapport au cadmium et au plomb et ceci exprimé dans les deux baies.

-la concentration du zinc est un peu plus élevée au niveau de la baie d'Oran que celles enregistrés pour la baie de Béni Saf.

-les concentrations moyennes en plomb dans la baie d'Oran sont plus importantes que celles de Béni Saf.

-la concentration du cadmium est plus importante au niveau de la baie de Béni Saf que celles trouvées dans la baie d'Oran.

Les résultats révèlent une bioaccumulation plus accentuée dans le foie et les gonades par rapport au muscle. On note aussi que les concentrations des métaux traces varient selon le sexe, la taille, et les saisons.

-Les femelles sont plus contaminées car c'est la migration vers les côtes pollués qui explique la forte contamination par les métaux lourds via les différentes sources de pollutions.

-en relation avec la maturité des individus, il apparait que les plus jeunes individus sont moins contaminées que les plus âgées, et ceci du fait que les plus âgées sont des femelles et les femelles accumulent plus de polluants.

-nous constatons que le mois de Mars et Avril enregistre des concentrations très élevées par rapport aux autres mois, en effet ces deux mois représentent la période de reproduction chez le Sar *Diplodus sargus* et ceci dans les deux sites, baie d'Oran et baie de Béni Saf.

L'étude comparative des variations des valeurs en éléments traces chez *Diplodus sargus* pêché au niveau de la baie de Beni Saf et la baie d'Oran permet de conclure que les deux zones sont polluées mais le degré de contamination différent d'un site à un autre. la contamination métallique dans la baie d'Oran s'avère être plus importante que celle de la baie de Béni Saf.

### 2.13 Bouhadiba Chenait Sultana, 2010 :

Le thème porte sur évaluation des concentrations des quatre métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn) chez le mullet *mugil cephalus* (linné 1758) pêché dans les baies d'Oran et de Béni Saf.

Les concentrations en métaux lourds ont été déterminées par le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme en fonction de trois paramètres (sexe, taille, mois, et la zone).

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau ci-dessus.

**Tableau 15 :** Concentrations moyennes en Zn, Cu, Pb, Cd (exprimées en ppm PF) dans le mullet (*mugil cephalus*) pêché dans la baie de Béni Saf et la baie d'Oran.

ETM Région	Cadmium	Plomb	Zinc	cuivre
<b>Oran</b>	0,3± 0,02	0,4± 0,021	9,09 ±0,58	9,2 ±0,40
<b>Béni Saf</b>	0,11± 0,08	1± 0,001	19,17± 1,2	9,92 ±0,05

-les concentrations du plomb et du cadmium sont moins importantes par rapport au zinc et au cuivre.

-les quatre métaux sont présents plus accumulés dans le foie et les gonades que le muscle.

-concernant la maturité sexuelle, une relation a été établie entre la période de ponte et les valeurs élevées de métaux traces qui correspond à une activité hépatique accrue survenant lors de l'engraissement de l'espèce après la période de reproduction.

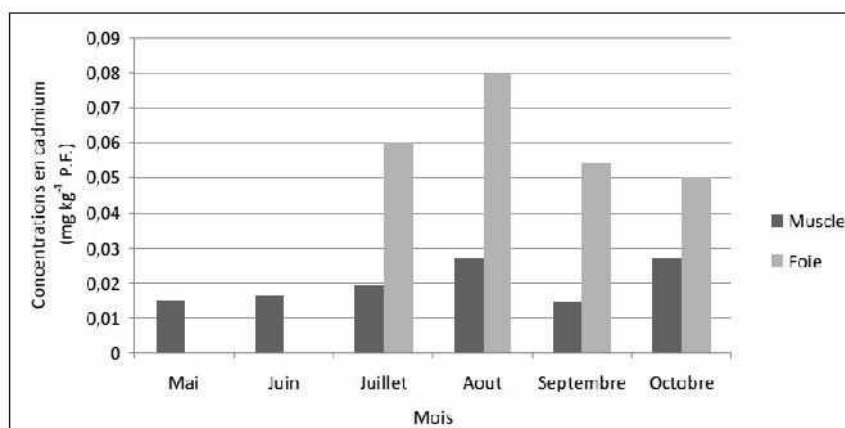
-par rapport au sexe les individus femelles sont fortement contaminés que les individus mâles.

Les résultats que nous venons d'exposer ne font que révéler l'existence d'une relation entre la pollution marine et nombreux rejets industriels et urbains aux niveaux des baies (Oran et Beni Saf), et des régions avoisinantes.

### 2.14 Benamar Nardjess, Bouderbala Mohammed et Boutiba Zitouni 2010 :

Le thème porte sur l'évaluation de la concentration en cadmium d'un poisson pélagique commun (*Sardinella aurita*) dans la baie d'Oran. Les concentrations en Cadmium, ont été déterminées par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, 200 lectures ont été effectuées sur des tissus hépatiques et musculaires.

Les résultats obtenus révèlent que l'allache bioaccumule le cadmium. On observe une variabilité mensuelle des teneurs en cadmium liée au cycle de reproduction de l'espèce. Le cadmium se bioaccumule mieux chez les femelles, et particulièrement dans les tissus hépatiques. Enfin *S. aurita* relâche le Cd au cours de son cycle de vie, les juvéniles étant plus touchés que les adultes. Pour le foie, les concentrations moyennes sont plus élevées que celles relevées au niveau musculaire notamment durant les deux mois les plus chauds de l'année Juillet et d'août (figure2). Néanmoins, à partir de septembre, ces concentrations chutent pour atteindre leur minimum en octobre avec une concentration de 0,05 mg kg<sup>-1</sup> de P.F.



**Figure 1 :** Évaluation mensuelle (mai à octobre) des concentrations moyenne en cadmium exprimées en mg kg<sup>-1</sup> de poids frais au niveau du muscle et du foie chez *Sardinella aurita*.

D'une manière plus générale, l'origine des polluants métalliques décelés au niveau des organes de *Sardinella aurita* de la baie d'Oran relève de multiples sources : une population importante, l'absence de système d'épuration efficace et la présence de multiples industries littorales (Benamar, 2006).

### 2.15 Ennouri rym et Chouba lassaad, 2012 :

Le thème porte sur l'étude de la contamination métallique du rouget de vase (*Mullus barbatus*) et de la sardinelle (*Sardinella aurita*) du golfe de Tunis.

Les résultats ont montré chez les deux espèces que le site préférentiel d'accumulation du Cd est le foie. Le facteur saison a un effet sur la variation de la teneur en Pb et en Cu dans le muscle de la sardinelle. De plus, dans les trois organes considérés du rouget de vase nous avons trouvé des teneurs en Cd et en Pb significativement supérieures à celles qui ont été trouvées chez la sardinelle. Ceci peut s'expliquer par le fait que le rouget de vase est en étroite relation avec le sédiment qui peut renfermer des concentrations élevées de Cd et de Pb. La faible mobilité de cette espèce et sa nourriture riche en polychètes et crustacés peuvent être des facteurs qui favorisent l'accumulation de ces métaux. Les branchies de la sardinelle concentrent davantage le Hg, Cu et Zn. Ceci pourrait être attribué au fait que cette espèce filtre l'eau environnante par ses branchies et que cette eau pourrait être chargée de ces métaux. D'après cette étude, la variabilité du degré d'accumulation d'un métal entre les différentes espèces est en concordance avec la disponibilité de ce métal dans le milieu environnant (eau pour la sardinelle et sédiment pour le rouget de vase).

Le régime alimentaire est considéré comme un facteur important et présente une influence sur l'accumulation des métaux dans les différents organes des poissons et au niveau de la chaîne trophique.

### 2.16 Fatma belhoucine 2012

Le thème de cette thèse est l'étude de la biologie de la croissance et de la reproduction d'un poisson téléostéen le marlu (*Merluccius merluccius* L., 1758) et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (Zinc, Plomb et Cadmium) dans la baie d'Oran.

Les teneurs en métaux lourds ont été déterminées par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique S.A.A. à flamme en fonction de trois paramètres (sexe, taille et mois).

Le tableau ci- après résume les principaux résultats :

**Tableau 16** : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm P.F) dans le muscle du le marlu (*Merluccius merluccius*) dans la baie d'Oran.

ETM Espèce	Cd	Pb	Zn
le marlu ( <i>Merluccius merluccius</i> )	0,24±0,11	0,27±0,16	7,89±0,47

De cette étude, il ressort que :

-le foie est systématiquement apparu comme l'organe le plus contaminé, et constitue donc l'organe cible de ces contaminants (Zn, Pb, Cd) chez le merlu.

-la bioaccumulation des métaux lourds présente une variation mensuelle nette. En effet, pour les concentrations en Zn, le foie concentre mieux ce métal en été (aout) qu'en automne. Cette variation s'explique, évidemment, par l'élévation de la température de l'eau de mer, et surtout par l'accroissement de la pression humaine, particulièrement importante en cette période d'année.

-par rapport à la taille des individus, la classe la plus petite semble être la plus contaminée ; ce facteur est intimement lié à la croissance qui impose aux individus un régime alimentaire très riche. Ce dernier étant de type carnivore, il augmenterait potentiellement les risques de bioaccumulation.

-concernant la maturité sexuelle, une relation a été établie entre la période de ponte et les valeurs élevées de métaux traces qui correspond à une activité hépatique accrue survenant lors de l'engraissement de l'espèce après la période de reproduction.

-il apparait, aussi que la majorité des métaux ont tendance à s'accumuler beaucoup préférentiellement chez les individus immatures que les individus matures du merlu de littoral oranais.

Les résultats que nous venons d'exposer ne font que révéler l'existence d'une relation entre la pollution marine et nombreux rejets industriels et urbains aux niveaux des baies d'Oran, et des régions avoisinantes.

### **2.17 Présente étude 2014 :**

Le thème de ce travail est l'étude de la bioaccumulation des métaux traces par le pageot (*pagellus erythrinus*) dans la côte algérienne.

L'objectif de ce travail est de évaluer le niveau de contamination par les métaux lourds sur ce poisson a pour but de s'assurer si cette espèce halieutique exploitée ne présenterait pas des taux inquiétants de contamination métallique et donc un danger potentiel pour la santé humaine et au final d'apporter des éléments d'information permettant de proposer des conclusions plus récentes et plus significatives.

L'analyse est menée par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (SAA) selon les protocoles expérimentaux décrits par (Charlou, et al., 1983), (A.I.E.A, 1998) et (A.I.E.A, 2001).

Résumé des différentes étapes de traitement de poisson :

- 1) Prélèvement.
- 2) Traitement des poissons.
- 3) Conservation (-18°C).
- 4) Lyophilisation (10<sup>-1</sup> bar, 50°C, pdt 48h).
- 5) Broyage.
- 6) Homogénéisation.
- 7) Minéralisation (0.5g de poisson, 5ml de HNO<sub>3</sub>, 120°C pdt 2h30min) pour le mercure en rajoute 1ml de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>
- 8) Analyse en SAA.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-après :

**Tableau 17** : variations des teneurs moyennes en métaux traces (exprimées en ppm) dans le pageot (*pagellus erythrinus*) dans la côte algérienne.

	Hg			Zn			Ni		
	foie	gonade	chaire	foie	gonade	chaire	foie	gonade	chaire
<b>Béni Saf</b>	1.043	0.075	0.334	141.15	205.40	38.77	17.90	9.21	11.27
<b>Ghazaouet</b>	0.071	0.005	0.036	80.04	224.32	30.99	13.84	10.29	11.09
<b>Mostaghanem</b>	0.021	0.036	0.005	137.31	252.62	33.10	13.43	14.01	14.04
<b>Bouismail</b>	0.010	-	-	114.68	-	-	12.245	-	-
<b>Alger</b>	0.010	-	-	117.40	-	-	15.695	-	-

Le degré de la contamination de *pagellus erythrinus* par ces trois métaux se présentent sous l'ordre décroissant suivant :

Zn Ni Hg

Les concentrations des trois métaux sont plus importantes dans la partie ouest de la côte algérienne (Béni Saf et Mostaghanem)

Les résultats révèlent une bioaccumulation plus accentuée dans le foie et les gonades par rapport au muscle.

Par rapport aux sexes, les femelles semblent accumulent mieux les métaux lourds que les mâles.

Il apparait aussi que la majorité des métaux ont tendance à s'accumuler beaucoup préférentiellement chez les individus immatures que les individus mature du pageot de la côte algérienne.

### 3 Facteurs influençant la bioaccumulation des métaux

La bioaccumulation des métaux traces dans les organismes marins est sous l'influence de plusieurs facteurs : Facteurs intrinsèques (propres aux caractéristiques de l'espèce bioindicatrice et des individus qui la composent) et facteurs extrinsèques (environnementaux).

#### 3.1 Les facteurs extrinsèques

##### 3.1.1 Température

La température régit tous les processus biologiques (croissance, activité enzymatique, etc...). L'augmentation de la température, que ce soit du point de vue chimique ou physiologique, a pour effet d'intensifier l'action des substances toxiques, en facilitant le contact entre les microorganismes et les substances toxiques d'une part, et d'autre part en stimulant l'activité métabolique. Les microorganismes vont absorber ainsi, dans l'unité de temps, une plus forte quantité de substance toxique (Habi, 2010).

Une élévation de température agit directement en augmentant le métabolisme des poissons provoquant une hausse de consommation d'oxygène, donc une plus grande pénétration des toxiques. Elle stimule également la croissance bactérienne et augmente la solubilité du méthylmercure, qui sera plus facilement disponible pour les poissons. Cette influence de la température est plus ou moins importante selon le métal considéré (Noppe, 1996).

##### 3.1.2 Le pH

Le pH est un des paramètres clés du comportement des métaux dans les systèmes aquatiques. Il influe sur la partition entre phases dissoute et particulaire et sur tous les paramètres qui en dépendent, c'est-à-dire la mobilité, la réactivité, la biodisponibilité, la bioaccumulation et la toxicité (Devallois, 2009).

##### 3.1.3 Le potentiel redox

Le potentiel redox est l'un des paramètres les plus importants quant à la spéciation des ETM en milieu aquatique. La spéciation des éléments traces métalliques peut être affectée de manière indirecte par des changements en potentiel redox. En effet, la dissolution ou non de nombreux composés attachés à la phase solide dépend du potentiel d'oxydoréduction de la phase aqueuse. Ainsi, en milieu réducteur, les oxydes se solubilisent tandis qu'un milieu oxydant provoque une décomposition de la matière organique. Ainsi la mobilité de nombreux cations varie en fonction du potentiel redox, même si le pH est stable (Förstner, *et al.*, 1986) et (Calmano, *et al.*, 1993).

### 3.1.4 Action de la dureté de l'eau

Plusieurs études ont montré que la dureté de l'eau influence de manière déterminante la solubilité des éléments métalliques par formation des complexes insolubles ou adsorption sur des éléments minéraux sous forme particulière (Brungs, *et al.*, 1976), (Tbalka, *et al.*, 1977) et (Fekhaoui, 1983).

### 3.1.5 Les variations saisonnières

Le facteur saisonnier est important, et de nombreuses études ont montré que les concentrations métalliques mesurées chez les espèces marines varient saisonnièrement (Majori, *et al.*, 1978), (Cossa, 1980), (Cossa, *et al.*, 1985), (Lee, *et al.*, 1996), (Bei, *et al.*, 1998), (Wright, *et al.*, 1999), (Kaimoussi, *et al.*, 2000), (Orban, *et al.*, 2002) et (Khati, *et al.*, 2008).

Les variations saisonnières peuvent être causées par les combinaisons de plusieurs facteurs directement corrélés au poids incluant la température, la biodisponibilité en nourriture, la croissance et la reproduction mais aussi d'autres facteurs indépendants tels que la modification du cycle biogéochimique et de la biodisponibilité des métaux.

### 3.1.6 Fixation des métaux par les sédiments

Selon l'étude de (Cope, *et al.*, 1990) et (Parks, 1988) sur le niveau de contamination montre une bonne corrélation entre les teneurs en mercure dans les organismes et celles des sédiments.

## 3.2 Les facteurs intrinsèques

### 3.2.1 Age, poids ou taille des poissons

Pour une même espèce, les concentrations en polluants varient selon les individus, principalement en fonction de leur poids et de leur taille, donc de leur âge. Les poissons les plus âgés sont les plus contaminés. Nombreux auteurs (Heit, *et al.*, 1985) ont montré que les concentrations en mercure dans la chair des poissons sont corrélées avec la taille.

### 3.2.2 Sexe du poisson

Dans la plupart des études, femelle et mâle d'une même espèce contiennent des quantités métalliques relativement identiques. Cependant, des différences existent parfois et sont probablement liées à la période du début de la reproduction, car les femelles consomment plus de nourriture et accumulent des réserves adipeuses à cette période (Noppe, 1996)

### 3.2.3 Régime alimentaire

Les espèces accumulent différemment selon qu'ils sont prédateurs ou au bas de l'échelle (Kidwell, *et al.*, 1995). Le régime alimentaire est considéré comme un facteur important et présente une influence sur l'accumulation des métaux dans les différents organes des poissons et au niveau de la chaîne trophique.

# **Méthodologie, Résultats et interprétations**

## Méthodologie

### 1 Applications statistiques

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour le test statistique de différentes variables, on cite : ANOVA, MANOVA, ACP, analyse binaire

#### 1.1 Analyse binaire

Dans le but de pouvoir expliquer les relations entre les taux de bioaccumulation chez le pageot que les métaux peuvent avoir les uns par rapport aux autres en fonction des organes et par rapport à la composition biochimique, des corrélations entre ces différents variables sont réalisées, Pour cela, à partir de n couples de variable une droite de régression linéaire de la forme  $Y = a X + b$  est obtenue par la méthode des moindres carrés.

Les coefficients de corrélation (r) calculés, compris dans l'intervalle [-1, 1], permettent de vérifier l'existence ou non d'une relation (ou corrélation) entre les deux éléments considérées.

##### 1.1.1 Elaboration des matrices de corrélation

###### a) Mercure- composition biochimique

**Tableau 18** : variations du mercure et de composés biochimique en fonction d'organe

Métal Organe	Hg (ug/g)	Protéines %	Lipides %	Glucides %
<b>Chair</b>	1.125	14.96	9.08	3.12
<b>Foie</b>	0.256	14.31	8.90	5.55
<b>Gonade</b>	0.039	13.56	12.8	5.10

###### b) Zinc – composition biochimique

**Tableau 19** : variations du zinc et de composés biochimique en fonction d'organe

Métal Organe	Zn (ug/g)	Protéines %	Lipides %	Glucides %
<b>Chair</b>	34.29	14.96	9.08	3.12
<b>Foie</b>	118.20	14.31	8.90	5.55
<b>Gonade</b>	227.45	13.56	12.8	5.10

### c) Nickel – composition biochimique

**Tableau 20** : variations du nickel et de composés biochimique en fonction d'organe.

Métal Organe	Ni (ug/g)	Protéines %	Lipides %	Glucides %
<b>Chair</b>	12.14	14.96	9.08	3.12
<b>Foie</b>	14.50	14.31	8.90	5.55
<b>Gonade</b>	11.17	13.56	12.8	5.10

### d) Inter métaux

**Tableau 21** : variations inter métaux en fonction d'organe.

Métal Organe	Hg (ug/g)	Zn (ug/g)	Ni (ug/g)
<b>Chaire</b>	1.125	34.29	12.14
<b>Foie</b>	0.256	118.20	14.50
<b>Gonade</b>	0.039	227.45	11.17

## 2 Résultats et interprétations

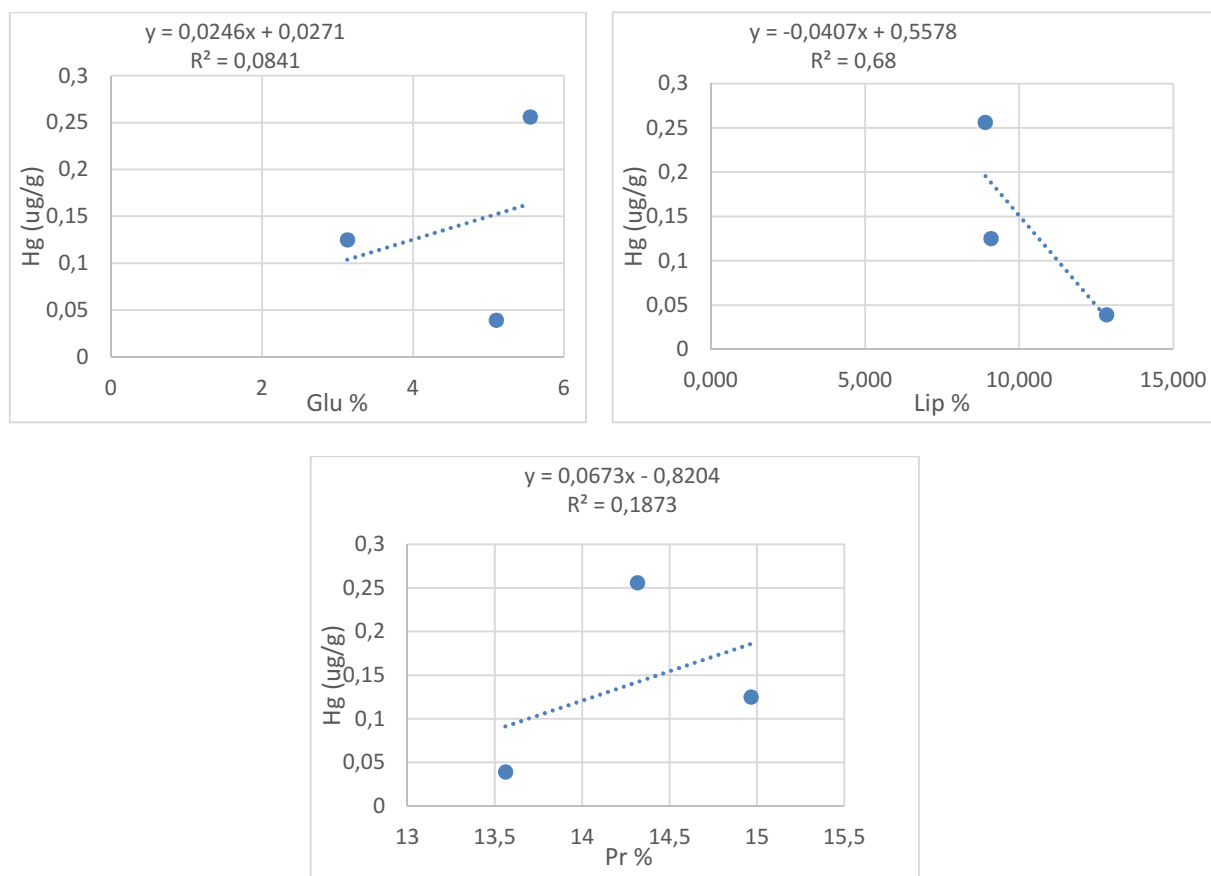
### 2.1 Corrélations métaux – composition biochimique

#### 2.1.1 Corrélation mercure- composition biochimique

**Tableau 22** : corrélation mercure – composition biochimique dans le pageot

variables	Hg (ug/g)	Protéines %	Lipides %	Glucides %
<b>Hg (ug/g)</b>	1	0.18	0.68	0.08
<b>Protéines %</b>	0.18	1	0.75	0.54
<b>Lipides %</b>	0.68	0.75	1	0.09
<b>Glucides %</b>	0.08	0.54	0.09	1

Les figures ci-dessous représentent les corrélations mercure-composition biochimique :



**Figure 2 :** corrélations mercure - composition biochimique.

Les résultats obtenus présentent deux corrélations significatives entre Hg-Lip et Lip-Pro.

Cela signifie que les concentrations en mercure sont proportionnelles au taux des lipides dans les différents organes de pageot. Il apparait aussi que les proportions en lipides et protéines dans les organes de pageot sont homogènes.

Les corrélations non significatives constatées entre les autres couples de mercure et de composés biochimiques laisseraient apparaitre que ces éléments évoluent indépendamment les uns par rapports aux autres.

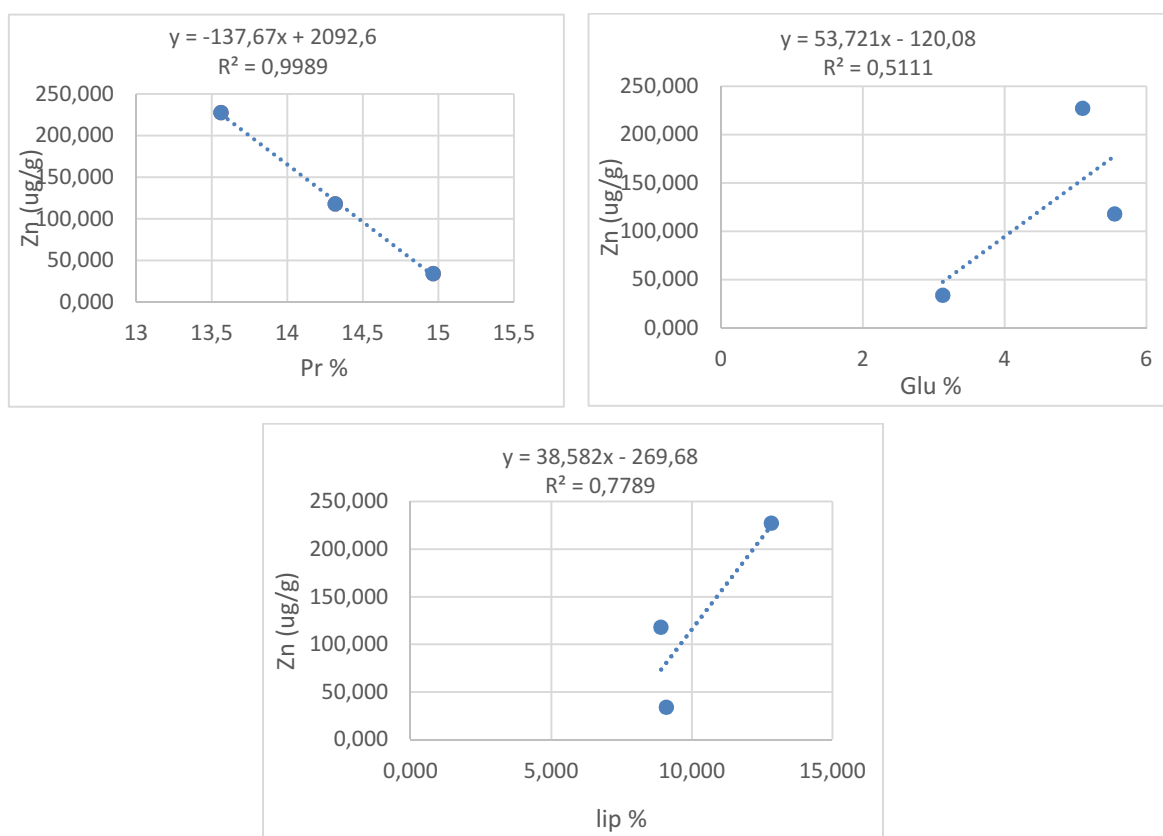
L'accumulation biochimique de nombreux composés organo-métalliques Dépend dans une très large mesure de leur nature polaire ou non polaire. L'affinité des alcoylmercures pour les lipides et les lipoprotéines Résulte du caractère apolaire de ces composés mercuriels. Des expérimentations réalisées par (Wood, 1975) Et ses collaborateurs tendent à montrer que le méthylmercure réagit, directement et indirectement par catalyse, sur des phospholipides importants dans la constitution des membranes des cellules nerveuses.

### 2.1.2 Corrélation zinc - composition biochimique

**Tableau 23** : corrélation zinc – composition biochimique dans le pagoet.

variables	Zn (ug/g)	Protéines %	Lipides %	Glucides %
Zn (ug/g)	1	0.99	0.77	0.51
Protéines %	0.99	1	0.75	0.54
Lipides %	0.77	0.75	1	0.09
Glucides %	0.51	0.54	0.09	1

Les figures ci-dessous représentent les corrélations mercure-composition biochimique :



**Figure 3** : corrélations mercure-composition biochimique.

Les résultats obtenus révèlent une bonne corrélation significative entre le taux des protéines et le zinc. Ce coefficient de corrélation important ( $r = 0.99$ ) signifie que la bioaccumulation du zinc a une relation étroite avec le taux des protéines.

Le zinc est indispensable au métabolisme des êtres vivant (oligo-élément), en particulier comme cofacteur (Asso, 1982).

Le zinc (Zn), fournit les cofacteurs essentiels pour de nombreuses métallothionéines et des enzymes. Ces métal n'est pas toxiques, excepté à des concentrations extrêmement élevées.

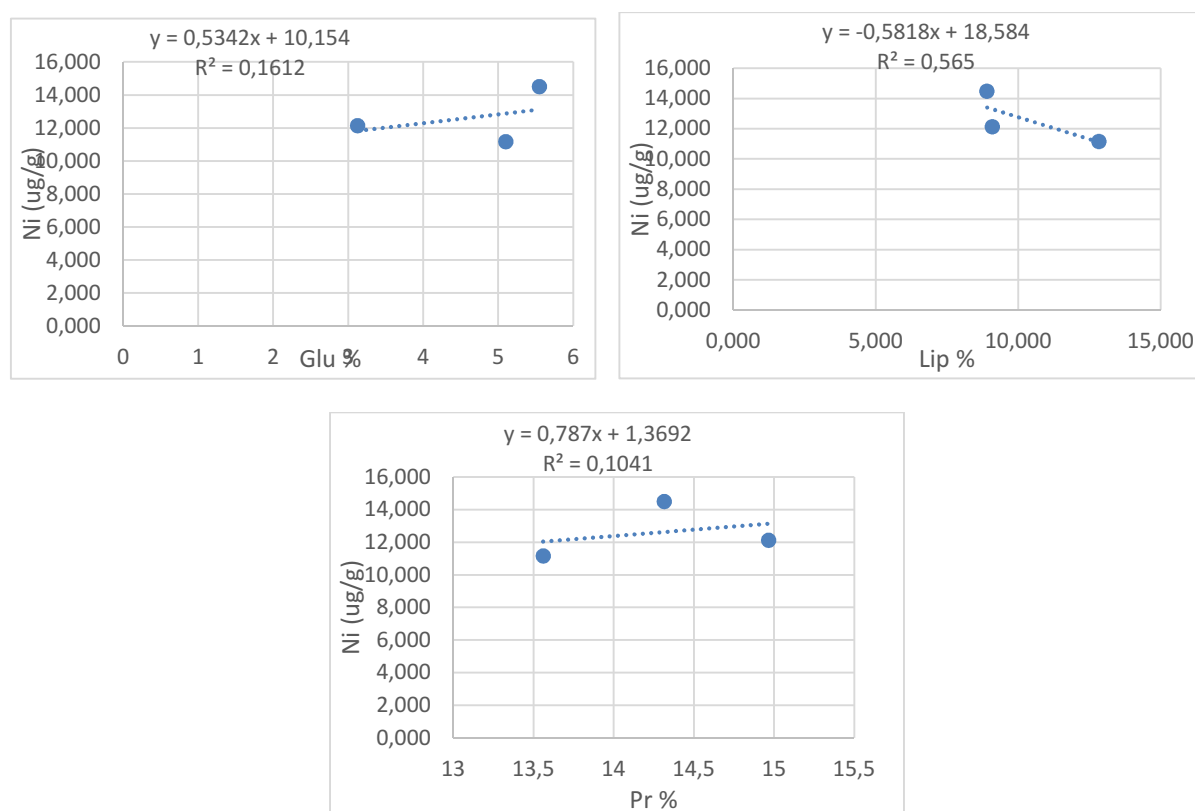
Le zinc peut être transféré des métallothionéines aux métalloenzymes (enzymes ou des ETM sont cofacteurs). Les métallothionéines pourraient donc servir de réservoir de zinc avant de le transférer aux structures moléculaires le requérant (Perez, et al., 2000).

### 2.1.3 Corrélation nickel - composition biochimique

**Tableau 24** : corrélation nickel – composition biochimique dans le pagoet

variables	Ni (ug/g)	Protéines %	Lipides %	Glucides %
<b>Ni (ug/g)</b>	1	0.10	0.56	0.16
<b>Protéines %</b>	0.10	1	0.75	0.54
<b>Lipides %</b>	0.56	0.75	1	0.09
<b>Glucides %</b>	0.16	0.54	0.09	1

Les figures ci-dessous représentent les corrélations mercure-composition biochimique :



**Figure 4** : corrélations nickel-composition biochimique.

Les résultats obtenus révèlent une seule corrélation significative (en raison du nombre restreint des échantillons) entre le couple Pr-Lip. Cela signifie que ces éléments évoluent dans le même sens.

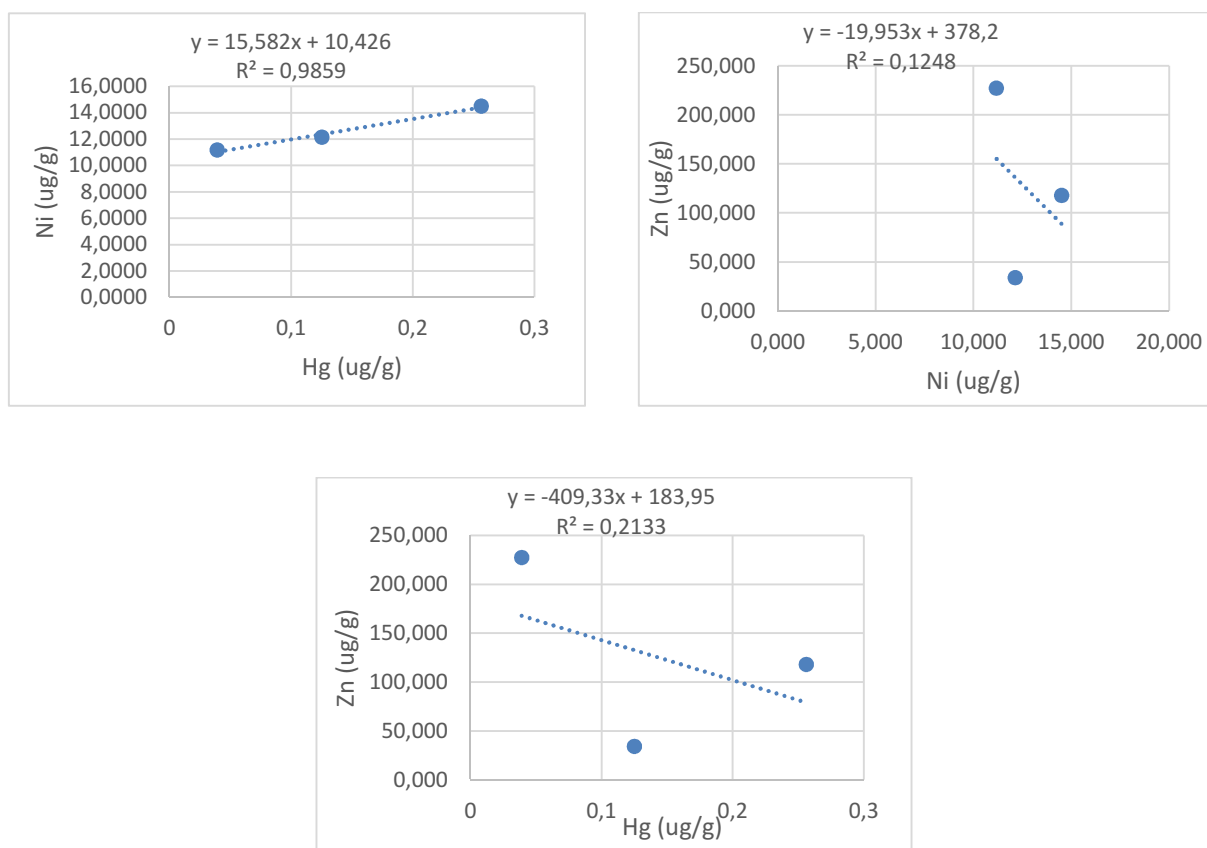
Les corrélations non significatives constatées entre les autres couples de nickel et de composés biochimiques laisseraient apparaître que ces éléments évoluent indépendamment les uns par rapports aux autres.

### 2.1.4 Inter métaux

**Tableau 25** : corrélation inter métaux dans le pageot

variables	Hg (ug/g)	Ni (ug/g)	Zn (ug/g)
<b>Hg (ug/g)</b>	1	0.98	0.21
<b>Ni (ug/g)</b>	0.98	1	0.12
<b>Zn (ug/g)</b>	0.21	0.12	1

Les figures ci-dessous représentent les corrélations inter métaux :



**Figure 5** : les corrélations inter métaux.

Les résultats obtenus révèlent une seule corrélation significative entre le couple Ni-Hg. Cela signifie que le pageot commun accumule ces deux métaux à des teneurs similaires et/ou leur répartition dans les différents processus physiologiques de ce poisson sont proportionnels

Les corrélations non significatives entre les couples d'éléments métalliques tels que Zn – Hg, et Zn-Ni impliqueraient que la bioaccumulation de ces métaux par le pageot se fait d'une manière différente, et ceci en fonction de l'importance de chaque élément dans les différents processus physiologiques

### 2.2 Comparaison des moyennes en métaux traces de *pagellus erythrinus* par rapport aux autres poissons (exprimées en ppm).

**Tableau 26 :** variations des concentrations moyennes en métaux traces (exprimées en ppm) bioaccumulés par différents poissons en méditerranée.

Espèce	Organe	Hg	Zn	Ni	Auteur
<i>Sardinella aurita</i> (golf de Tunis)	Foie	0.165	25.1	-	Ennouri (2008)
	Gonade	-	-	-	
	Chair	0.095	11.48	-	
<i>Sardina pilchardus</i> (Ghazaouet)	Foie	-	6.33	-	Bendahou (1993)
	Gonade	-	5.49	-	
	Chair	-	2.25	-	
<i>Trachurus trachurus</i> (Ghazaouet)	Foie	-	8.87	-	
	Gonade	-	5.91	-	
	Chair	-	1.63	-	
<i>Pagellus erythrinus</i> (Côtes algériennes)	Foie	0.256	118.20	14.51	Présente étude (2014)
	Gonade	0.039	227.45	11.17	
	Chair	0.125	34.29	12.14	

L'étude comparative entre les concentrations moyennes en métaux traces (exprimées en ppm) bioaccumulés par différents poissons regroupés dans le tableau en dessous indique qu'il existe des différences de concentration entre les métaux étudiés accumulés par les poissons de différentes familles.

En ce qui concerne le mercure, la concentration est plus faible par rapport aux deux autres métaux (Ni et Zn), sachant que le mercure est un métal toxique, donc, ses valeurs soient toujours inférieures aux deux métaux considérés comme des oligo-éléments.

Les valeurs du mercure sont assez similaires entre les deux poissons *Sardinella aurita* et *Pagellus erythrinus*.

Le pageot commun (*pagellus erythrinus*) accumule des concentrations élevées en zinc comparant aux autres poissons.

Les gonades sont les organes bioaccumulant des concentrations importantes en zinc par rapport aux autres organes (foie et muscle) pour les trois poissons, tandis que les concentrations de mercure et de nickel dans les trois organes suivent à un ordre décroissant :

**Foie gonade chair**

# **Conclusion**

### Conclusion

Par la présente étude portée sur la mise en évidence de l'influence de la composition biochimique (taux des protéines, lipides et glucides) sur la bioaccumulation des métaux traces (zinc, mercure et nickel) par le pageot commun *pagellus erythrinus*, pêché dans différentes baies de la côte algérienne, et via le calcul des coefficients de corrélation entre l'ensemble des variables, les conclusions suivantes sont énoncés :

la corrélation inter métaux montre que le pageot commun bioaccumule les deux métaux nickel et mercure d'une façon similaire. Les autres métaux se bioaccumulent indépendamment les uns par rapport aux autres.

La corrélation métaux-composition biochimique montre que la bioaccumulation de zinc à une relation étroite avec le taux des protéines dans les organes de pageot, car le zinc est indispensable au métabolisme des êtres vivant.

Les autres couples métaux-composition biochimique ont des corrélations non significatives, et cela selon l'importance de chaque élément dans les processus physiologique du pageot commun.

L'étude comparative des variations des concentrations en éléments traces dans les trois organes du pageot commun et les autres poissons montre que :

Parmi les métaux étudiés, le zinc se détache nettement des deux autres éléments (Ni et Hg) à des teneurs très importantes. Les concentrations suivent un ordre décroissant :

**Zn Ni Hg**

Ce metal (zinc) montre des concentrations élevées dans le pageot par rapport aux autres poissons.

Les résultats révèlent une bioaccumulation plus accentuée des trois métaux dans le foie et les gonades par rapport au muscle.

Il serait toutefois souhaitable d'élargir ce travail et de l'enrichir par d'autres études complémentaires concernant le rôle des métaux traces dans les différents processus physiologiques des espèces marines et ceci afin de mieux expliquer les relations existants entre les teneurs en métaux traces essentiels et toxiques et la composition biochimique.

# **Références bibliographiques**

### Références bibliographiques

**A.I.E.A. (1998).** *Programme préliminaire pour MED POL sur l'analyse des métaux traces dans les échantillons biologiques et les sédiments.* Monaco : IAEA-MEL, Laboratoire sur l'Etude de l'Environnement Marin. p. 53.

**A.I.E.A. (2001).** *Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples.* s.l. : Laboratory Procedure Book. p. 45.

**AOUDJIT, N. (2001).** *la contribution à l'étude de quelques paramètres de la reproduction de la bogue Boops boops et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (Zn, Fe, Ni, Cu, Pb) dans la baie d'Oran.* Thèse de magister.

**AYAD, F. (2010).** *Evaluation de la pollution métallique par trois métaux lourds (Cd, Pb, Zn) dans les organes (Foie, gonade et muscle) chez le Sar Diplodus sargus (linné, 1758) pêché dans les baies de Béni Saf et d'Oran.* Thèse Magister, Université d'Oran : p 136.

**AMIARD, J.C., AMIARD-TRIQUET J, C et METAYER, C. (1987).** *Application de la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique Zeeman au dosage de 8 éléments traces (Hg, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se) dans les matières biologiques solides.* pp. 693-697.

**ASSO, (1982).** *Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule Perna (L), dans la région d'Alger.* s.l. : Université d'Aix-Marseille II. p. 138, Mémoire de Magister en Océanologie Biologique.

**AZOUZ, G. (1974).** *Les fonds chalutables de la région nord de la Tunisie. Les potentialités de pêche, écologie et répartition bathymétrique des poissons.* s.l. : Bull Inst. Océanogr. Pêche. Salammbô. p. 94.

**BELHOUCINE, F. (2012).** *L'étude de la biologie de la croissance et de la reproduction d'un poisson téléostéen le marlu (Merluccius merluccius L., 1758) et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (Zinc, Plomb et Cadmium) dans la baie d'Oran.* Doctorat, Université d'Oran : p 275.

**BENADDA, H. (2009).** *L'évaluation de la pollution marine par trois métaux lourds (Cadmium, Plomb, Zinc) sur un Poisson pélagique : la Saurel, Trachurus trachurus (Linné, 1758) pêchée dans la baie d'Oran.* Thèse Magister, Université d'Oran Es-Senia: p 82.

**BENAMAR, N. (2010).** *L'étude de la biologie, de l'exploitation et de la contamination par les métaux lourds (cadmium, plomb et zinc) de la sardinelle ronde Sardinella aurita (Valenciennes, 1847) pêchée dans la baie d'Oran.* Doctorat, Université d'Oran : p 153.

## Références bibliographiques

---

**BENDAHOU, M. (1993).** *Les teneurs en métaux traces (Zn, Cu, et Cd) dans différents organes de Sardina pilchardus et Trachurus trachurus pêchées à Ghazaouet.* Thèse de magister.

**BENGUEDDA RAHAL, W. (1993).** *La contribution à l'étude de quelques polluants métalliques chez la moule Perna parna (L) et le rouget de roche Mullus surmuletus (L) dans la partie occidentale du golfe d'Arzew.* Thèse de doctorat. p 200.

**BENSAHLA, T. (2001).** *La contribution à l'étude des caractères biologiques du rouget (Mullus barbarus) du golfe d'Oran et sa contamination par les métaux lourds.* Thèse de magister. Université d'Oran. p 156.

**BORSALI, S. (2006).** *La contamination du Rouget de roche (Mullus surmuletus, L., 1758) dans les organes (foie, muscle et gonade) par trois métaux lourds (Cd, Pb et Zn), pêché dans la baie d'Oran.* Thèse de magister. Université d'Oran. p 197.

**BOUHADIBA CHENAIT, S. (2010).** *Evaluation des concentrations des quatre métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn) chez le mullet mugil cephalus (linné 1758) pêché dans les baies d'Oran et de Béni Saf.* Thèse de magister. Université d'Oran. p 144.

**BEI, CATSIKI, V. A. et STROGGYLOUDI, E. (1998).** *Seasonal and spatial variations of Cu, Cr, Ni and Pb concentrations in Mytilus galloprovincialis of Saranikos Gulf, Greece.* Rapports de la Commission Internationale pour l'Exploitation Scientifique de la Mer Méditerranée.

**BENAMAR, N. (2006).** *évaluation de la pollution marine par trois éléments en trace métalliques (Pb, Cd, Zn) sur un poisson pélagique : l'allache sardinella aurita (Valencienne, 1847) pêchés dans la baie d'Oran.* s.l. : Université d'Oran . p. 97, Mémoire de Magister .

**BRUNGS, J.R, GECKLER et CAST, M. (1976).** *Acute and chronic toxicity of copper to the fathead minnow in a surface water of variable quality, water res.* pp. 37 -43.

**CALMANO, J, HONG et U, FÖRSTNER. (1993).** *Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential.* p. 235, Water Science and Technology.

**CHARLOU et JOANNY, M. (1983).** *Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in Aminot, A., Chaussepied, M. (Ed) : Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* pp. 285-295.

**COPE, WIENER et RABA. (1990).** *mercure accumulation in Yellow perch in Wisconsin Seepage Lakes: relation to lake characteristics.* p. 940.

## Références bibliographiques

---

**COSSA et RONDEAU, J. G. (1985).** *Seasonal, geographical and size-induced variability in mercury content of Mytilus edulis in an estuarine environment: a reassessment of mercury pollution level in the estuary and gulf of St Laurent.* p. 88.

**COSSA, D. (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.* s.l. : Université du Québec. Rapport INRS Oceanologie . NSI-43600.

**DEVALLOIS, VALERIE. (2009).** *transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydro systèmes continentaux.* s.l. : Université de Provence. Thèse de doctorat. p. 262

**FEKHAOUI, S. (1983).** *toxico cinétique de trois polluants métallique majeurs chez la truite arc-en-ciel (Salmo gaidneri), le chrome le cuivre et le zinc.* s.l. : université de Claude Bernard - Lyon. p. 125, thèse de troisième cycle.

**FÖRSTNER, et AL. (1986).** *Mobility of heavy metals in degraded harbour sediments. In Sediments and Water interactions, Sly-Peter-Ged.* Springer-Verlag New York : s.n. p. 380.

**HABI, F. (2010).** *Etude de la Métallo-résistance et de l'Halo-tolérance des Entérobactéries Isolées des Eaux de Surface de la Région de Sétif.* Sétif : Université "Ferhat ABBAS". p. 156, Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat d'état .

**HARTE, et AL. (1991).** *Toxics A to Z, A Guide to Everyday Pollution Hazards.* s.l. : University of California Press, Oxford, England. p. 478.

**HEIT et KLUSEK. (1985).** *trace element concentration in the dorsal muscle of white and brown bullheads from two acidic adirondacks lakes.* p. 96.

**KAIMOUSSI, et AL. (2000).** *Seasonal variation of metal concentration (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel Mytilus galloprovincialis from El Jadida coastline (Morocco).* p. 85.

**KHATI, et AL. (2008).** *variation saisonnière des métaux et leurs effets sur les mécanismes de défense chez une espèce sentinelle, la moule Perna perna récoltée au niveau de la Seybouse (Algérie).* Alger : ISMAL. Congrès international « Impacts anthropiques sur le milieu marin .

**KIDWELL, PHILLIPS et BIRCHARD. (1995).** *Comparative analysis of contaminant levels in bottom feeding and predatory fish using the national contaminant biomonitoring program data.* p. 923.

- LEE, KRUSE, H et WASSERMANN, O. (1996).** *Seasonal fluctuation of organochlorines in Mytilus edulis L. from the South West Baltic Sea.* p. 1895.
- MAJORI, et AL. (1978).** *Study of seasonal variations of some trace elements in the tissue of Mytilus galloprovincialis taken in the gulf of trieste.* pp. 37-40, Revue. Int. Oceanogr. méd.
- MENNAD,M. (2008).** *Approche des systèmes d'information géographique(SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtières Application à la baie d'Alger.* s.l. : USTHB. Mémoire de magister .p. 86
- MORTET,H. (1989).** *Contribution à l'étude du cycle sexuel et de la fécondité des sardinelles Sardinella auritadans la baie d'Oran.* s.l. : université d'Oran. p. 80.
- NOPPE, KARINE. (1996).** *Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons.* France : Université Pierre et Marie Curie - Paris VI. p. 92.
- ORBAN, et AL. (2002).** *Seasonal changes in meat content, condition index and chemical composition of mussels (Mytilus galloprovincialis) cultured in two different Italian sites..* p. 77.
- PARKS. (1988).** *selected ecosystem relationships in the mercury contaminated Wabigoon-English-River System Canada and their undedying causes.* p. 279.
- PEREZ, et AL. (2000).** *Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin.* s.l. : Système d'évaluation de la Qualité des Milieux littoraux – Volet biologique. Rapport Agences de l'Eau, 4 fascicules. p. 642
- PEREZ, SARTORETTO et SOLTAN D. (2000).** *Etude bibliographique sur les bioindicateurs de l'état du milieu marin. Système d'évaluation de la Qualité des Milieux littoraux – Volet biologique.* s.l. : Rapport Agences de l'Eau, 4 fascicules. p. 642.
- SCHUURMANN et MARKERT B. (1998).** *Ecotoxicology, Ecological Fundamentals, Chemical Exposure, and Biological Effects.* p. 900.
- TBALKA et C.W, GERHS. (1977).** *In observation of the toxicity hexavalent chromium to daphnia magma.*
- WOOD. (1975).** *Biological cycles for elements in the environment.* p. 357.
- WRIGHT ET MASON, C.F. (1999).** *Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of two adjacent estuaries, the Orwell and the Stour ,in eastern England.* s.l. : The Science of the Total Environment . p. 226.