

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



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN SCIENCES
DE LA MER

OPTION : Environnement

Thème :

*Bioaccumulation des métaux traces chez le rouget
de vase (Mullus barbatus Linnaeus, 1758) de la
côte algérienne : influence de la composition
biochimique*

Présenté par :

M. AMEZELEL Nassim

Soutenu le 05/11/2014 devant le jury suivant :

Mr R. BELKESSA	Professeur (ENSSMAL)	Président du jury
Mr A. INAL	Attaché de recherche (CNRDPA)	Promoteur
Mr M. BOULAHIDID	Professeur (ENSSMAL)	Co-promoteur
Mr S. BACHOUCHE	Attaché de recherche (CNRDPA)	Examineur
Mme L. BENTCHIKOU	Maitre-assistant (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2014

Remerciements

En premier lieu, je souhaiterais adresser mes remerciements aux personnes ayant contribué de près ou de loin, à leur manière et à des degrés différents, à l'élaboration et à l'accomplissement de ce mémoire, Il s'agit pour moi, d'un devoir spontané de reconnaissance et de gratitude, envers toutes les personnes sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas pu prendre forme, Ce travail est aussi le leur.

Je suis très reconnaissant à messieurs BOULAHID et INAL d'avoir proposé un sujet intéressant et pertinent et de m'avoir permis d'apporter ma modeste contribution à un sujet si sensible, ainsi que d'avoir accepté de diriger ce travail malgré ses multiples occupations.

Je tiens à remercier Mr. BELKESSA de m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect. Un grand merci également à Mme BENTCHIKOU et Mr. BACHOUCHE qui ont bien voulu faire partie du jury et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail par leurs commentaires constructifs, leurs bon sens et leur expérience.

Le présent travail est le fruit des efforts conjugués de tant de personnes à qui je voudrais exprimer mes plus vifs remerciements :

Je voudrai d'abord témoigner ma reconnaissance à mes parents, La réalisation de ce mémoire n'aurait pas été possible sans leur soutien moral et affectif. Je les remercie de m'avoir donné un environnement familial et matériel idéal, de m'avoir enseigné les valeurs essentielles de la vie (humilité, honnêteté, passion et rigueur). Merci d'avoir su me comprendre et me diriger dans les moments les plus difficiles, de m'avoir toujours fait confiance et de m'avoir comblée de votre tendresse.

Pour finir, je prie le seigneur Dieu pour que mes aptitudes et mes travaux futurs puissent servir mon Pays et le rendre toujours meilleur.

Liste des figures

Figure 1 : Evaluation mensuelle (mai à octobre) des concentrations moyenne en Cd au niveau du muscle et du foie chez <i>Sardinella aurita</i> (mg/kg p.f.)	18
Figure 2 : figure illustrant la diversité des facteurs écologiques (abiotiques et biotiques) et des caractéristiques de la contamination, à leurs variations et à leurs interactions dans l'espace et le temps.	24
Figure 3 : corrélation entre les teneurs en mercure et pourcentage des protéines.	28
Figure 4 : Corrélation entre les teneurs en zinc et le pourcentage des protéines	29
Figure 5 : Corrélation entre les teneurs en nickel et le pourcentage en glucide	30
Figure 6 : Corrélation entre les teneurs en zinc et celle du nickel	30

Liste des tableaux

Tableau 1: les travaux réalisés sur l'utilisation du rouget de vase et autres poissons comme bioindicateurs de la contamination métallique, en Méditerranée.....	10
Tableau 2 : Composition en éléments minéraux et en métaux lourds des espèces étudiées (teneur en mg/100g de chair de poisson frais).....	11
Tableau 3: Concentrations des métaux traces chez la Sardinelle et le Zooplancton en µg/g exprimées en poids frais.	14
Tableau 4: Teneurs des métaux lourds analysées dans les muscles de poisson étudiés (en mg/kg du poids frais).	15
Tableau 5 : évaluation spatiale des teneurs en Hg, Zn, Cu, Ni dans la chaire, foie et gonades du rouget de vase.	19
Tableau 6 : Mercure- composition biochimique.....	26
Tableau 7: Zinc – composition biochimique	26
Tableau 8 : Cuivre - composition biochimique	26
Tableau 9 : Nickel - composition biochimique	27
Tableau 10 : Corrélation inter métaux	27
Tableau 11: Corrélation mercure - composition biochimique.....	27
Tableau 12 : Corrélation zinc - composition biochimique	28
Tableau 13 : Corrélation nickel - composition biochimique	29
Tableau 14 : Corrélation inter-métaux.....	30

Sommaire

Remerciements.....	2
Liste des figures	3
Liste des tableaux	5
Sommaire	6
Introduction	8
Chapitre I : Bioaccumulation des métaux.....	10
Partie I : Aperçu sur quelques travaux réalisés sur l'utilisation du rouget de vase et autres poissons comme bioindicateurs de la contamination métallique :.....	10
1. Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des poissons du littoral méditerranéen par les métaux traces :	11
I.1 Aida Koubaa, 2010.....	11
1.2 Rym ENNOURI et al, 2008 :	12
1.3 Mohamed EL MORHIT, 2007	15
1.4 Nardjess Benamar, 2010.....	16
1.5 Amezelel N, 2014.....	18
Partie II : Facteurs affectant la bioaccumulation des métaux : transferts et biotransformation Endogène.....	20
1. Caractéristiques physico-chimiques du contaminant : spéciation et biodisponibilité	21
2. Facteurs biotiques.....	21
3. Facteurs de nutrition (ingestion, excrétion)	21
4. Concentration métallique : quantité métallique et poids du bioindicateur	22
5. Cycle de vie de l'organisme	22
6. Composition biochimique et conditions physiologiques.....	23
II Méthodologie.....	26
II.1 Applications statistiques	26
II.1.1 Analyse binaire	26
II.2 Résultats et interprétations	27
II.2.1 Corrélations métaux – composition biochimique	27
Conclusion.....	33
Bibliographie.....	35

Introduction

Introduction

La Méditerranée couvre une aire de plus de 3 millions de Km², elle constitue une mer presque fermée, le renouvellement de ses eaux en provenance de l'Atlantique est d'environ un siècle. Du fait de son grand volume d'eau, elle présente une grande capacité d'absorber la pollution, cependant les grandes quantités de résidus déversés ne peuvent pas être assimilées dans les zones côtières.

Les milieux marins en Afrique du Nord recèlent d'importantes ressources biologiques qui conservent encore un important pouvoir de Régénération même si l'état est critique en Méditerranée. (UNPEP, 2005)

Malgré sa grande biodiversité, ce milieu marin est menacé par plusieurs sources de pollution et de dégradation tels que l'urbanisation, le tourisme, les transports maritimes, les activités industrielles et agricoles et enfin la pêche.

La comparaison des taux de métaux lourds dans des animaux marins en provenance de différentes régions, peut rendre compte de l'effet de la proximité des sites étudiés par rapport à des points de rejets industriels spécifiques. De ce fait, des travaux de recherche sur la bioaccumulation des métaux traces dans les poissons ont été réalisés sous différents thèmes, pour le suivi de la qualité du milieu marin dans le littoral méditerranéen. Donc les travaux synthétisés ne concernent que les teneurs des métaux traces dans les poissons de pêche.

Pour comprendre suffisamment les processus d'écotoxicologie, comme la bioaccumulation dans les biotes on accompagne souvent d'autres études de spéciation, effets sur la physiologie de l'espèce bioindicatrice, études de la biochimie, l'interaction polluant-barrière biologique...etc.

Dans notre cas on y s'intéressé à l'étude biochimique dont le manuscrit est comme suit :

Dans le premier chapitre on s'est focalisé sur l'assemblage des études faites sur le sujet de la bioaccumulation chez les poissons dans des différentes régions (locale, régionale, et internationale) dans la première partie, tandis que dans la deuxième partie est consacré aux différents phénomènes qui pourrait influencer sur la bioaccumulation des métaux traces chez les biotes.

Le deuxième chapitre révèle à l'analyse binaire entre les composés biochimiques (glucides, lipides et protéines) dans la chair, et foie et les gonades du rouget de vase et les teneurs en métaux traces (Hg, Zn, Cu, Ni) au niveau des mêmes organes ; la corrélation entre les teneurs en métaux-composition biochimique du rouget de vase, dans la première partie. La deuxième partie est une comparaison des teneurs en métaux retrouvé avec ceux d'autres régions locales et régionales.

On termine par une petite conclusion et quelques recommandations.

Chapitre I

Bioaccumulation des métaux

Chapitre I : Bioaccumulation des métaux

Partie I : Aperçu sur quelques travaux réalisés sur l'utilisation du rouget de vase et autres poissons comme bioindicateurs de la contamination métallique :

Pour voir l'importance qu'a cette espèce dans l'étude du milieu marin et l'importance que la recherche sur l'environnement marin donne aux espèces marines (les poissons), on donne un petit aperçu sur les travaux effectués sur le Merlu et quelques autres poissons, dans la côte algérienne et même en méditerranée, leur buts et les résultats obtenus en ajoutant notre contribution dans ce même cadre d'étude, ces derniers sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: les travaux réalisés sur l'utilisation du rouget de vase et autres poissons comme bioindicateurs de la contamination métallique, en Méditerranée.

Zone d'étude	Les métaux analysés	Espèces	Référence
Croatie (mer adriatique)	Pb, Cd	<i>M. barbatus</i> <i>M. merluccius</i>	Kljakovic Gašpic et al, 2002
Maroc (côte d'atlantique nord)	Zn, Cu, Cr, Pb, Cd et Fe	Pageot, Sardine, Sargho Mulet, Barbeau	Mohamed EL Morhit, 2007
Tunis (golf de Tunis)	Cd, Pb, Hg et Zn	Sardinelle (<i>Sardinella aurita</i>)	Rym Ennouri et al, 2008
Algérie (baie d'Oran)	Cd	<i>Sardinella aurita</i>	Nardjess Benamar, 2010
Tunisie (Gabès)	Ca, Na, K, Mg, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb	rouget de vase, rouget de roche, marbré et pageot	Aida Koubaa, 2010
Maroc (côte Atlantique sud)	Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb et Zn	<i>Pagellus acarne</i> , <i>Sardina pilchardus</i> , <i>Diplodus vulgaris</i>	EL Morhit M, 2013
Algérie (cote centre ouest)	Hg, Zn, Cu, Ni	<i>Mullus barbatus</i>	Amzelel N, 2014

1. Synthèse des travaux réalisés sur la contamination des poissons du littoral méditerranéen par les métaux traces :

I.1 Aida Koubaa, 2010

Le thème de ce travail porte : variation saisonnière des teneurs en éléments minéraux et en métaux lourds de quatre espèces de poissons du golfe de Gabès.

Dans le cadre de ce rapport qui s'intègre dans la commission interrégional de la mer méditerranée, Plusieurs espèces commerciales et comestibles ont été largement étudiées afin de déterminer leurs teneurs en éléments minéraux et en métaux lourds.

L'objectif de cette étude est de déterminer la variation saisonnière des teneurs en éléments minéraux et en métaux lourds du rouget de vase (*Mullus barbatus*), rouget de roche (*Mullus surmuletus*), marbré (*Lithognatus mormyrus*) et pageot (*Pagellus erythrinus*) du golfe de Gabès.

Matériel et méthodes

- Les teneurs en éléments minéraux et en métaux lourds ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique (type Hitachi Z 6100).
- L'échantillonnage des poissons a été réalisé durant l'année 2007-2008 par le chalut du golfe de Gabès. Au laboratoire
- Les échantillons de poisson frais ont été pesés puis éviscérés
- Après éviscération, la chair des mâles et des femelles est analysée séparément
- Les échantillons frais ont été déshydratés dans une étuve réglée à une température de 105°C jusqu'à poids constant
- L'extrait sec obtenu a été calciné dans un four à moufle à 550 - 600°C pendant 3 heures

Résultats

Tableau 2 : Composition en éléments minéraux et en métaux lourds des espèces étudiées (teneur en mg/100g de chair de poisson frais)

	Rouget de vase		Rouget de roche		Marbré		Pageot	
	Avril ± 0,001	Juillet ±0,001	Avril ±0,002	Juillet ±0,002	Avril ±0,003	Juillet ±0,003	Avril ±0,001	Juillet ±0,002
Ca	64,342	45,142	63,777	44,111	97,518	45,155	102,987	59,915
Na	126,146	179,788	150,499	132,403	131,464	118,129	105,154	126,615

Bioaccumulation des métaux

K	269,989	224,966	290,223	149,479	309,446	212,265	250,256	217,621
Mg	44,402	68,065	47,351	80,348	50,163	65,364	46,544	57,398
Fe	17,574	22,628	19,908	22,618	16,122	19,308	16,576	19,823
Zn	0,498	0,678	0,508	0,615	1,283	1,622	0,548	0,837
Cu	0,096	0,258	0,113	0,312	0,095	0,646	0,110	0,353
Cd	<0,014	<0,040	<0,016	<0,038	<0,013	<0,035	<0,014	<0,034
Pb	<0,033	<0,075	<0,038	<0,073	<0,024	<0,068	<0,031	<0,065

Une analyse de variance et une analyse en composante principale ont été appliquées pour étudier l'effet des facteurs (saison, espèce et sexe) sur les concentrations en éléments minéraux et les répartirent en différents groupes à l'aide du logiciel SPSS (15.0) (Statistical Package for Social Sciences)

Les valeurs minimales de Ca et K ont été obtenues en été, alors que pour les autres éléments minéraux (Na, Mg, Fer et Zn) et les métaux lourds (Cu, Cd et Pb), les teneurs maximales sont obtenues en été. L'analyse de variance montre que les éléments minéraux et les métaux lourds (potassium, calcium, magnésium, fer et cuivre) diffèrent significativement d'une saison à une autre pour les quatre espèces et sexe confondues ($p < 0,05$). L'ANOVA de l'analyse des deux saisons ensemble, révèle que seul le zinc (Zn) varie significativement ($p < 0,05$) selon les quatre espèces étudiées. Le sexe n'a pas d'effet significatif ($p > 0,05$).

Sur tous les échantillons analysés, pour la saison de printemps, les espèces influent seulement sur les teneurs en Ca, K, Fer et Zn ($p < 0,05$). En été les concentrations en Ca, Na et Zn diffèrent significativement selon les espèces ($p < 0,05$). Cette dernière constatation est bien confirmée par l'Analyse en Composantes Principales (ACP). En effet, le calcium, le sodium, le zinc, le magnésium, le fer et le cuivre définissent l'axe 1 qui représente 47,38 % de la variance totale. La variable potassium détermine l'axe 2 qui représente 23,43 % de la contribution totale qui est 70,818 %.

1.2 Rym ENNOURI et al, 2008 :

Sous thème Evaluation 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

Cette étude rentre dans le programme de biosurveillance dans les milieux marins qui a pour but de déterminer l'organotropisme de quatre métaux traces (Cd, Pb, Hg et Zn) ainsi que leurs concentrations dans le zooplancton et dans trois organes (muscle, foie et branchies) de la sardinelle (*Sardinella aurita*) provenant du golfe de Tunis.

Bioaccumulation des métaux

Le golfe de Tunis constitue une des régions les plus productives de poissons pélagiques en Tunisie. Cependant, il est sujet à des agressions anthropiques dues aux rejets d'eaux usées en provenance des agglomérations et des zones industrielles.

Le choix de la sardinelle, espèce pélagique côtière planctophage rencontrée près de la surface, est l'espèce la plus fréquente dans les produits de la pêche côtière en Tunisie et aussi la plus largement distribuée dans les zones tropicales de tous les océans. Elle constitue une ressource de grand intérêt tant sur le plan alimentaire (poisson le plus consommé par l'homme).

Matériel et méthodes

- La collecte des échantillons du zooplancton a été réalisée à l'aide d'un filet à plancton « Bango » à bord du navire de recherche « N/O Hannibal » de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer.
- Les échantillons de *Sardinella aurita* ont été prélevés à partir des sardiniers au moyen d'une senne tournante, ceci pour les saisons, hivernale et estivale de l'année 2006.
- Tous les échantillons collectés ont été stockés à -20°C.
- Au laboratoire, les poissons (n=60) ont été disséqués afin de prélever le foie, les branchies et le muscle dorsal de chaque individu.
- L'identification du zooplancton a été réalisée à la loupe binoculaire pour déterminer l'espèce la plus abondante.
- Après homogénéisation, tous les échantillons biologiques ont été lyophilisés afin d'éliminer l'eau et arrêter toute transformation chimique. Les lyophilisats ont été broyés et minéralisés par ajout de 5 ml d'acide nitrique et par micro-onde (ETHOS, T).
- Le dosage du Cd et du Pb a été effectué par Spectrophotomètre d'Absorption Atomique Electrothermique (SAAE) en utilisant un four à graphite et un correcteur de fond continu à effet Zeeman (Varian 220Z). Pour l'Hg le dosage a été réalisé par SAA à vapeur froide (VGA 76). Enfin le Zn a été analysé par SAA à flamme.
- Pour chaque série d'échantillons un blanc de digestion et un échantillon de référence (IAEA, 407) de concentration connue ont été analysés et ceci pour assurer le contrôle qualité des résultats.

Bioaccumulation des métaux

Résultats

Tableau 3: Concentrations des métaux traces chez la Sardinelle et le Zooplancton en $\mu\text{g/g}$ exprimées en poids frais.

	Cd	Pb	Hg	Zn
<i>Sardinella aurita</i> (été)				
Branchie	$0,020 \pm 0,005$	$0,7 \pm 0,05$	$0,37 \pm 0,09$	$55,9 \pm 0,9$
Foie	$0,090 \pm 0,009$	$0,19 \pm 0,08$	$0,20 \pm 0,05$	$24,2 \pm 0,3$
Muscle	$0,017 \pm 0,003$	$0,15 \pm 0,05$	$0,1 \pm 0,05$	$10,96 \pm 0,8$
<i>Sardinella aurita</i> (hiver)	$0,020 \pm 0,007$	$0,72 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,06$	$52,0 \pm 0,6$
Branchie	$0,10 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,07$	$0,13 \pm 0,06$	$26,0 \pm 0,8$
Foie	$0,018 \pm 0,005$	$0,1 \pm 0,08$	$0,09 \pm 0,007$	$12 \pm 0,65$
Muscle				
Zooplancton (été)	$0,010 \pm 0,006$	$0,10 \pm 0,06$	$0,020 \pm 0,006$	$4,9 \pm 0,5$
Zooplancton (hiver)	$0,010 \pm 0,004$	$0,12 \pm 0,04$	$0,026 \pm 0,008$	$5,0 \pm 0,1$

D'après nos résultats les variations saisonnières ne sont pas significatives des concentrations des quatre métaux étudiés chez le zooplancton comme chez la sardinelle, pour cela on considère que la moyenne des concentrations trouvées dans les échantillons

En comparant les concentrations métalliques dans tous les organes confondus de la sardinelle avec celles trouvées, dans le zooplancton, on remarque que celles-ci sont nettement supérieures, pour les quatre éléments chez la sardinelle, Ceci est dû à la bioamplification de ces éléments dans la sardinelle qui occupe un niveau trophique élevé de la chaîne alimentaire marine.

Pour le Pb, l'Hg et le Zn, les teneurs les plus élevées ont été enregistrées dans les branchies de la sardinelle, alors que le Cd est concentré davantage au niveau du foie.

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.

1.3 Mohamed EL MORHIT, 2007

Le theme de ce travail: Metallic contamination in muscle of five fish species from loukkos river estuary the Atlantic coast in Morocco.

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la pollution métallique (Zn, Cu, Cr, Pb, Cd et Fe) dans les muscles de cinq espèces de poissons *Liza ramada*, *Barbus callensis* ont été prélevés de l'estuaire du bas Loukkos et *Pagellus acarne*, *Sardina pilchardus* et *Diplodus vulgaris* de la côte d'atlantique nord.

Méthode d'étude

- Les échantillons des poissons ont été prélevés par des méthodes standard utilisées en ichthyologie (la longueur standard et le poids ont été mesurés par des balances)
- Les échantillons des muscles de poisson ont été obtenus à partir du corps de poissons dans la partie dorsale, sans peau et os.
- Les prélèvements des échantillons de muscle ont été conservés à -18°C
- Pour l'analyse, deux
- grammes de chaque échantillon de muscle ont été dissous dans une solution de l'acide nitrique ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 2 : 1$) à 130°C pour 2 heures.
- Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre PERKIN ELMER

Résultats

Tableau 4: Teneurs des métaux lourds analysées dans les muscles de poisson étudiés (en mg/kg du poids frais).

		Pageot	Sardine	Sargho	Mulet	Barbeau
Zn	M	24,10	37,27	34,67	23,27	25,16
	E	12,78	22,73	8,58	14,05	12,51
Cu	M	17,58	19,17	29,49	10,40	22,51
	E	7,17	5,78	11,09	5,21	2,0
Cr	M	0,03	0,10	0,39	0,14	0,09
	E	0,002	0,01	0,26	0,09	0,06
Pb	M	0,04	0,55	0,64	0,13	0,06
	E	0,03	0,03	0,24	0,04	0,03

Bioaccumulation des métaux

Cd	M	0,01	0,08	0,01	0,02	0,02
	E	0,00	0,15	0,008	0,03	0,01
Fe	M	33,85	62,18	30,76	35,44	22,43
	E	4,54	12,46	10,09	12,97	9,54

Suite à ces analyses que nous avons obtenues dans ce travail, le **Fe** est considéré comme l'élément à des teneurs les plus élevées (62,18 mg/kg du poids frais chez *Sardina pilchardus*) de tous les métaux analysés dans les muscles de poisson étudiées. Alors que, le **Cd** est l'élément le moins concentré dans ces espèces analysées (0,010 mg/kg du poids frais chez *Diplodus vulgaris*)

L'ordre général de la bioaccumulation des métaux analysés dans les muscles des différentes espèces de poisson est comme suit :

Pageot et Sardine : Fe > Zn > Cu > Pb > Cr > Cd.

Sargho : Zn > Fe > Cu > Pb > Cr > Cd.

Mulet : Fe > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd

Barbeau : Zn > Fe > Cu > Cr > Pb > Cd.

Les résultats prouvent que la consommation des poissons de l'estuaire du bas Loukkos du Maroc ne peut pas avoir un risque pour la santé humaine sauf le poisson **Sargho** qui présente des teneurs assez élevées en **Pb** par comparaison avec celles de la CE. Mais, généralement nous recommandons la consommation des poissons en raison des teneurs faibles de ces métaux. L'espèce de poisson *Diplodus vulgaris* est donc considérée comme un bon bioindicateur de la qualité de l'environnement des écosystèmes aquatiques (espèce sentinelle) [33,35].

1.4 Nardjess Benamar, 2010

Sous thème : Evaluation de la concentration en cadmium d'un poisson pélagique commun, *Sardinella aurita*, dans la baie d'Oran

Ce travail présente l'évaluation de la contamination par le cadmium, d'un poisson pélagique commun dans les eaux algériennes : *Sardinella aurita* (l'allache).

Le travail a été réalisée dans baie d'Oran, en raison de sa proximité avec la zone industrielle d'Arzew et du port a vocation industrielle et commerciale, mais aussi en raison de la présence de rejets urbains non traités.

Sardinella aurita a été retenue dans cette étude pour les raisons suivantes: (i) position importante dans la production globale des ressources ichtyophages; (ii) son abondance régulière le long des côtes algériennes ; (iii) sa valeur commerciale élevée; et enfin (iv) son importance locale il est en effet le poisson le

plus consommé et le plus pêché sur les côtes algériennes après la sardine et la bougue.

Méthode d'étude

L'échantillonnage s'est déroulé sur une période de six mois de mai à octobre 2005 sur le lieu de débarquement. Au total 6 prélèvements mensuels de 3 Kg d'allache ont été échantillonnés de mai, à octobre. Après mensuration, les foies et les muscles sont prélevés, congelés et pesés jusqu'au moment de leur analyse chimique

- La minéralisation par voie humide des échantillons s'est effectuée par la méthode d'Amiard *et al*, 1987.
- Prendre 1ml d'acide nitrique est ajouté à 1g d'échantillon puis ajuster à 4ml d'eau bidistillée après 1h à 95°C
- Un échantillon biologique de thon de méditerranée, fourni par (A.I.E.A) est codé 350 a été utilisé comme standard, il nous permet de validé les tests présentés
- Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique avec flammes Perkin Elmer
- Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'un logiciel Statistica version 5.0

Résultats

Bioaccumulation des métaux

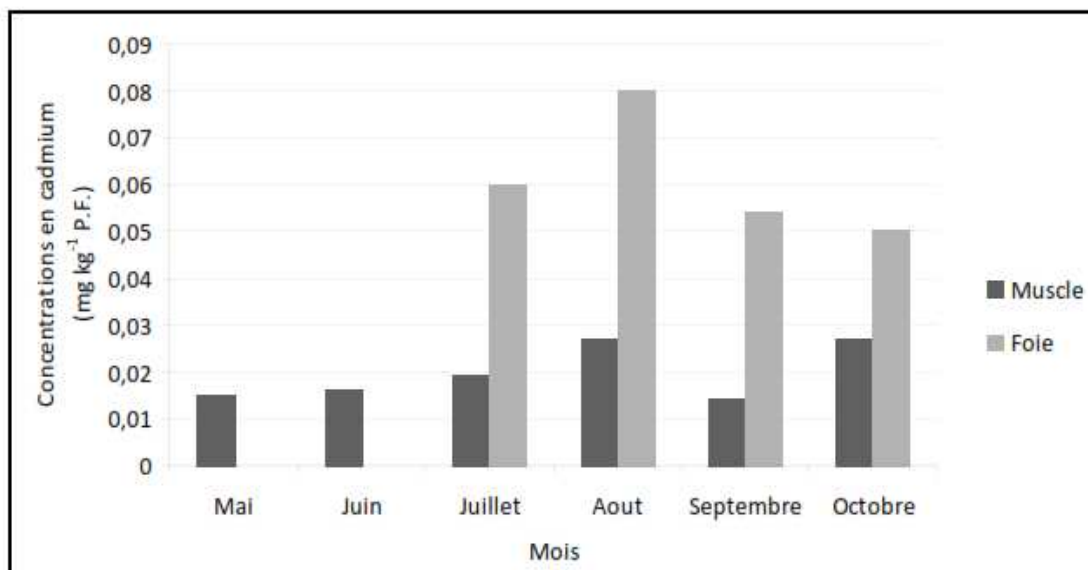


Figure 1 : Evaluation mensuelle (mai à octobre) des concentrations moyenne en Cd au niveau du muscle et du foie chez *Sardinella aurita* (mg/kg p.f.)

Au niveau musculaire les concentrations moyennes en Cd augmente progressivement à partir du mois de mai (0,015 mg/kg de pois frais) pour atteindre une concentration 1,8 fois plus élevée au mois d'aout (0,027 mg/kg de pois frais) entre ces deux mois.

Les concentrations mensuelles en Cd de septembre sont deux fois plus faibles que celle du mois d'aout.

Pour le foie les concentrations moyennes sont plus élevées que celles des muscles notamment durant les deux mois les plus chaudes de l'année (juillet et aout)

Les concentrations du Cd ont été évaluées sur 3 classes de tailles 17-23cm, 23-29cm, 29-35cm. Le Cd se bioaccumule mieux chez les femelles que chez les males.

Les concentrations moyennes les plus élevées se retrouvent dans l'échantillon du foie pour les trois classes. Les concentrations sont à leur maximum chez les plus jeunes, pour le foie (0,079 mg/kg pois frais) et les muscles (0,045mg/kg du pois frais).

1.5 Amezelel N, 2014.

Le thème de ce travail : étude de la bioaccumulation des métaux traces (Hg, Zn, Cu, Ni) chez le rouget de vase (*Mullus barbatus*) de la cote algérienne.

Dont l'objectif de ce travail est d'évaluer l'état de la pollution métallique le long de la cote algérienne par un indicateur biologique, ainsi définir la qualité des poissons démersales pêchés aux secteurs de pêche du plateau continentale algérien.

Méthode d'étude

Les poissons du rouget de vase sont échantillonnés lors de la campagne ALDEM effectués en juin 2014, l'analyse des métaux lourds set selon le protocole de L'AUEA

Bioaccumulation des métaux

par la SAA Perckelen MER.700. (. A bord les poissons sont étiquetés et classés en suite selon le sexe, la taille, ensuite on a récupéré les organes à analysées (chaire, foie et gonades) et congeler à -18°C.

Au laboratoire :

- Lyophilisation des sous échantillons
- Broyage et homogénéisation
- Minéralisation à blanc
- Prendre 0,5 du pois sec (minéralisation et digestion à froid)
- Minéralisation à chaux (90°C pour le mercure, 120°C pour les autres métaux
- Analyse d’Hg en SAA système à hydruure, pour le Cu, Zn, Ni par la flamme.

Résultats

Tableau 5 : évaluation spatiale des teneurs en Hg, Zn, Cu, Ni dans la chaire, foie et gonades du rouget de vase.

	Hg	Zn	Cu	Ni
Bou Ismail				
Chaire	0,316	27,69	-	14,733
Foie	0,004	127,96	9,72	17,836
Gonade	0,015	194,13	-	12,482
Mostaganem				
Chaire	0,031	36,47	-	13,792
Foie	0,073	163,61	3,541	12,626
	0,015	145,03	17,138	13,449

Bioaccumulation des métaux

Gonade				
Ghazaouet				
Chaire	0,004	26,77	-	15,115
Foie	0,424	129,42	9,358	31,857
Gonade	0,071	231,46	2,507	25,773
Beni-Saf				
Chaire	0,094	32,17	-	17,093
Foie	0,0765	131,97	6,515	11,526
Gonade	-	-	-	-

Suite à ces analyses que nous avons obtenues dans ce travail, le zinc est considéré comme l'élément à des teneurs les plus élevées (231,46µg/g). De ce fait le rouget de vase est une source importante en zinc pour l'alimentation.

Pour le zinc, le nickel et le cuivre, la bioaccumulation se fait préférentiellement dans les gonades du rouget de vase. Le mercure se bioaccumule essentiellement au niveau du foie et dans la chair du rouget de vase en moindre mesure.

L'ordre général de la bioaccumulation des métaux analysés (Hg, Zn, Cu et Ni) dans les différents organes (muscles, foies et les gonades) du rouget de vase est comme suit :

Chair Zn > Ni > Hg > Cu

Foie Zn > Ni > Cu > Hg

Gonade Zn > Ni > Cu > Hg

Pour les quatre métaux étudiés (Hg, Zn, Cu, Ni), les concentrations moyennes retrouvées chez le rouget de vase les plus élevées sont au niveau de la baie de Ghazaouet et Bou Ismail, par contre les plus faibles sont observées au niveau de Mostaganem et Beni Saf. La baie de Bou Ismail et Ghazaouet peuvent être qualifiées comme zones polluées en contaminant métalliques.

Partie II : Facteurs affectant la bioaccumulation des métaux : transferts et biotransformation Endogène

L'étude de l'interaction entre les contaminants et les barrières biologiques est d'un intérêt considérable pour la compréhension des phénomènes écotoxicologiques, particulièrement la bioaccumulation et les transferts à travers les chaînes trophiques. Il est bien connu que les niveaux de concentrations métalliques dans les organismes ne

sont pas le seul résultat de leur biodisponibilité dans l'environnement. (Stellio CASAS, 2005)

La bioaccumulation d'une substance se fait en plusieurs étapes : absorption par voie orale, respiratoire ou cutanée, assimilation, distribution dans différents tissus, métabolisation et élimination des fractions non utilisées ou non stockées. Pour une même espèce, tous ces phénomènes dépendent à la fois des conditions environnementales et de la physiologie de l'organisme exposé. Le lien entre la contamination d'un milieu et la teneur dans l'organisme en contact n'est donc pas trivial. (Catherine Gourlay-Francé et al, 2011).

1. Caractéristiques physico-chimiques du contaminant : spéciation et biodisponibilité

L'eau de mer contient en solution des combinaisons de tous les éléments chimiques engagés dans des réactions inorganiques et biochimiques contribuant aux différences de composition des eaux marines (ions majeurs, matière organique, particules en suspension, etc.). De ce fait, le métal se trouve sous des formes physico-chimiques très diverses. L'ensemble des réactions de complexation entre un produit chimique et la totalité des ligands présents dans le milieu correspond au processus de spéciation

La spéciation du métal contrôle sa toxicité et son assimilation par les organismes marins, et affecte donc sa biodisponibilité.

Les efficacités d'absorption du contaminant dans l'organisme étudié, à partir de l'eau filtrée par les branchies ou de la nourriture ingérée seront donc différentes selon le métal considéré et la forme chimique.

Dans tout modèle de capture de contaminants, une des plus importantes variables est la concentration du contaminant qui peut être absorbée par l'organisme. Cette fraction ne représente qu'une partie seulement du total présent dans le milieu et est communément appelée fraction biodisponible. La biodisponibilité est la capacité à être intégrée au vivant et varie selon les formes chimiques pour un même élément.

Il faut donc connaître l'abondance de chaque forme et les lois qui régissent leurs transformations en milieu naturel pour prévoir leur assimilation dans le vivant. (Catherine Gourlay-Francé, et al 2012)

2. Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques sont quant à eux liés aux espèces : leur anatomie (taille, nature des téguments, surface de contact avec l'eau, etc.), leur physiologie (respiratoire, digestive, reproductive, etc.) et, au sein d'une même espèce, l'âge, donc la taille, doivent être pris en compte. En effet, il est bien connu que les concentrations métalliques mesurées chez les espèces marines peuvent varier en fonction de leur taille, et donc de leur âge.

3. Facteurs de nutrition (ingestion, excrétion)

La bioaccumulation est fonction des flux entrants et sortants des métaux contenus dans les phases dissoutes et particulaires. La physiologie de la nutrition et de la digestion conditionne donc en grande partie ces deux voies d'entrée. Les processus impliqués vont ainsi interagir avec les processus d'assimilation des contaminants.

Dans l'étude de la bioaccumulation, l'intérêt est de connaître le pourcentage de métaux accumulés sur la totalité présente dans le flux dissous *via* les branchies et dans le flux particulaire *via* l'appareil digestif. Ces deux notions correspondront aux deux types de voies d'entrée des contaminants au sein de l'organisme. Le taux de filtration. Ainsi, le taux d'ingestion et le taux d'excrétion, sur lesquels vont agir les variables environnementales.

La physiologie de la digestion conditionne en grande partie cette dernière. En effet, l'assimilation des particules nutritives résulte de l'absorption de nutriments à travers l'épithélium stomacal selon les processus digestifs. Aussi, la qualité et la quantité de nourriture sont les principaux facteurs qui vont conditionner le temps de résidence dans le système digestif ainsi que les parts relatives des digestions intra et extracellulaires.

L'efficacité d'absorption correspond au pourcentage de matière organique ingérée qui est absorbée. La partie qui n'est pas absorbée est rejetée sous forme de fèces. L'assimilation est égale à l'absorption diminuée de l'excrétion. (Amiard *et al*, 1987).

4. Concentration métallique : quantité métallique et poids du bioindicateur

La concentration métallique est issue du quotient de deux composantes : la quantité métallique totale dans l'organisme et le poids de cet individu. De ce fait, les changements du poids des tissus du bioindicateur peuvent affecter significativement les concentrations en métaux traces en diluant ou en concentrant simplement la masse totale du métal. Les quantités de métaux concentrés dans les poissons résultent de leur accumulation « nette » (incorporation - excrétion) qui elle-même est fonction de la taille et du poids (Phillips et Rainbow, 1994).

Les concentrations dans les tissus mous sont donc plus variables que les quantités puisque les variations de la masse des tissus se superposent à celles de la quantité de métal dans l'organisme. Par exemple, si la croissance est relativement faible par rapport au taux d'accumulation du métal, la concentration de cet élément va augmenter avec l'âge et le poids, et vice versa (Phillips et Rainbow, 1994).

5. Cycle de vie de l'organisme

Les phénomènes du cycle biologique tels que la croissance, la nutrition, les périodes de privation, la reproduction, l'excrétion ont donc un impact important sur le processus de bioaccumulation. La concentration du métal au sein de l'organisme entier est fortement influencée par la croissance et les pertes de poids en particulier

durant la période de maturation des gonades. La croissance est caractérisée par une augmentation de la taille et du poids en fonction du temps et des variables environnementales (Phillips et Rainbow, 1994).

6. Composition biochimique et conditions physiologiques

La composition biochimique et la condition physiologique de l'organisme sont importantes dans la détermination de la distribution tissulaire du contaminant et sa rétention dans l'organisme entier. Généralement, les niveaux métalliques sont activement contrôlés par des facteurs biochimiques et physiologiques. Par conséquent, il y a une variabilité individuelle importante de la bioaccumulation. La répartition des métaux au sein des tissus peut aussi être modifiée selon les cycles reproductifs saisonniers et par des altérations majeures de la composition biochimique.

7. Caractéristiques physico-chimiques du milieu environnant

Parmi les facteurs abiotiques, les facteurs physico-chimiques (température, salinité, O₂ dissous, pH, etc.) du milieu jouent un rôle essentiel puisqu'ils influent à la fois sur la forme physico-chimique des métaux (état de valence, adsorption-désorption sur les matières en suspension, etc.) donc sur leur biodisponibilité, mais également sur le métabolisme des espèces (osmorégulation, respiration, reproduction, activité trophique, etc.) dont dépendent en partie les cinétiques d'accumulation et d'excrétion des métaux. Ces facteurs environnementaux, sont spécifiques d'un site et varient dans le temps.

8. Solubilité dans l'eau

Le degré d'accumulation des contaminants métalliques via l'eau et de concentration dans la chair des organismes est largement dépendant de la solubilité des contaminants dans l'eau et de leur hydrophobicité. En effet, la solubilité dans l'eau limite la quantité de contaminants biodisponibles dans un volume d'eau donné. Cependant, une solubilité faible reflète une augmentation de l'hydrophobicité et du partitionnement dans les tissus des organismes.

Les métaux dans les eaux salées se trouvent aussi sous forme d'ion libre ou de complexes organiques et inorganiques, certains d'entre eux ne sont pas chargés. La capture des métaux est donc le résultat du partitionnement de ces complexes hydrophobes au sein de la membrane lipidique, un mécanisme analogue à la capture des contaminants organiques hydrophobes.

9. Facteurs physico-chimiques

Les facteurs climatiques agissent également sur des paramètres comme la température, l'oxygène dissous et la salinité. Ces conditions de milieu modifient l'efficacité des processus biologiques responsables de la bioaccumulation, en particulier la température qui intervient directement sur la cinétique des processus biologiques. De ce fait, les variations saisonnières de ces paramètres doivent être prises en compte.

10. Matière organique dissoute et particulaire

Les eaux marines peuvent être riches en matière organique dissoute (MOD) composée de petites molécules et de macromolécules d'origine naturelle. Ces concentrations sont plus élevées en milieux estuariens, influençant ainsi le comportement des métaux dans le milieu (formation de complexes organiques) et par-delà leur biodisponibilité.

Les conditions hydrodynamiques locales agissent sur le transport des particules et la circulation des masses d'eau. Elles vont directement affecter le transport de substances et leur biodisponibilité.

Récapitulatif

L'étude de la contamination se heurte en permanence à cette extrême complexité des mécanismes mis en jeu, due à la diversité des facteurs écologiques (abiotiques et biotiques) et des caractéristiques de la contamination, à leurs variations et à leurs interactions dans l'espace et le temps (Figure 2). De plus, des compétitions entre ces différents facteurs peuvent exercer des effets synergiques ou antagonistes sur les voies de contamination.

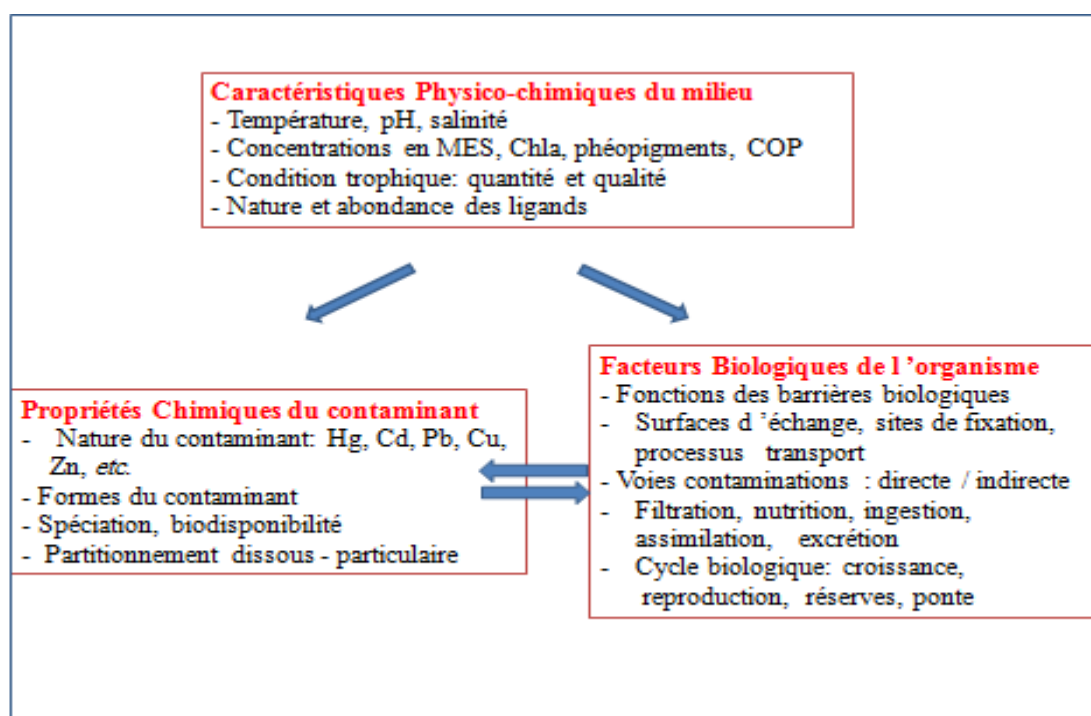


Figure 2 : figure illustrant la diversité des facteurs écologiques (abiotiques et biotiques) et des caractéristiques de la contamination, à leurs variations et à leurs interactions dans l'espace et le temps.

Chapitre II

*Méthodologie, résultats
et discussions*

II Méthodologie

II.1 Applications statistiques

Plusieurs méthodes statistiques sont utilisées pour l'analyse des données, parmi ces méthodes on peut citer l'analyse binaire, ACP, ANOVA, MANOVA, CHA...etc.

II.1.1 Analyse binaire

Dans le but de pouvoir expliquer les relations entre les taux de bioaccumulation chez le rouget de vase des métaux étudiés ; les uns par rapport aux autres et à la composition biochimique, en fonction des organes, 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 considérés.

II.1.1.1 Elaboration des matrices de corrélation

a) Mercure- composition biochimique

Tableau 6 : Mercure- composition biochimique

	Métal (µg/g)	Composition biochimique (%)		
Organe	Mercure	Glucides	lipides	Protéines
La chair	0,115	0,697	36	13,62
Le foie	0,133	2,95	20,05	9,41
Les gonades	0,034	2,64	32,49	3,85

b) Zinc composition biochimique

Tableau 7: Zinc – composition biochimique

	Métal (µg/g)	Composition biochimique (%)		
Organe	Zinc	Glucides	Lipides	Protéines
La chair	31,99	0,697	36	13,62
Le foie	144,59	2,95	20,05	9,41
Les gonades	190,20	2,64	32,49	3,85

c) Cuivre- composition biochimique

Tableau 8 : Cuivre - composition biochimique

	Métal (µg/g)	Composition biochimique (%)		
Organe	Cuivre	Glucides	Lipides	Protéines
La chair	-	0,697	36	13,62
Le foie	6,532	2,95	20,05	9,41

Méthodologie, résultats et discussions

Les gonades	9,822	2,64	32,49	3,85
-------------	-------	------	-------	------

d) Nickel- composition biochimique

Tableau 9 : Nickel - composition biochimique

	Métal ($\mu\text{g/g}$)	Composition biochimique (%)		
Organe	Nickel	Glucides	Lipides	Protéines
La chair	15,136	0,697	36	13,62
Le foie	17,292	2,95	20,05	9,41
Les gonades	17,235	2,64	32,49	3,85

e) Inter métaux

Tableau 10 : Corrélacion inter métaux

	Métal ($\mu\text{g/g}$)			
Organe	Mercurc	Zinc	Cuivre	Nickel
La chair	0,115	31,99	-	15,136
Le foie	0,133	144,59	6,532	17,292
Les gonades	0,034	190,20	9,822	17,235

II.2 Résultats et interprétations

II.2.1 Corrélacions métaux – composition biochimique

II.2.1.1 Corrélacion mercure- composition biochimique

Tableau 11: Corrélacion mercure - composition biochimique

variables	Hg ($\mu\text{g/g}$)	Glucides%	Lipides %	Protéines%
Hg ($\mu\text{g/g}$)	1	0,0497	0,216	0,666
Glucides %	0,0497	1	0,576	0,554
Lipides %	0,216	0,576	1	0,017
Protéines %	0,666	0,554	0,017	1

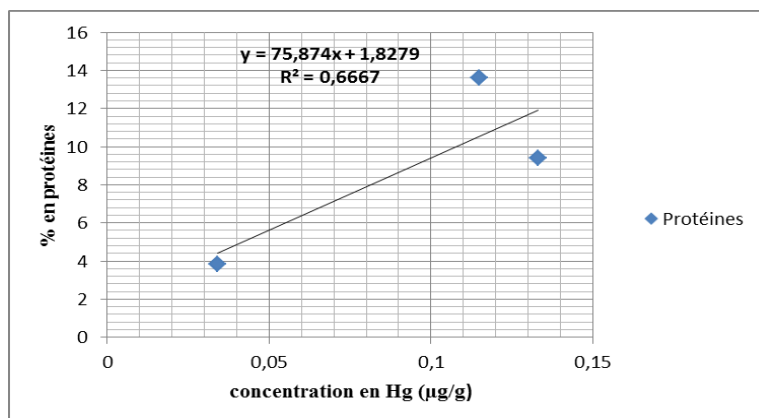


Figure 3 : corrélation entre les teneurs en mercure et pourcentage des protéines.

Le mercure présente une seule corrélation signifie avec la composition biochimique, il s'agit de couples mercure- protéines. Ceci peut s'expliquer par les propriétés physico-chimique du mercure et notamment la formation du méthyle-mercure et diméthyle-mercure, donc formation des complexes avec des protéines comme le cas de metallothioneins impliquant dans le phénomène de détoxification.

Le taux de protéines le plus important est au niveau de la chair du rouget de vase, ce qui constitue le premier contact du mercure avec la barrière biologique qui est le muscle contenant dans la chair.

II.2.1.2 Corrélation zinc- composition biochimique

Tableau 12 : Corrélation zinc - composition biochimique

variables	Zn (µg/g)	Glucides%	Lipides %	Protéines%
Zinc (µg/g)	1	0,84	0,189	0,904
Glucides %	0,84	1	0,576	0,554
Lipides %	0,189	0,576	1	0,017
Protéines %	0,904	0,554	0,017	1

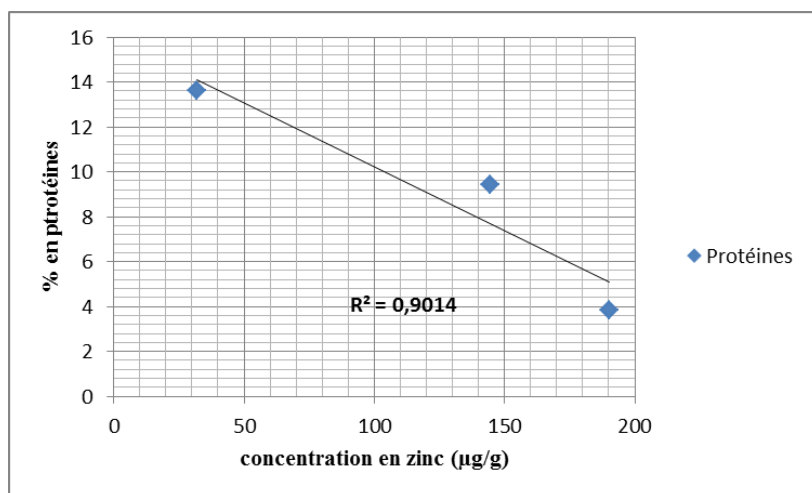


Figure 4 : Corrélation entre les teneurs en zinc et le pourcentage des protéines

Le zinc présente une corrélation forte avec le pourcentage des protéines avec $R^2 = 0,901$, ainsi avec le pourcentage des glucides ou $R^2 = 0,84$

Ces résultats peuvent être expliqués comme suit :

Par rapport aux taux de protéines, le zinc rentre comme un cofacteur dans des réactions enzymatique au niveau des muscles du rouget de vase, ainsi dans le fonctionnement du muscle lui-même ou le zinc est induit dans la transmission du signal électrique.

Par rapport au taux de glucides le zinc rentre dans les réactions métaboliques des glucides au niveau cellulaire.

II.2.1.3 Corrélation nickel- composition biochimique

Tableau 13 : Corrélation nickel - composition biochimique

Variables	Ni (µg/g)	Glucides%	Lipides %	Protéines%
Nickel (µg/g)	1	0,989	0,472	0,656
Glucides %	0,989	1	0,576	0,554
Lipides %	0,472	0,576	1	0,017
Protéines %	0,656	0,554	0,017	1

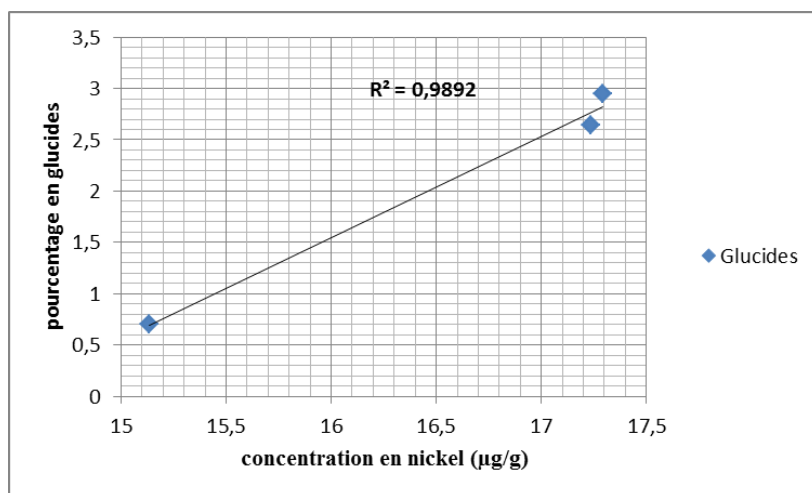


Figure 5 : Corrélation entre les teneurs en nickel et le pourcentage en glucide

Les teneurs en nickel montrent une corrélation significative avec le pourcentage en glucides ($R^2=0,98$), et en protéines ($R^2=0,65$)

II.2.1.4 Corrélation inter-métaux

Tableau 14 : Corrélation inter-métaux

Variables	Hg (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Ni (µg/g)
Hg (µg/g)	1	0,352	-	0,104
Zn (µg/g)	0,352	1	-	0,908
Cu (µg/g)	-	-	1	-
Ni (µg/g)	0,104	0,908	-	1

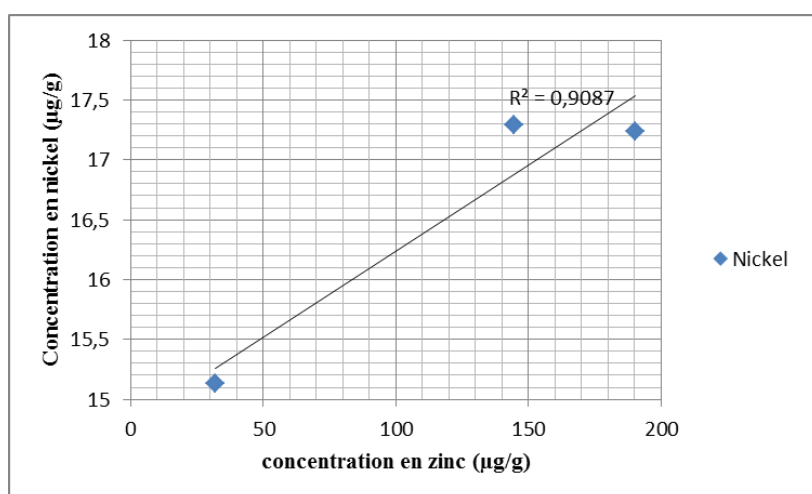


Figure 6 : Corrélation entre les teneurs en zinc et celle du nickel

Méthodologie, résultats et discussions

Une forte corrélation entre les teneurs en zinc et nickel avec un $R^2 = 0,908$ a été révélé. Ceci peut être expliqué par la nature des deux métaux (essentiels), dont leur assimilation par les organes du rouget de vase se fait d'une manière similaire.

Tableau 15 : comparaison des teneurs en métaux dans les différents organes avec la littérature

Espèces étudiées	Organes	Concentrations des métaux ($\mu\text{g/g}$)			Auteurs
		Mercure (Hg)	Nickel (Ni)	Zinc (Zn)	
<i>Mullus barbarus</i> (Côtes tunisiennes)	Chair	-	-	67,8	Aida Koubaa, 2010
	Foie	-	-	-	
<i>(Sardinella aurita)</i> Tunis (golf de Tunis)	Chair	0,1	-	10,96	Rym Ennouri et al, 2008
	Foie	0,20	-	24,2	
<i>Merluccius merluccius</i> (Baie d'Oran)	Chair	-	-	7.89	Belhoucine, 2006
	Foie	-	-	-	
Maroc Côte atlantique sud	Chair	-	-	24,10	Mohamed EL MORHIT, 2007
	Foie	-	-	-	
<i>Diplodus sargus</i> (Baie d'Oran)	Chair	-	-	3.006	Ayad, 2010
	Foie	-	-	-	
	Gonades	-	-	-	
<i>Mugil cephalus</i> (Baie de Beni saf)	Chair	-	-	10	Bouhadiba, 2011
	Foie	-	-	15.6	
	Gonades	-	-	32.1	
<i>Mullus barbatus</i> centre ouest de la côte algérienne	Chair	0,115	15,136	31,99	Amezelel, 2014
	Foie	0,133	17,292	144,59	

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 (mercure, zinc, cuivre, nickel) par le rouget de vase *mullus barbatus*, 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 significative entre le zinc et le nickel peut être expliqué que par l'implication du zinc et Nickel dans les processus de enzymatique dans corps du rouget de vase.

La corrélation métaux-composition biochimique montre que la bioaccumulation de nickel à une relation étroite avec le taux des glucides dans les organes de rouget de vase, celle de zinc avec le taux des protéines, tandis que les concentrations en mercure ont des corrélations avec les taux des protéines en relation avec l'assimilation du méthyle mercure, il apparait que les processus de détoxification de mercure sont en partie responsable de ces corrélations. Les autres couples métaux-composition biochimique ont des corrélations non significatives, et cela selon l'importance de chaque élément dans les processus physiologique du rouget.

En comparant nous résultats avec ceux d'autres auteurs au niveau local et régional :

Le niveau de contamination métallique au niveau de la cote centre ouest algériennes ne présente un danger réel en terme de contaminants chimique dans les produits de pêche.

Pour mieux comprendre le phénomène de bioaccumulation :

- Précéder à d'autres études supplémentaires sur les facteurs qui influencent ce phénomène
- Augmenter le membre d'échantillons pour les études statistiques

Bibliographie

Bibliographie

AIDA, K. BOUDHRIOUA, N. ABDELMOULEH, A. BOUAIN, A (2010): variation saisonniere des teneurs en elements minéraux et en metaux lourds de quatre especes de poissons du golfe de Gabes. Rapport commission interrégional de la mer méditerranée

AMIARD, J. C., C. AMIARD-TRIQUET, B. BERTHET ET C. METAYER (1987). Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and coastal organisms. J. Exp. Mar. Biol. Ecol **106**(1): 73-89

CASAS S (2005) : Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. IFREMER. Thèse de doctorat : Océanologie biologique, Environnement marin. ,314p.

GOURLAY-FRANCE C., VINCENT F., TUSSEAU M., SANCHEZ W., GEFFARD A., LEVI Y., OZIOL L., THERY S (2011) : Le risque écotoxicologiques dans le bassin de Seine. Comprendre et diagnostiquer l'impact de la contamination sur les organismes. Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement. ISBN : 978-2-918251-11-8

KLJAKOVIC GAŠPIC, Z., ZVONARIC, T., VRGOC, N., ODZAK, N., BARIC, A (2002). Cadmium and lead in selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic Sea. Water Research, 36: 5023-5028.

MOHAMED EL MORHIT (2007) : Metallic contamination in muscle of five fish species from loukkos river estuary the Atlantic coast in Morocco. ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4 , N ° 120116 . ISSN 2111-4706.

BENAMAR, N. BOUDERBALA , M. BOUTIBA,Z (2010): Evaluation de la concentration en cadmium d'un poisson pélagique commun, *Sardinella aurita*, dans la baie d'Oran. Halieutique journal.

PHILLIPS, D. J et RAINBOW, P (1994). Biomonitoring of trace aquatic contaminants, Aldenn Press Ltd, Oxford.

ENNOURI , R. CHOUBA, L ET KRAIEM, M (2008) : evaluation de la contamination chimique par les metaux traces (Cd, Pb, Hg et Zn) du zooplancton et de la sardinelle (*Sardinella aurita*) dans le golfe de Tunis. Faculté des Sciences de Bizerte. La Goulette-Tunis, Tunisie.

UNPEP (2005) : Rapport sur les indicateurs de pollution marine dans les pays méditerranéens (Réunion chargée d'examiner les activités MED POL de surveillance continue et l'utilisation des indicateurs)