

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE TLEMCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Environnement

**Laboratoire de recherche Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement
et application en santé publique**

THESE

Présentée par

M^{elle} : KALAKHI Nabila

En vue de l'obtention du

DIPLOME DE DOCTORAT EN ECOLOGIE ANIMALE

Thème

**Impact de la pollution par quelques métaux lourds (Zn, Pb, Cu, Cd et Fe) chez la
sardine (*Sardina pilchardus*), pêchée au large de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen).**

Soutenue le :18/06/2023

devant le jury composé de :

Président :Mr BOUCHIKHI TANI.Z

Professeur (Univ de Tlemcen)

Directeur de thèse :Mr BENDIMERAD.MEA

Maître de conférences «A» (Univ de Tlemcen)

Examineur :Mr KERFOUF.A

Professeur (Univ de Sidi Bel Abbès)

Examineur :Mr MEHTOUGUI.MS

Maître de conférences «A» (Univ de Sidi Bel Abbès)

Examineur :Mme BENGUEDDA.W

Maître de conférences «A» (Univ de Tlemcen)

Année Universitaire :2022/2023.

Remerciements

De chaleureux remerciements à mon directeur de thèse Monsieur **BENDIMERAD Mohamed El Amine** pour sa bonne humeur, sa disponibilité, ses conseils avisés qui m'ont permis de réaliser ce modeste travail. Merci pour sa patience, ses explications et ses encouragements dans les périodes difficiles. La liste serait longue, alors, tout simplement merci beaucoup...

Je tiens à remercier les membres du jury pour m'avoir fait l'honneur de relire et d'avoir consacré de leur temps à l'évaluation de ce manuscrit. Je souhaite à ce titre, remercier Monsieur **BOUCHIKHI TANI Zoheir**, qui m'a fait l'honneur d'être le président de ma thèse.

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur **KERFOUF Ahmed** d'avoir pris le temps d'étudier mon manuscrit en tant qu'examinateur. Je le remercie également pour son aide précieuse et nos discussions scientifiques.

Mes profonds remerciements vont aussi à Monsieur **MEHTOUGUI Mohamed Samir** qui a accepté de faire part de ce jury en participant à l'examen de ce travail.

La présence dans mon jury de Madame **BENGUEDDA Wacila** m'honore très sincèrement. Qu'elle soit vivement remerciée de l'intérêt qu'elle témoigne à ce travail en acceptant de l'examiner.

Que toutes les personnes du laboratoire de recherche Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique, trouvent ici, l'expression de ma vive reconnaissance.

Un Merci particulier à Melle **SENOUCI Nacira** pour son aide, son soutien et son encouragement. Je lui souhaite plus de succès.

Et enfin parce que la sphère familiale reste fondamentale. Un immense merci à mes très chers parents, à qui je dédie cette thèse. Merci d'avoir supporté bien souvent ma fatigue, ma mauvaise humeur. Merci également pour votre soutien, vos encouragements dans les moments de doute. Cette thèse n'aurait pu avoir lieu sans vous à mes côtés.

Merci infiniment à tous.

A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection

A mes frères et leurs enfants

A tous mes amis, plus particulièrement Nacira,

A tous ceux que j'aime

Cet humble travail est dédié

Liste des abréviations

ACP: Analyse en Composantes Principales

AEE : Agence Européenne pour l'Environnement

AFSSA : l'Agence Française de la Sécurité Sanitaire des Aliments .

AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique

ANAT: L'Agence Nationale d'Aménagement du Territoire

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CCE : Conseil De la Communauté Européenne

CNRS : Centre Nationale de la Recherche Scientifique

DMA : Doses Maximales Admissibles.

DPRHT: Direction de la Pêche et des Ressources Halieutiques de la wilaya de Tlemcen

DUC : Direction d'Urbanisme et de Construction de la wilaya de Tlemcen.

EAP : Ecole de Pêche et l'Aquaculture

FAO : Food and Agriculture Organisation

MATE: Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

p.p.m : Partie par million

P: p-value

PAM : Plan d'Action pour la Méditerranée

PDAU: Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme:

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

RGS: Rapport Gonado-Somatique

RNO : Réseau National d'Observation

SAAF : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique à Flamme

SR: Sex-Ratio

UNEP : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

WHO: World Health Organisation

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Cycle géochimique simplifié des métaux lourds.	5
2	Phénomènes de complexation des métaux dans l'eau.	6
3	Schématique de l'interaction d'un métal avec l'organisme, menant à une toxicité	8
4	Cinétique des ETM dans un organisme aquatique	9
5	Concept général du FIAM et du BLM.	11
6	Mécanismes d'excrétion des métaux chez les bivalves.	13
7	<i>Sardina pilchardus</i> (Walbaum, 1792) (Photo originale).	22
8	Proies consommées par la sardine.	24
9	Répartition géographique de <i>Sardina pilchardus</i>	25
10	Création d'un banc mixte	26
11	Cycle de vie de la Sardine, <i>Sardina Pilchardus</i> .	27
12	Localisation de la zoned'étude.	35
13	Carte des fonds de Ghazaouet au cap des trois fourches	36
14	Courants marins méditerranéens	37
15	Bassins versants de la zone d'étude.	38
16	Plan du port de Ghazaouet	40
17	Dissection des échantillons (Photo Originale).	44
18	Protocole de minéralisation et de dosage en Spectrophométrie d'Absorption Atomique.	48
19	Structure de la population de <i>Sardina pilchardus</i> .	51
20	Variations saisonnières de la sex-ratio chez <i>Sardina pilchardus</i> en fonction de la saison.	52
21	Variations mensuelles de la sex-ratio chez <i>Sardina pilchardus</i> .	52
22	Abondance des mâles et femelles en fonction de la taille chez <i>Sardina pilchardus</i> .	53
23	Structure en taille des Sardines analysée.	54
24	Représentation de la relation taille-poids chez <i>S.pilchardus</i>	55
25	Evolution des moyennes du rapport gonado-somatique R.G.S. de la Sardine analysée par mois.	56
26	Evolution du coefficient de condition K par sexe et par mois pendant la période d'étude.	57
27	Variations des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) au niveau des gonades en fonction du sexe.	59
28	Variations des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) au niveau des branchies en fonction du sexe.	59
29	Evaluation des concentrations moyennes en Zinc en fonction de classes de taille chez <i>Sardina pilchardus</i> .	61
30	Evaluation des concentrations moyennes en Plomb en fonction de classes de taille chez <i>Sardina pilchardus</i> .	62
31	Evaluation des concentrations moyennes en Cuivre en fonction de classes de taille chez <i>Sardina pilchardus</i> .	63
32	Evaluation des concentrations moyennes en Cadmium en fonction de classes de taille chez <i>Sardina pilchardus</i> .	64
33	Evaluation des concentrations moyennes en Fe en fonction de classes de	65

	taille chez <i>Sardina pilchardus</i>	
34	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	66
35	Variations saisonnière des concentrations moyennes en Plomb(ppm/PF) chez <i>Sarina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	67
36	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) chez <i>Sarina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	68
37	Variations saisonnière des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) chez <i>Sarina pilchardus</i> de la baie de Ghazaout.	69
38	Variations saisonnière des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) chez <i>Sarina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	70
39	Pourcentage des teneurs en métaux traces évaluées dans les gonades selon les quatre saisons.	72
40	Pourcentage des teneurs en métaux traces évaluées dans les gonades selon les quatre saisons.	74
41	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Zinc (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	75
42	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Plomb (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	76
43	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cuivre(ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	77
44	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cadmium (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	78
45	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Fer (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	79
46	Variations saisonnières des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm /PF) en fonction de l'indice de condition K-moy au niveau des gonades.	81
47	Variations saisonnières des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) en fonction de l'indice de condition K-moy au niveau des branchies.	82
48	Variations des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction <i>Sardina pilchardus</i> .	83
49	Variations des concentrations moyennes en Plomb(ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	84
50	Variations des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	85
51	Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i>	86
52	Variations des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i>	87
53	Diagramme de l'ACP réalisé pour les métaux étudiés.	89

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Teneurs en lipides et en acides gras (%) de la Sardine (<i>Sardina pilchardus</i>) au cours des deux périodes de l'année.	30
2	Les principales unités industrielles qui activent dans la bande littorale	35
3	Les différents oueds et rejets déversant dans la région.	41
4	Longueurs d'ondes et limites de détection des métaux dosés.	49
5	Sex-ratio globale de <i>Sardina pilchardus</i> .	51
6	Statistiques de la régression linéaire.	54
7	Valeurs mensuelles du RGS chez les deux sexes.	55
8	Valeurs mensuelles du coefficient de condition K chez <i>Sardina pilchardus</i> .	57
9	Concentrations moyennes des métaux lourds (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> pêchée dans la baie de Ghazaouet.	58
10	Variations des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) en fonction du sexe et organes.	58
11	Ordres d'enrichissement des organes pour chaque métal.	60
12	Variations des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) en fonction de classes de taille.	61
13	Variations des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) en fonction de classes de taille.	62
14	Variations des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) en fonction de classes de taille.	63
15	Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction de classes de taille.	64
16	Variations des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) en fonction de classes de taille.	65
17	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	66
18	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	67
19	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	68
20	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	68
21	Variations saisonnières des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> de la baie de Ghazaouet.	69
22	Pourcentages des différentes teneurs en métaux lourds observés au niveau des gonades de la sardine à différentes périodes de l'année 2017.	70
23	Pourcentages des différentes teneurs en métaux lourds observés au niveau des branchies de la sardine à différentes périodes de l'année 2017.	73
24	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Zinc (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	75
25	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Plomb (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	76
26	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cuivre (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	77
27	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cadmium	78

	(ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	
28	Variations mensuelles des concentrations moyennes du Fer (ppm/PF) dans les organes de <i>Sardina pilchardus</i> .	79
29	Variations saisonnières du K chez <i>Sardina pilchardus</i> tous sexes confondus.	80
30	Variations saisonnières des teneurs métalliques dans les gonades en fonction du coefficient de condition K chez <i>Sardina pilchardus</i> .	80
31	Variations saisonnières des teneurs métalliques dans les branchies en fonction du coefficient de condition K chez <i>Sardina pilchardus</i> .	80
32	Variations des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	83
33	Variations des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	84
34	Variations des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	85
35	Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	86
36	Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de <i>Sardina pilchardus</i> .	87
37	Comparaison des teneurs en métaux lourds (ppm/PF) chez <i>Sardina pilchardus</i> par rapport aux Doses Maximales Admissibles (DMA).	104
38	Variations des teneurs en métaux lourds exprimés chez différents poissons pêchés le long du littoral Algérien et dans la mer Méditerranée.	105

Table des matières

Table des matières

Introduction Générale	1
------------------------------------	---

PARTIE I : Synthèse bibliographique

I. Les métaux dans le milieu marin	4
1. Généralités sur les métaux lourds	4
2. Cycle biogéochimique des métaux	5
3. Comportement des ETMs.....	6
3.1. Notion de biodisponibilité et spéciation	7
4. Transfert des métaux vers les organismes marins.....	8
4.1. Modèles cinétiques des métaux lourds dans la faune aquatique.....	8
4.2. Mécanisme de capture des métaux	9
4.3. Mécanisme d'excrétion des métaux.....	12
5. Bioamplification des métaux lourds.....	13
6. Toxicité par les métaux lourds	13
7. Présentation des métaux lourds étudiés.....	14
1. Le Cadmium.....	14
1.1. Usages	14
1.2. Origine	14
1.3. Toxicité	15
2. Le Zinc	15
2.1. Usages	15
2.2. Origine	15
2.3. Toxicité	16
3. Le Cuivre.....	16
3.1. Origine	16
3.2. Usages	16
3.3. Toxicité	17
4. Le Plomb	17
4.1. Origine	17
4.2. Usages	17
4.3. Toxicité	18
5. Le Fer	18
5.1. Usage	18
5.2. Toxicité	18
II. Présentation de l'espèce cible	19
1. Importance écologique et économique des petits poissons pélagiques.....	19
2. Généralités sur les clupéidés	20
3. Présentation de la Sardine « <i>Sardina pilchardus</i> »	20
3.1. Position systématique et terminologie commune	20
3.2. Caractéristiques de l'espèce.....	22
3.3. Différences avec les autres espèces les plus similaires	22
4. Ecologie de l'espèce	23
4.1. Le régime alimentaire et la digestion.....	23
4.1.a. Appareil digestif	23
4.1. b. Le régime alimentaire.....	23
4.2. La distribution géographique	24

4.3. L'habitat.....	25
4.4. Le comportement	25
5. Biologie de la sardine	26
5.1. Cycle de reproduction et croissance	26
5.2. Ponte de la sardine	27
5.3. Période de reproduction et de ponte maximale.....	28
5.4. Respiration.....	29
6. Composition nutritionnelle de la sardine	29
7. Pêche de la sardine	30
7.1. Les sennes coulissantes	31
7.2. Chaluts pélagiques	31
8. Facteurs d'agression de la sardine.....	31
III. Notion de bioindication	32
1. Définition	32
2. Utilisation des poissons comme bioindicateurs	33

PARTIE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. Localisation géographique de la zone d'étude	35
2. Aperçu physique.....	36
2.1. Sédimentologie de la région	36
2.2. Courantologie	37
2.3. Hydrologie	38
2.4. Climatologie.....	38
3. Tissu industriel.....	39
4. Le port	39
5. Activités pouvant affecter le milieu marin.....	40
5.1. Les apports du rejet industriel.....	40
5.2. Les différents oueds et rejets déversant dans la région.....	41
5.3. Les apports du rejet urbain.	42
5.4. Le transport maritime	42

PARTIE III : MATERIEL ET METHODES

I. L'échantillonnage	43
1. Choix de station.....	43
2. Choix polluants	43
3. Choix de l'espèce	43
3.1. Collecte du matériel biologique.....	43
II. Technique d'étude	44
1. Mensurations, pesées et dissection	44
2. Calcul des différents paramètres biologiques.....	45
2. a. Calcul du Sex-ratio	45
2. b. Relation taille-poids	45
2. c. Le Rapport Gonado-Somatique R.G.S	45
2. d. Indice de condition K.....	46

III. Analyse chimique	46
1. Technique de Minéralisation	46
2. Filtration	47
3. Dosage des métaux	48
3.1. Définition	48
3.2. Principe	48
IV Analyses statistiques	49
1. Comparaison de moyennes : ANOVA et test de Student	49
2. Analyse en composantes principales (ACP)	49

PARTIE V: RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats	51
I. Etude de la reproduction	51
1. Sex-ratio globale	52
1.2. Etats sexuels en fonction : saisons, mois et classes de taille	52
1.2. a. Sex-ratio en fonction de la saison	52
1.2. b. Sex-ratio mensuelle	52
1.2. c. Sex-ratio en fonction des classes de taille	53
2. Structure en taille de la Sardine analysée	53
3. Relation taille-poids	54
4. Rapport gonado-somatique R.G.S	55
5. Coefficient de condition K	56
II. Etude de la contamination métallique	57
1. Variations des concentrations métalliques en fonction du sexe et des organes	58
2. Variations des concentrations métalliques en fonction des classes de taille	61
2.1. Le Zinc	61
2.2. Le Plomb	62
2.3. Le Cuivre	62
2.4. Le Cadmium	63
2.5. Le Fer	64
3. Variations temporelles des concentrations métalliques chez <i>S.pilchardus</i>	66
3.1. Variations saisonnières	66
3.1.1. Le Zinc	66
3.1.2. Le Plomb	67
3.1.3. Le Cuivre	67
3.1.4. Le Cadmium	68
3.1.5. Le Fer	69
3.1.6. Variations saisonnières des pourcentages des teneurs en métaux lourds	70
3.2. Variations mensuelles globales	75
3.2.1. Le Zinc	75
3.2.2. Le Plomb	76
3.2.3. Le Cuivre	77
3.2.4. Le Cadmium	78
3.2.5. Le Fer	79
4. Variations des [C] moyennes en métaux lourds en fonction du K	80
5. Variations des [C] moyennes en métaux lourds en fonction de la reproduction	83
5.1. Le Zinc	83

5.2. Le Plomb.....	84
5.3. Le Cuivre	85
5.4. Le Cadmium	86
5.5. Fer.....	87
6.Analyse en Composantes Principales (ACP).....	88
Discussion.....	90
I. Etude de la reproduction.....	90
II. Etude de la Contamination métallique.....	94
1.En fonction des organes et du sexe	95
2.En fonction de la taille	97
3.En fonction de la saison	98
4.Variations des concentrations métalliques en fonction du K	99
5.En fonction de la reproduction.....	101
III. Etude comparative	103
1. Comparaison avec les Doses Maximales Admissibles	103
2. Etats de la contamination de la sardine étudiée par rapport à d'autres organismes de la Méditerranée.....	104
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	106
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	108
ANNEXES	
RESUME	

INTRODUCTION

Introduction

Le changement global que connaît notre planète aujourd'hui est sans équivoque. En effet, face à la multitude des changements climatiques et environnementaux, souvent d'origine anthropique, les scientifiques admettent qu'une sixième vague d'extinction est en cours. Ces changements affectent de façon pérenne les écosystèmes terrestres et marins et la biodiversité des populations. Souvent résumé aux changements climatiques et environnementaux, le changement global inclut pourtant également la surexploitation des ressources naturelles. Les écosystèmes marins constituent une cible majeure de ces changements globaux dont les effets peuvent aller de la perturbation de l'équilibre des écosystèmes à l'extinction de certaines espèces (Gillis, 2011).

La pollution métallique est l'une des formes de pollution les plus abondantes et les plus dangereuses menaçant la zone littorale. Les métaux lourds sont des micropolluants qui peuvent affecter la salubrité du milieu marin, puisqu'ils ne subissent pas une dégradation biologique ou chimique. Ils peuvent de ce fait s'accumuler dans les différents maillons des chaînes trophiques à des concentrations toxiques dans les organismes marins (Neathery et *al.*, 1975). Vu la solubilité des métaux lourds, l'analyse de l'échantillon d'eau de mer ne peut pas être considéré comme un moyen fiable pour déterminer le degré de pollution métallique du milieu marin (Philips, 1977). Toutes fois l'étude de la bioaccumulation des métaux traces au niveau des organismes qui y sont exposés constitue un moyen très important pour l'évaluation de la pollution métallique (Lagadic et *al.*, 1997).

Ces organismes vivants peuvent accumuler les polluants (dont les éléments traces) à des concentrations supérieures à celles de leur biotope (Ogindo, 2001 ; Tabinda et *al.*, 2010). Le poisson est considéré comme le meilleur indicateur de l'accumulation métallique, dont le degré d'accumulation de métaux lourds dans les tissus est influencé par des facteurs tels que l'habitat, les espèces chimiques présentes dans l'eau, les conditions de l'eau (température, transparence et pH), la quantité d'oxygène dissous, l'âge des poissons, le genre, la masse corporelle et les conditions physiologiques des animaux (Copat et *al.*, 2012).

De plus, les poissons présentent une grande diversité de types morphologiques, des régimes alimentaires, des cycles de vie, des distributions verticales et de comportements qui permettent de couvrir l'ensemble de la composante spatiale aquatique susceptibles d'être impacté par les activités humaines (Whitfield et Elliott, 2002). Le rôle important des poissons dans la structuration et le fonctionnement des réseaux trophiques aquatiques conduit à les considérer comme des éléments représentatifs et intégrateurs de l'écosystème.

Aujourd'hui, une des priorités de l'écotoxicologie est de mieux comprendre la manière dont la pollution par les métaux lourds affecte la Méditerranée, afin de les prédire et d'en limiter les conséquences. La pollution en Algérie est principalement générée par les rejets d'eaux industrielles et urbaines non traitées (Taleb et Boutiba, 2007; Grimes et *al.*, 2010). Les activités pétrochimiques, chimiques, sidérurgiques et agroalimentaires sont principalement concentrées sur la bande côtière algérienne (Grimes et *al.*, 2010).

A cet effet, de nombreuses études ont été réalisées pour évaluer les niveaux de contamination métallique des organismes marins qui fréquentent le littoral Algérien ; citons ceux de Bouhadiba (2011), Belhoucine (2012), Borsali (2015), Bouslaha et *al.* (2016), Benguendouz et *al.* (2017) et Ouabdesselam et *al.* (2017); Rouane-Hacene et *al.* (2018), Rouabhi (2020), Kaddour et *al.* (2021).

La présente étude est directement liée à ces préoccupations. Nous nous sommes intéressés essentiellement à évaluer le potentiel polluant de quelques métaux lourds (Zn, Pb, Cu, Cd, Fe) dosés chez *Sardina pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet (Wilaya de Tlemcen) en prenant en considération l'influence de certains facteurs et de voir la possibilité de l'utilisation de cette espèce comme bioindicateur de l'état des eaux marines de la baie de Ghazaouet.

Le façade maritime de la wilaya de Tlemcen recouvre 70 km de côtes et critiques et s'étend vers le large. La région de Tlemcen est le plateau continental le plus large du pays, cette géantes réserve naturelle renferme un potentiel avéré en matière de ressources halieutiques. D'ailleurs, les deux campagnes de prospection et d'évaluation réalisées dans le golf de Ghazaouet, en 2003 et 2004, dans le cadre du programme de recherche et de développement initié par le ministère de la pêche, ont

démontré que cette région est l'une des plus poissonneuses de la méditerranée (DPRH,2004).

La sardine, *Sardina pilchardus*, a donc été choisie pour cette étude, car c'est un poisson pélagique qui se caractérise par son importance socio-économique et de son abondance le long du littoral Algérien.

Le document est structuré en quatre parties :

- Une première partie bibliographique rassemblant, dans un premier temps une synthèse des connaissances sur la pollution métallique, son origine, le comportement des métaux lourds dans le milieu marin, leur capture par les organismes aquatiques, leur toxicité...etc. Ensuite, nous avons présenté la sardine en rappelant sa caractéristique biologique et écologique.
- La seconde partie, où nous avons mis les points sur les principales caractéristiques climatiques, hydrologiques et industrielles de la zone d'étude.
- La troisième partie expérimentale est dédiée au matériel et méthodes utilisés dans le manuscrit.
- Dans la quatrième partie, les résultats obtenus durant cette thèse sont affichés et discutés. Cet axe a porté sur l'étude des paramètres d'ordre biologique (Sex-ratio, structure démographique en taille, RGS....) qui se rapportant à l'espèce étudiée. Parallèlement sur le suivi des niveaux de la contamination métallique et leurs fluctuations au cours de la période d'étude.
- Une conclusion générale ainsi que les perspectives envisagées
- En fin de manuscrit, une annexe est jointe ainsi qu'une publication scientifique est également ajoutée.

PARTIE I

Synthèse bibliographique

I. Les métaux dans le milieu marin

1. Généralités sur les métaux lourds

Les métaux occupent une place prépondérante dans l'activité économique mondiale. De par leurs propriétés, les métaux lourds entrent dans la composition d'une grande variété de produits nécessaires à la vie et se retrouvent donc utilisés à différents niveaux: métallurgie, chimie, pharmacie, énergie....

La notion d'éléments traces définit les éléments chimiques constituant la croûte terrestre et dans laquelle la concentration de chacun d'eux est inférieure à 0,1%. Le cadmium, le chrome, le zinc, le plomb ou le cuivre sont des éléments traces métalliques et des éléments comme l'arsenic ou le sélénium sont des éléments traces non métalliques. Un certain nombre de ces éléments traces sont dits essentiels car inhérents aux processus biologiques comme le zinc (nécessaire à la croissance cellulaire et au métabolisme (Prasad, 1991), le cuivre (impliqué dans des processus d'oxydo-réductions des enzymes) ou le chrome (participant par exemple à la régulation de la glycémie (Balk et *al.*, 2007).

En revanche, des éléments traces tels que le cadmium, le plomb, le sélénium, ou le mercure (Hg) ne présentent aucun intérêt biologique et sont donc qualifiés d'éléments non essentiels. L'ensemble de ces éléments peuvent potentiellement tous être toxiques dès lors que leurs concentrations dans les organismes dépassent une valeur seuil. Cette toxicité est fonction à la fois des concentrations mesurées et des formes chimiques en présence (Yokel et *al.*, 2006).

Les ETM qui entrent dans l'environnement aquatique proviennent de sources naturelles et de sources anthropogènes. Leur entrée peut être le résultat soit de déversements effectués directement dans les écosystèmes marins et dans les eaux douces, soit d'un cheminement indirect comme dans le cas des décharges sèches et humides et du ruissellement agricole.

Parmi les sources anthropiques des éléments traces métalliques, nous pouvons signaler : l'activité minière, l'industrie métallurgique et sidérurgique, les engrais et pesticides appliqués dans la culture des sols, les incinérateurs et cendres d'incinération des déchets, les déchets médicaux, les déchetteries de villes, les émissions des usines et moteur à explosion, les effluents des égouts et boues d'épuration (Cotran et *al.*, 1990 ; Fergusson, 1990 ; Hong et *al.*, 1994 ; Candelone et

al., 1995 ; Du Bray, 1995 ; Alloway et Ayres, 1997 ; Freyssinet et *al.*, 2002 ; Callender, 2003 ; Plumlee et Ziegler, 2003 ; Gavilán García et *al.*, 2004 ; Sukandar et *al.*, 2006).

2. Cycle biogéochimique des métaux

Les cycles biogéochimiques sont des phénomènes de circulation cyclique suivis par les éléments et composés chimiques lors des échanges entre les différents compartiments de la biosphère: organismes biologiques, sols, eaux, atmosphère. Pour participer aux cycles biogéochimiques, il faut qu'un métal soit disponible et qu'il ait été mobilisé, c'est-à-dire rendu apte à être transporté au-delà de la zone où il s'était déposé. La disponibilité d'un métal dépend de son abondance et de la stabilité de ses minéraux. Sa mobilisation est le résultat de l'érosion chimique, qui altère les roches pour former des composés plus mobiles, ou bien de l'activité biologique : la croissance des racines broie mécaniquement les roches et expose des surfaces nouvelles à l'érosion chimique, tandis que les interactions entre les solutions du sol et les plantes modifient le pH des eaux, leur composition chimique et leur réactivité. L'activité volcanique contribue aussi à mobiliser les métaux les plus volatils (Pb, Cd, As, Hg), en extrayant les métaux des réservoirs profonds et en les injectant dans l'atmosphère (Monna, 2008).

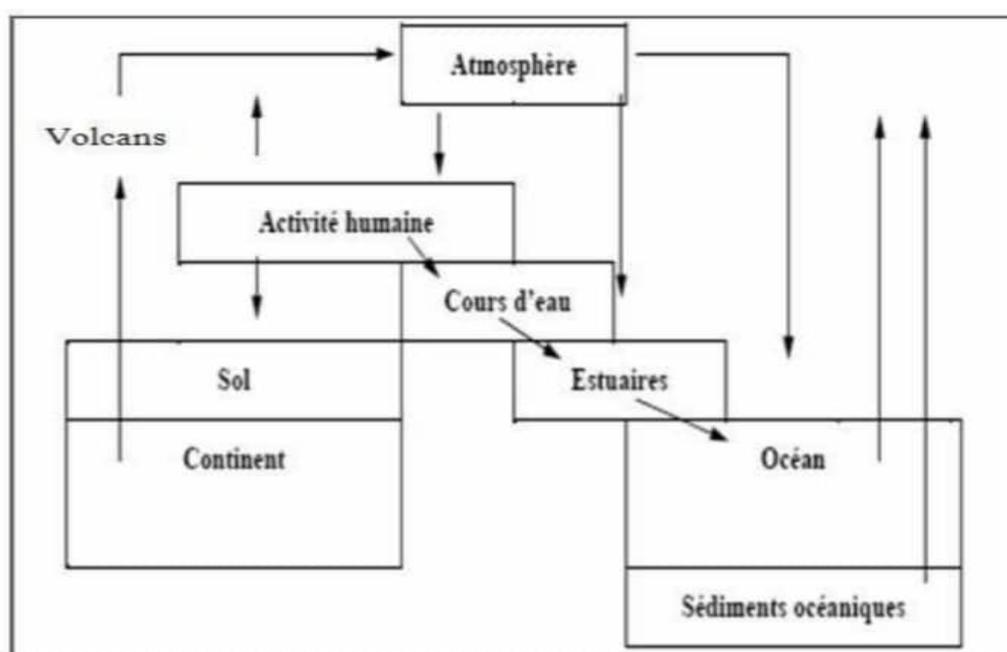


Figure 1 : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds (Miquel, 2001).

3. Comportement des ETMs

Dans les milieux aqueux, les métaux sont présents sous différentes formes chimiques. Les éléments et composés chimiques inorganiques (anions majeurs tels que les carbonates, chlorures et hydroxydes) et organiques (e.g. composés formant la matière organique dissoute) présents dans ces milieux constituent des ligands capables de complexer les ions métalliques. C'est ce que l'on appelle complexation inorganique dans le premier cas et complexation organique. La figure 2 illustre les interactions entre un ion métallique libre (M^{2+}) et les ligands avec lesquels des complexes peuvent se former (Le Goff et Bonnomet, 2004).

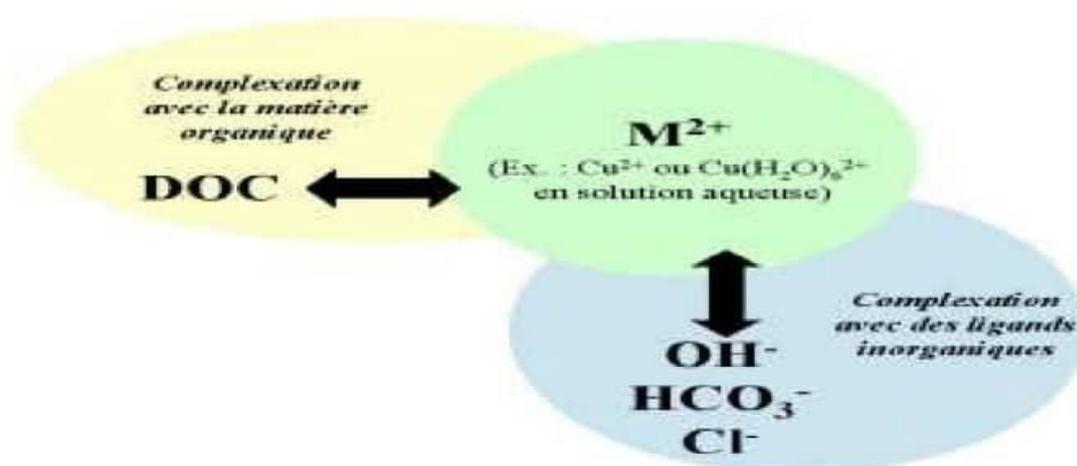


Figure 2 : Phénomènes de complexation des métaux dans l'eau
(Le Goff & Bonnomet, 2004).

Les phénomènes de complexation faisant intervenir les métaux sont gouvernés par un ensemble de paramètres physicochimiques. Ceux-ci modifient la spéciation des métaux c'est à dire qu'ils influent sur la répartition des différentes formes chimiques métalliques, mais agissent également sur l'assimilation par les organismes vivants. Parmi ces paramètres, on peut citer le pH, le potentiel d'oxydoréduction et bien sûr la quantité de ligands disponible (Le Goff et Bonnomet, 2004). C'est ainsi que, dans la plupart des cas, les concentrations métalliques totales sont connues pour être de mauvais indicateurs d'effets sur les organismes du compartiment aquatique (Meyer, 2005).

Pour que les métaux présents dans les différents compartiments de l'environnement aquatique exercent un effet sur les organismes, ils doivent être sous une forme chimique ayant la capacité d'atteindre les cibles biologiques. En d'autres termes, il est nécessaire qu'ils soient biodisponibles.

3.1. Notion de biodisponibilité et spéciation

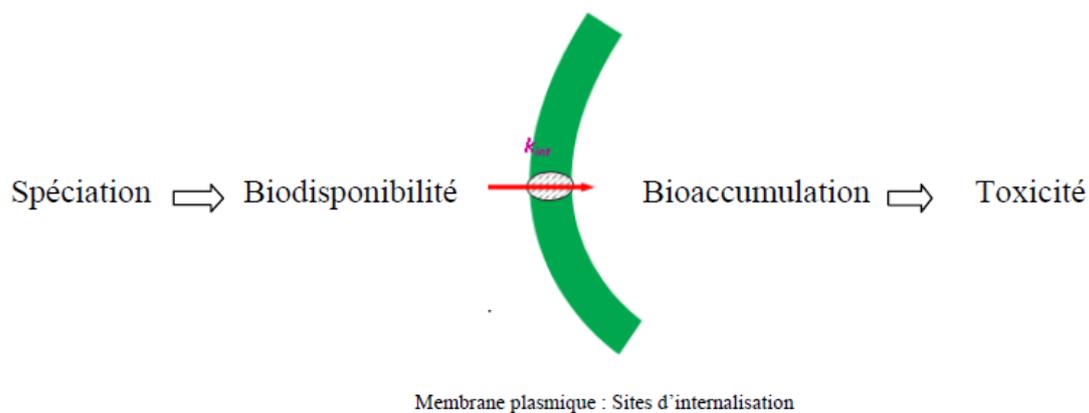
La biodisponibilité métallique est un concept qui résume l'aptitude d'un métal à être transféré du milieu aquatique vers le compartiment interne des organismes et risquant, ainsi, d'engendrer un effet toxique (Semple et *al.*, 2004). Ce transfert effectué essentiellement par l'intermédiaire de l'absorption n'est toutefois pas seulement fonction des processus d'internalisation, mais également des conditions physicochimiques du milieu, de la taille et de la nature de l'organisme (Worms et *al.*, 2006).

En milieu aquatique, un métal peut exister sous différentes formes physiques (dissoutes, particulaires et colloïdales) et chimiques (ioniques complexées ou organiques). La spéciation d'un métal est définie comme étant la distribution quantitative des différentes formes chimiques et physiques d'un métal. La spéciation est fonction de plusieurs variables physicochimiques telles que la température, la salinité, le pH, le potentiel redox, la concentration et la nature des ligands (Templeton et *al.*, 2000).

Il est nécessaire de tenir compte de la spéciation chimique d'un métal afin d'évaluer sa biodisponibilité, sa bioaccumulation ainsi que sa toxicité envers les organismes vivants (Chapman, 2001 ; Di Toro et *al.*, 2001). La membrane plasmique constitue l'interface entre l'environnement et l'organisme (Figure 3). En général, les effets toxiques ont lieu lorsqu'un métal est disponible pour un récepteur biologique à une dose appropriée et sous formes chimiques appropriées. Selon la littérature, la forme ionique est la forme la plus biodisponible d'un métal (Kushner, 1993). La somme de l'internalisation des métaux par les différentes voies de transport représente la bioaccumulation.

Les termes « bioaccumulation » (1) et « bioconcentration » (2) signifient précisément l'accumulation nette du métal dans l'organisme, respectivement (1) via le

biais de tous les compartiments d'exposition (air, eau, sédiment, réseau trophique) ou (2) par capture directe à partir de l'eau uniquement (Fairbrother et *al.*, 2007).



K_{int} : Métal internalisé

Figure 3 : Schématisation de l'interaction d'un métal avec l'organisme, menant à une toxicité (Nolan et *al.*, 2003).

4. Transfert des métaux vers les organismes marins

4.1. Modèles cinétiques des métaux lourds dans la faune aquatique

La toxicocinétique des métaux lourds est définie par le passage des éléments toxiques de l'eau et ou des sédiments vers et dans les organismes aquatiques. Ce passage des éléments trace métalliques du compartiment abiotique vers le compartiment biotique obéit à des mécanismes physiologiques en relation avec les lois biologiques (transport passif, actif, facilité). Le taux d'ingestion des métaux lourds par la faune aquatique dépend non seulement de l'espèce et son comportement dans l'eau et le sédiment mais aussi des conditions environnementales favorisant ou inhibant les processus physiologiques d'ingestion des métaux lourds. L'intérêt de la connaissance de la cinétique des toxiques est de mettre en évidence les variations des concentrations dans les différents compartiments et par conséquent les variations d'activité des toxiques au sein des organismes accumulateurs. De ce fait, il est difficile d'évaluer la fraction retenue par l'organisme et de la fraction éliminée par ce dernier, et par conséquent d'estimer un bilan métabolique (Landrum, 1988).

La figure 4 illustre la cinétique des métaux lourds. Le devenir des métaux lourds dans les organismes aquatiques correspond à une cinétique monocompartimentale de premier ordre.

Avec :

- C_o = Concentration du métal dans l'organisme benthique (mg/kg).
- K_i = taux constant d'ingestion du métal (L ou mg/kg/heure)
- K_e = taux constant d'élimination du métal (heure)

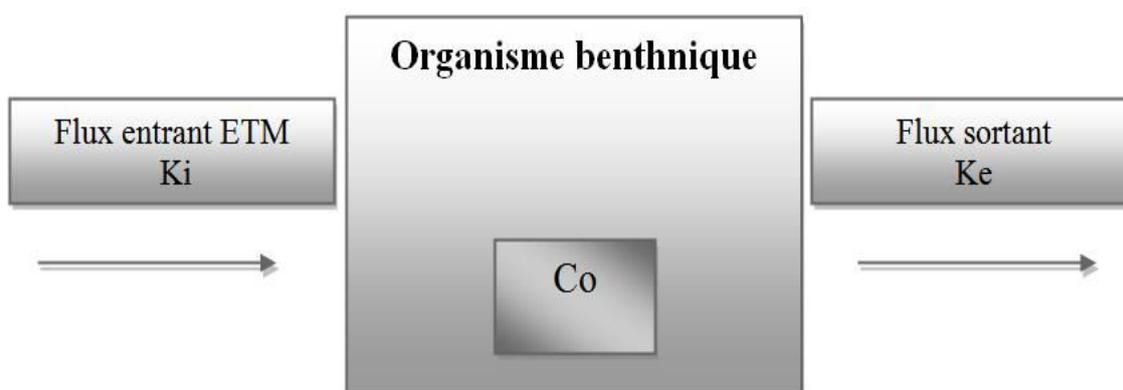


Figure 4 : Cinétique des ETM dans un organisme aquatique (modèle monocompartimental, *in* Casas 2005).

4.2. Mécanisme de capture des métaux

Pendant tout processus physiologique d'échange avec le milieu environnant, les molécules exogènes pénètrent à travers les barrières biologiques séparant l'environnement interne de l'organisme du milieu externe. Quand la contamination se fait, ces barrières (cutanées et respiratoires pour la contamination directe, et intestinale pour la contamination trophique) montrent des propriétés biologiques liées à leur structure et aux conditions physico-chimiques de l'environnement (température, pH, électrolytes). La membrane plasmique est la structure primaire impliquée dans ces processus.

Les métaux traces sont piégés par les organismes aquatiques par deux voies principales, à partir de l'eau (voie directe) et à partir de la nourriture (voie trophique). La pénétration des métaux traces nécessite donc le franchissement de structures

biologiques spécifiques comme le revêtement extérieur et surtout l'épithélium branchial pour les contaminants présents dans l'eau, et l'ensemble du tractus digestif pour les métaux associés aux particules ou contenus dans les proies ingérées. Toutes ces voies sont possibles pour un même métal et leur importance relative est fonction de la forme chimique sous laquelle le métal est dans le milieu. C'est la coexistence de ces mécanismes et la dynamique de la spéciation qui rend si complexe la notion de biodisponibilité.

Les caractéristiques de l'interface « Environnement – Organisme » ont une influence importante sur la forme métallique accumulée. Cette interface est une membrane lipidique, non polaire, imprégnée de molécules qui vont intervenir dans le transport de substances polaires essentielles à travers la membrane (Luoma, 1983).

- **Capture des métaux en solution**

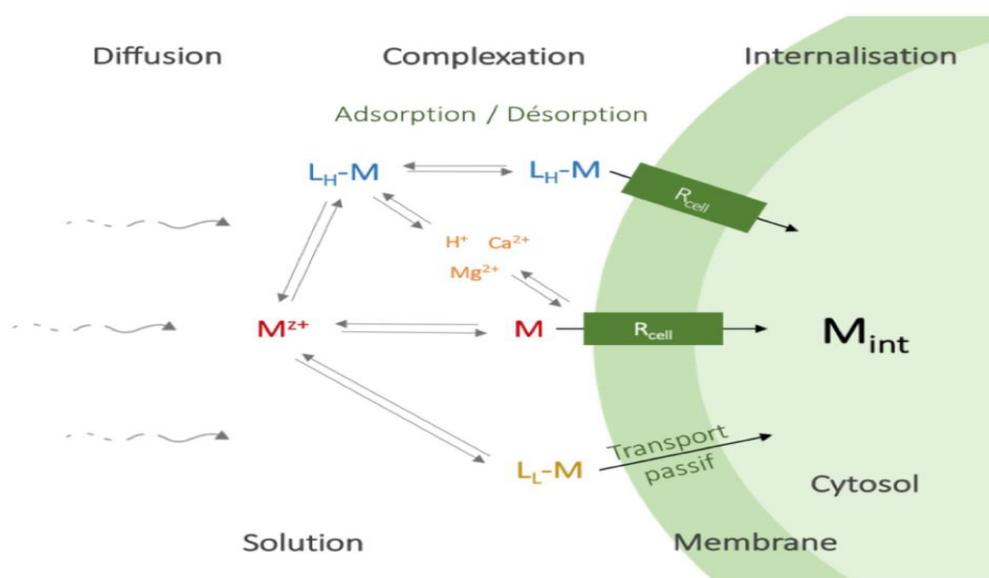
Les organismes aquatiques baignent dans des solutions où les concentrations en métaux traces varient du ng.L^{-1} dans l'océan ouvert à des niveaux approchant le $\mu\text{g.L}^{-1}$ dans les zones côtières. La capture, par la surface perméable, de beaucoup de ces métaux traces en solution se fait généralement par diffusion passive et ne requière aucune dépense d'énergie (Luoma, 1983 ; Phillips et Rainbow, 1994 ; Anandraj et al., 2002). Ainsi, les formes métalliques liposolubles ou à polarité réduite (ex. HgCl_2 , CH_3HgCl , etc), peuvent traverser la membrane via la diffusion passive peut être facilitée en utilisant des protéines de transports associées à la membrane (diffusion par gradient de concentration).

La présence d'une forte corrélation entre la concentration de l'ion libre d'un métal et les effets biologiques observés a incité la formulation de divers modèles de prédiction de la biodisponibilité / toxicité. Parmi les modèles les plus étudiés, il y a le *Free Ion Activity Model* (FIAM) et le *Biotic Ligand Model* (BLM) qui sont couramment utilisés pour évaluer leurs potentiels risques écotoxicologiques (Campbell et al., 2002).

Le FIAM est basé sur l'activité de l'ion libre en solution. Il traduit l'interaction du métal libre (M^{z+}) chez un organisme en quatre étapes clés (Figure 5): (1)transport de masse de l'ion métallique (M^{z+}) et ses complexes en solution;(2) dissociation/formation des complexes métalliques en solution ;(3) adsorption du métal

sur la surface de l'organisme (M-Rcell) ;(4) internalisation lente du métal (Wilkinson and Buffle, 2004).

En plus des étapes citées ci-dessus, le BLM tient compte d'une manière explicite, de l'effet de compétition des ions tels que (H^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}) avec les « ligands biotiques ». Les ligands biotiques peuvent être des sites de transport, des sites actifs sur des enzymes ou simplement des sites arbitraires. Comme c'est un modèle d'équilibres chimiques, plus la concentration de l'ion compétiteur est grande, moins il y a d'interactions des ions métalliques d'intérêt avec les sites sensibles (Borgmann,2008 ; Norwood et al., 2003).



- Complexes entre ligands (L) et métaux (M) est illustrée selon qu'il s'agisse d'un ligand hydrophile (LH) ou lipophile (LL).
- Rcell représente des sites de transport membranaires
- Mint le métal internalisé.

Figure 5 : Concept général du FIAM et du BLM (Worms, 2006).

- **Capture des métaux associés aux particules**

Les particules présentes dans les eaux naturelles peuvent être inorganiques ou organiques et les métaux se lient avec chacune de ces fractions par des mécanismes variés. La capture directe des métaux à partir d'une particule nécessite toujours l'ingestion de celle-ci et son piégeage à partir du tractus alimentaire. D'autres cheminements ne nécessitant pas l'ingestion existent, comme la pinocytose dans les

branchies (Phillips et Rainbow, 1994). Les processus de digestion qui relâchent les éléments de la particule matrice sont toujours nécessaires après l'entrée des métaux dans le tractus alimentaire. En effet, la biodisponibilité des métaux ingérés dans la nourriture solide dépend des processus de digestion du consommateur et de la concentration et nature chimique du métal dans la nourriture. Ceux-ci varient beaucoup selon le pH digestif et selon l'activité des enzymes digestives en relation avec les substrats présents dans la nourriture.

4.3.Mécanisme d'excrétion des métaux

Parallèlement aux étapes de pénétration et de répartition des contaminants au sein de l'organisme, de nombreux mécanismes physiologiques et biochimiques contribuent à les éliminer. Tous les organismes aquatiques piègent des métaux en quantités importantes mais pour beaucoup d'espèces, l'excrétion des métaux accumulés n'est pas négligeable. Les quatre processus principaux sont (Figure 6): la défécation, la perte via la surface perméable, la désorption passive et les granules d'expulsion (Phillips et Rainbow, 1994).

L'organe d'excrétion des métaux est le rein. Les métaux stockés dans les granules peuvent être perdus à travers le tractus alimentaire sous forme de fèces (Rainbow, 1990 ; Wang et Fisher, 1997). L'égestion par les fèces est le processus dominant pour la décontamination métallique (Simkiss et *al.*, 1982). Ces métaux présents dans les lysosomes ou les sphérocristaux sont excrétés par exocytose du contenu vacuolaire, par épanchement de podocytes rénaux ou encore par diapédèse de granules dans le tractus urinaire. A cette voie principale via le rein s'ajoute la voie trans-tégumentaire, par synthèse du byssus ou de la coquille ou encore par les gamètes lors de la ponte (Cossa et Lassus, 1989 ; Wang et Fisher, 1998). Certains de ces mécanismes d'excrétion ont un caractère nettement épisodique, ce qui est susceptible d'amplifier les variations temporelles des concentrations en métaux chez les bivalves.

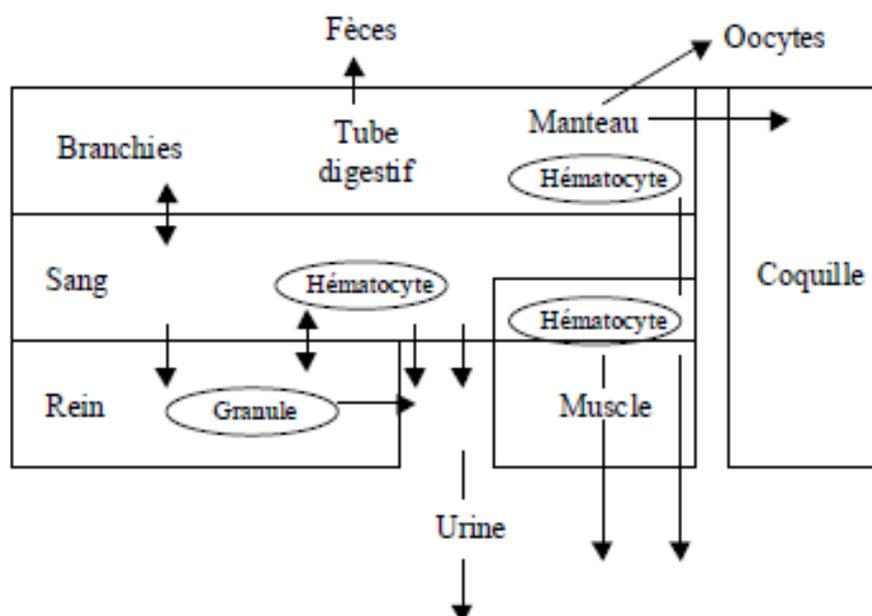


Figure 6 : Mécanismes d'excrétion des métaux chez les bivalves (George, 1980).

5. Bioamplification des métaux lourds

C'est une concentration d'un toxique après consommation de plus petit organisme de la chaîne par le plus grand; il s'agit dans ce cas de la possibilité pour un toxique d'être cumulé par une chaîne trophique, si le toxique n'est pas dégradé ou éliminé, il va s'accumuler de plus en plus au niveau de chaque maillon de la chaîne alimentaire (Boutiba, 2004).

6. Toxicité par les métaux lourds

Naturellement, des effets biologiques peuvent être associés à l'internalisation de métaux traces. Ils peuvent entre autres se traduire par une altération de la photosynthèse, de la respiration, de la motilité ou de la croissance d'un organisme (Campbell et *al.*, 2002). La toxicité d'un élément métallique dépend en effet d'une multitude de facteurs tels que la nature de l'organisme étudié, la voie d'exposition et la forme chimique de l'élément (Zielhuis, 2006).

Selon Thomazeau (1981), il existe trois types de toxicité (aigüe, toxicité sublétales et chronique). Ces derniers sont classés selon la rapidité d'apparition, la sévérité et la durée des symptômes et la rapidité d'absorption de la substance toxique.

7. Caractéristiques des métaux étudiés

Dans la présente étude cinq métaux ont été étudiés en particulier : le Cadmium, le Zinc, le Cuivre, le Plomb et le Fer.

1. Le Cadmium

C'est un métal blanc argenté ayant des propriétés physiques proches de celle du Zinc. Il est ductile (résistance à l'étirement), malléable (résistance à l'aplatissement) et résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux. Le Cadmium est un polluant lié à plusieurs processus industriels modernes, c'est l'un des métaux les plus toxiques non essentiel dans l'environnement, en plus il se produit sur la région agricole comme contaminant des engrais phosphoreux et en boue d'épuration qui est également utilisé pour la fertilisation (Prankel et *al.*, 2004).

1.1. Usages

Le Cadmium est généralement utilisé dans :

- Fabrication des baguettes de soudure
- Fabrication des accumulateurs électriques
- Industrie atomique
- Pigments pour peintures.

1.2. Origine

- Les sources naturelles sont assurées essentiellement par les agents atmosphériques et l'érosion terrestre qui libèrent et transportent le Cadmium ainsi que d'autres oligo-éléments dans le milieu marin (Casas, 2005).
- Industrielle : métallurgie du Zinc, du Plomb, traitement de surface, industrie chimique (matières plastiques)
- Les batteries
- Agricoles: engrais chimiques (Gaujous, 1995).

1.3. Toxicité

Le Cadmium est considéré comme le métal le plus apte à s'accumuler dans les chaînes alimentaires (Milhaud et *al.*, 1998). Le Cadmium est un poison cumulative très toxique qui s'élimine très lentement de l'organisme, sa demi vie biologique est de plusieurs années (>10 ans), il provoque :

- Des effets Chez l'homme: des atteintes rénales, troubles digestifs, hypertension artérielle, altération osseuses (déformation du squelette).
- Des effets écologiques : toxicité aigüe chez les organismes supérieurs et des algues à partir de 0.1 mg/l, les bactéries y sont moins sensibles, le cadmium se concentre comme le mercure dans la chaîne trophique (Gaujous, 1995).

2. Le Zinc

Le Zinc est un oligo-élément nécessaire au métabolisme des êtres vivants, essentiel pour de nombreux métallo-enzymes et les facteurs de transcription qui sont impliqués dans divers processus cellulaires tels que l'expression des gènes, transduction du signal, la transcription et la réplication (Gunnar et *al.*, 2007).

2.1. Usages

Le Zinc est utilisé pour la couverture des bâtiments, la chimie de caoutchouc, il est contenu dans certaines peintures antisalissure (Benmansour, 2009).

Il entre dans la composition de divers alliages (laiton, bronze, alliages légers). Il est utilisé dans la construction immobilière, les équipements pour l'automobile, les chemins de fer et dans la fabrication de produits laminés ou formés. Il constitue un intermédiaire dans la fabrication d'autres composés et sert d'agent réducteur en chimie organique et de réactif en chimie analytique (Belabed, 2010).

2.2. Origine

- Corrosion des canalisations et des toitures
- Industrie : métallurgie, traitement de surface, galvanoplastie, savonnerie, fabrication de bougie (Gaujous, 1995).

2.3. Toxicité

L'exposition au Zinc de longues périodes peut entraîner des anémies, en particulier en association avec une déficience en Cuivre (Leblanc et *al.*, 2004). Sa toxicité pour les organismes aquatiques n'en fait pas un contaminant prioritaire, bien qu'il agisse, à fortes concentrations, sur la reproduction des huîtres et la croissance des larves. La présence de Cuivre dans le l'eau de mer semble produire un effet de synergie sur la toxicité du Zinc, dont ce dernier métal avec le Cadmium sont, en général, considérés comme antagonistes, et leur présence simultanée réduit la toxicité du Zinc (Asso, 1982).

3. Le Cuivre

Le Cuivre est métal rouge bleuâtre, ductile et malléable possédant une excellente conductivité électrique et thermique, c'est aussi un oligo-élément essentiel entrant dans la constitution de diverses enzymes.

3.1. Origine

Le transport par le vent des poussières de sol, les éruptions volcaniques, les décompositions végétales, les feux de forêts constituent les principales sources naturelles d'exposition (ATSDR, 1990). Les principales sources anthropiques sont l'industrie (métallurgie, traitements des surfaces, galvanoplastie), corrosion des tuyaux (Gaujous, 1995).

3.2. Usages

Le Cuivre est un métal très employé à cause de ses propriétés physiques et de sa conductibilité électrique et thermique. Il est utilisé dans la métallurgie, dans la fabrication des alliages de Bronze (avec l'Etain), de Laiton (avec le Zinc) ou de joaillerie (avec l'Or et l'Argent). Il est très largement utilisé dans la fabrication de matériaux électriques (fils, enroulements de moteurs, transformateurs), dans la plomberie, dans les équipements industriels, dans l'automobile et en chaudronnerie (Casas, 2005).

3.3. Toxicité

Toxique sur les animaux et les micro-organismes à des doses inférieures au 1 mg/l, diminue l'activité photosynthétique (végétaux marins), provoque une altération des branchies et retarde la ponte chez les poissons. Le Cuivre est plus toxique sous forme ionique que lorsqu'il est complexé avec la matière organique ou qu'il précipite sous forme de carbonate (Gaujous, 1995).

4. Le Plomb

Élément chimique métallique de la famille des cristallogènes, de symbole Pb, rarement disponible à l'état natif, le Plomb est très souvent associé au Zinc dans les minerais. Ce métal est dense paradoxal, d'une couleur grise argentée, mou, malléable, flexible et facile à laminier, il se ternit à l'eau, facile à tréfiler tant qu'il est sous forme de gros fils (Chiffolleau et *al.*, 2001).

4.1. Origine

Le Plomb est majoritairement présent dans le compartiment atmosphérique et provient des fonderies, des industries de la métallurgie, de la combustion du charbon, de l'incinération des déchets et des gaz d'échappement des véhicules. Le flux le plus important de Plomb à l'océan provient de l'atmosphère (Gagneux-Moreaux, 2006).

En milieu marin, il arrive majoritairement par les apports atmosphériques et le lessivage des zones urbanisées.

4.2. Usages

Le Plomb est principalement utilisé dans les batteries électriques, son utilisation comme additif antidétonant dans les essences, de la sidérurgie, des industries de décapage et de traitement des métaux, de l'incinération des déchets, de la combustion du bois, des cimenteries et des industries de fabrication des accumulateurs (Pichard et *al.*, 2003).

4.3. Toxicité

Le Plomb est l'un des polluants les plus importants à l'heure actuelle du fait de sa non dégradabilité et de son aspect cumulatif dans les milieux naturels et dans les organes. Il est l'un des quatre métaux les plus nocifs pour la santé, en particulier pour les vertébrés homéothermes (Ramade, 2000).

Chez l'homme, le Plomb est un poison cumulatif responsable du saturnisme et il est toxique dans l'organisme sous toute ses formes (Casas, 2005). L'anémie est un signe caractéristique d'une intoxication par le Plomb, les enfants sont plus sensibles que les adultes, le système nerveux est affecté aussi. L'empoisonnement par le Plomb varie avec la durée et l'intensité de l'exposition (Cheftel, 1977).

Chez les poissons le Plomb tout comme le Cuivre augmente avec l'âge, il s'accumule dans le foie, les reins et la colonne vertébrale (Amiard, 1988).

5. Le Fer

Le fer est un élément chimique, de symbole Fe et de numéro atomique 26. Laisse à l'air libre en présence d'humidité, il se corrode en formant de l'hématite Fe_2O_3 . En solution, il présente deux valences principales (Matias, 2008).

- Fe^{2+} (le fer ferreux) qui présente une pale couleur verte;
- Fe^{3+} (le fer ferrique) qui possède une couleur rouille caractéristique.

5.1. Usage

L'utilisation du fer est largement appliquée sous forme d'acier dans la construction. Mais le fer est aussi utilisé dans l'industrie technologique sous forme de fer métallique et d'oxydes, depuis des décennies pour fixer des informations analogiques ou numériques sur des supports appropriés (bandes magnétiques, cassettes audio et vidéo, disquettes) (Matias, 2008).

5.2. Toxicité

Il ne présente pas de toxicité directe pour les êtres vivants (Gaujous, 1995). C'est un oligo-élément indispensable à tous les êtres vivants, intervient dans les constitutions des molécules d'hémoglobine, des hématies et des myoglobines des muscles. Toutefois, l'Organisation Mondiale de la Santé recommande de ne pas dépasser 0.3 g/l (Matias, 2008).

II. Présentation de l'espèce cible

1. Importance écologique et économique des petits poissons pélagiques

Les espèces "pélagiques" sont les poissons vivants entre la surface et le fond des océans (appelée "zone pélagique" ou "colonne d'eau"). Les petits poissons pélagiques peuvent être aussi définis comme les poissons du plateau continental, également appelés poissons bleus. Ils regroupent plusieurs centaines d'espèces ayant des caractéristiques communes : une coloration bleue sombre sur le dos et argentée sur le ventre censée les protéger des prédateurs (oiseaux marins), une forme allongée et un mode de vie souvent grégaire (qui se rassemblent en bancs). Sardine (*Sardina pilchardus*), anchois (*Engraulis encrasicolus*), sardinelle ronde (*Sardinella aurita*), sardinelle plate (*Sardinella maderensis*), hareng (*Clupea harengus*) et chinchard européen (*Trachurus trachurus*), sont les principales espèces de petits poissons pélagiques. Ces espèces tiennent une place considérable dans l'équilibre alimentaire de nombreuses populations parmi les plus pauvres dans cette région. Ces espèces, qui représentent les volumes les plus importants dans les captures de toutes les mers du globe, sont aussi les espèces les plus convoitées par l'industrie minotière. En effet, les petits pélagiques constituent la plus grande part des captures marines mondiales. Ils représentaient, selon la FAO (2011), 22% des captures mondiales totales (soit 19.9 millions de tonnes) en 2009. En Méditerranée, les petits pélagiques (sardines, anchois, maquereaux, sprats et sardinelles) totalisent presque 50% des débarquements totaux annuels de la pêche (Ramon et Castro, 1997). Parmi eux, l'anchois et la sardine sont les espèces les plus importantes en termes d'intérêt commercial et de biomasse (FAO, 2005; Pinengar et al., 2003). Ces deux espèces sont ciblées depuis 1950 par la pêche industrielle pour la fabrication de farine et d'huile de poisson.

Les petits poissons pélagiques comme la sardine et l'anchois sont des espèces clés dans la chaîne trophique marine et leur présence est nécessaire pour maintenir l'équilibre des écosystèmes (Smith et al., 2011). Étant planctonophages, ils peuvent exercer un contrôle sur l'abondance du zooplancton qu'ils consomment, contrôle "top-down" ou bien sur celle de leurs propres prédateurs, contrôle "bottom-up" selon les situations (Bakun, 1996). Par exemple, des effondrements de populations de sardines et d'anchois ont été accompagnés par des fortes baisses de la quantité d'oiseaux marins et de mammifères marins (Chavez et al., 2003). Par conséquent, des

changements majeurs dans l'abondance de ces espèces peuvent être accompagnés par des changements marqués dans la structure de l'écosystème (Alheit et *al.*, 2009). La prédation naturelle (mammifères, oiseaux marins, poissons) et la pêche (artisanale près des côtes et industrielle plus au large) constituent les principales sources de mortalité des individus adultes.

2. Généralités sur les clupéidés

Poissons grégaires argentés, à nageoires molles sans rayons épineux, portant une courte nageoire dorsale, et dont les nageoires ventrales sont situées sous cette dernière, ils n'ont pas de nageoire adipeuse, et leurs écailles sont grandes. Mais ils détectent les sons et les variations de pression dans l'eau grâce à une liaison directe entre la vessie natatoire et l'oreille interne. Les clupéidés sont répandus des tropiques aux zones tempérées de toutes les mers, quelque 20 millions de tonnes de clupéidés, soit environ le quart des pêches mondiales, sont pêchées annuellement (Muus et *al.*, 1998).

Les clupéidés constituent la base nourricière de nombreux écosystèmes (Bakun, 1996 ; Cury et *al.*, 2000).

Parmi les clupéidés qui fréquentent le plus les côtes algériennes, on peut citer la sardine *Sardina pilchardus*, l'allache (sardinelle) *Sardinella aurita*, la fausse allache *Sardinella moderensis* (Djabali et *al.*, 1993).

Notre travail a porté sur une espèce de poisson très consommée en Algérie *Sardina pilchardus* appelée communément la sardine.

3. Présentation de la Sardine « *Sardina pilchardus* »

3.1. Position systématique et terminologie commune

Les espèces les plus communes de la Sardine correspondent au genre *Sardina* et *Sardinop*, qui avec les genres *Engraulis* (anchois), *Scomber* (maquereaux) et *Trachurus* (chinchards), constituent le groupe des petits pélagiques qui dominent les eaux tempérés et subtropicales. Les Sardines appartiennent à un groupe taxonomique complexe qui regroupe les poissons pélagiques marins ou dulçaquicoles comme les aloses et les harengs (Lavoué et *al.*, 2007).

Les deux principaux genres de Sardine se répartissent dans les différentes zones d'upwellings du monde, où les eaux sont froides à tempérées et où la production primaire est importante (Whitehead, 1985 ; Parrish et *al.*, 1989).

Dans le genre *Sardina*, il n'existe qu'une seule espèce, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) appelée aussi Sardine commune.

- La position systématique de ce poisson est la suivante (Dob, 1988) :

Embranchement : Vertébrés

Sous-embranchement: Gnathostomes

Super –classe: Poissons

Classe : Ostéichtyens

Sous-classe: Actinoptérygiens

Super-ordre : Téléostéens

Ordre : Clupéiformes

Sous-ordre : Clupéoidés

Famille : Clupéidés

Genre : *Sardina*

Espèce : *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792)

- Cette espèce est connue sous plusieurs noms dans différents pays

Algérie : Sardine, sardina,

Angleterre : European pilchard

Allemagne : Sardine, pilchard

France: Sardine commune

Italie :Saraghina, Sarda, sard, sardella, sardina.

Japon :Iwashi, Sardinopa .

Espagne : Sardina, sardine europea.

Turquie : Sardalya.

Fishbase .org(2013).

3.2. Caractéristiques de l'espèce

La sardine est à coloration sur la partie dorsale vert ou olive, flancs dorés devenant blanc argenté sur le ventre, une série de taches sombres sur le haut des flancs, avec parfois une deuxième rangée au-dessus (Grimes et *al.*, 2004).

La sardine caractérisée par leurs grosses écailles s'avancant jusqu'à la nageoire caudale, où elles forment deux ailettes latérales, la nageoire dorsale prend naissance dans une sorte de sillon formé par les écailles qui recouvrent presque entièrement son extrémité postérieure. Un autre caractère typique des sardines est l'allongement des deux rayons de la nageoire anale et la présence de paupière adipeuses à l'avant et à l'arrière de l'œil (Pivnicka et Cerny, 1996).

Elle possède environ 80 écailles le long des flancs; (Muus et *al.*, 1998). Sa taille maximale est en général de 25 cm, mais plus commune de 15 à 20 cm. C'est un poisson pélagique jusqu'à 180 m de profondeur, profondeur préférentielle de jour de 25-55 m et 15-35 m la nuit (Grimes et *al.*, 2004).



Figure 7: *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) (Photo originale).

3.3. Différences avec les autres espèces les plus similaires

La sardine peut se distinguer des jeunes aloses (genre *Alosa*, est un poisson migrateur de la famille des Clupeidae) par l'absence d'une fente médiane à la mâchoire supérieure et par la position de l'extrémité postérieure de la bouche. Chez la

sardine, cette dernière est située en avant de la verticale qui passe par le centre de l'œil.

Les deux espèces de sardinella, *Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*, diffèrent de *Sardina pilchardus* par l'absence de stries rayonnantes sur l'opercule et des points sombres sur les côtés du corps.

4. Ecologie de l'espèce

Les éléments d'écologie retenus dans cette partie sont :

- Le régime alimentaire
- La distribution géographique.
- L'habitat.
- Le Comportement.

4.1. Le régime alimentaire et la digestion

4.1.a. Appareil digestif

L'appareil digestif se compose de mâchoires qui sont subégales, dont les dents tapissent l'ensemble de la cavité buccale disposé en table de broyage, pharynx, œsophage, estomac et un duodénum (Darley, 1992).

4.1. b. Le régime alimentaire

La sardine et les autres petits poissons pélagiques sont surnommés « fourrage de la mer », en effet, ils constituent une nourriture abondante qui va servir à nourrir d'autres êtres.

Ils sont au milieu de la chaîne alimentaire (pyramide des biomasses), c'est-à-dire qu'ils sont à la fois proies et prédateurs (Fisher et *al.*, 1987).

La Sardine se nourrit principalement de plancton, en particulier de petits crustacés comme les copépodes, de larves de mollusques et d'œufs et alevins de poissons (Quéro et Vayne, 1997 ; Cunha et *al.*, 1992), avec une importance relative de ces proies selon le secteur de la saison (Verela et *al.*, 1988 ; Garrido et *al.*, 2006). La sardine ingère directement le zooplancton et filtre le phytoplancton (Bode et *al.*, 2004). La composition de son alimentation reflète bien la composition planctonique du milieu (Conway et *al.*, 1991).

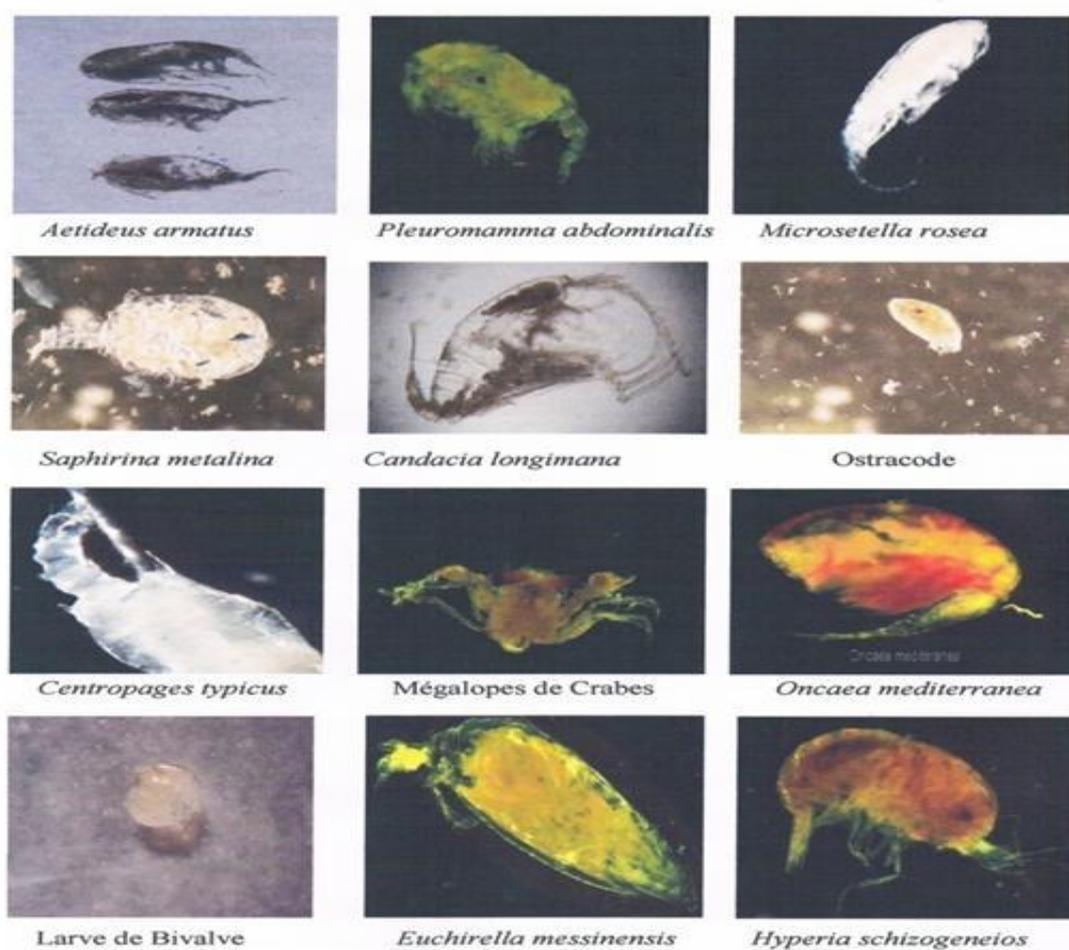


Figure 8 : Proies consommées par la sardine (Fisher et al., 1987).

4.2. La distribution géographique

La sardine européenne, *Sardina pilchardus* est rencontrée tout le long des côtes atlantiques et méditerranéennes (Figure 9). En Méditerranée, la sardine se trouve tout le long de la bordure Nord des bassins occidental et oriental, des côtes espagnoles jusqu'au sud de la Turquie, en mer Egée et en mer Noire. Sa présence est rare dans le bassin oriental et au large des côtes lybiennes (Fischer et al., 1987). En Atlantique Est, son aire de distribution se prolonge de la mer du Nord au Sénégal (Fréon et al., 1978; Mouhoub, 1986), aux archipels des Açores, de Madère et des Canaries (Furnestin, 1952; Silva, 2003). Sur la côte du Nord-Ouest de l'Afrique, l'aire d'extension des sardines est très liée à celle des Upwellings côtiers et sa distribution se limite aux isothermes de surface 12 à 20°C (Binet et al., 1998).

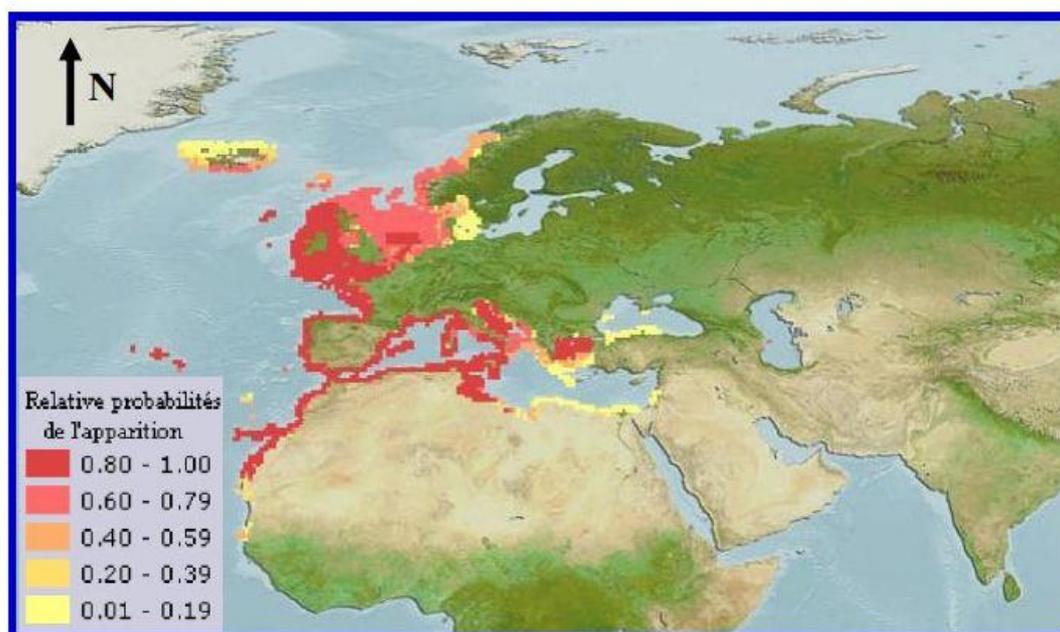


Figure 9:Répartition géographique de *Sardina pilchardus* (Kaschner *et al.*, 2013).

4.3. L'habitat

Sardina pilchardus peut vivre à une profondeur de 180 m, mais on la trouve généralement dans les profondeurs de 35 à 55m le jour et de 13 à 35m la nuit (Fisher *et al.*, 1987). Les sardines âgées vivent plus au large que les jeunes (Mouhoub, 1986).

En méditerranée, elle vit au niveau du plateau continental et en hiver elle se trouve sur les fonds de 35 à 100m. Les bancs compacts qu'elle forme pendant le jour de 25 à 55m, tendent à se disperser la nuit sur les fonds de 15 à 35m (Clofman, 1984).

4.4. Le comportement

La sardine est une espèce grégaire dont la répartition est conditionnée surtout par la température et notamment par la richesse en plancton et l'hydrologie (Forest, 2001), elle forme des bancs parfois très importants qui peuvent composés d'individus d'âge et de sexe différent mais détaillés équivalentes (Furnestin, 1943 ; Lee, 1961 ; Forest, 2001), par contre si la sardine est moins importante, les bancs seront composés de plusieurs espèces de petits pélagiques, notamment des anchois et/ou des chinchards (Cury *et al.*, 2000).

Les poissons planctophages effectuent des migrations verticales entre la nuit et le jour, suivant exactement celles du plancton animal dont ils se nourrissent, en période de pleine lune cette migration est réduite par le risque d'exposition aux prédateurs qui peuvent profiter de la brillance des poissons facilement repérables à partir des couches d'eau inférieures. La sardine effectue des déplacements saisonniers de faible amplitude, commandés par la nutrition, la reproduction et les conditions thermiques (Fréon et *al.*, 2005). La sardine est une espèce sténotherme, elle supporte mal les grandes variations de température, elle est également euryhalin et recherche les eaux salées (Soualili, 1997). En Méditerranée, la sardine n'est pas migratrice car les conditions écologiques de température et de salinité sont plus stables (Dob, 1988).

Par contre, elle est migratrice en Atlantique ; où la reproduction, la nutrition, la température ainsi que la salinité sont des facteurs influençant sa migration, il existe aussi un autre facteur qui est l'âge du poisson (Furnestin, 1945).

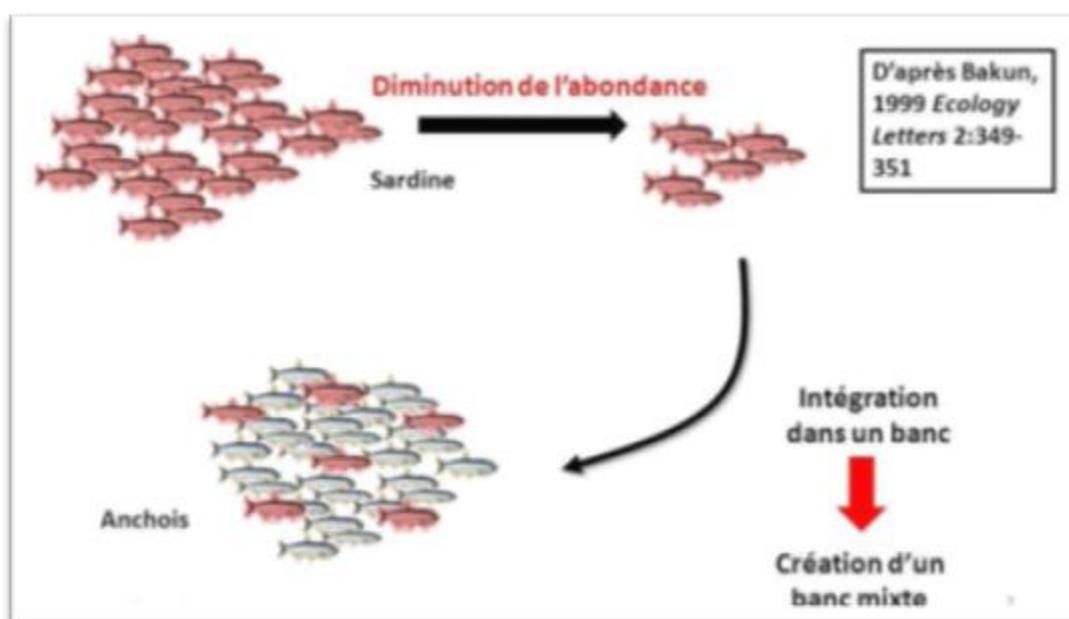


Figure 10:Création d'un banc mixte (Bakun,1999).

5. Biologie de la sardine

5.1. Cycle de reproduction et croissance

La sardine présente un cycle de vie qui se caractérise essentiellement par une croissance rapide, une durée de vie courte, une taille petite, une maturation rapide associée à une grande fécondité et une mortalité élevée surtout en phase larvaire

(Rochet, 2000 ; Rose et *al.*, 2001). Elle vit sur le plateau continental à une profondeur maximale de 150m et sa présence est souvent associée à celle de l'anchois, *Engraulis encrasicolus* (Abad et *al.*, 1998).

La taille de la sardine peut atteindre 27cm dont 90 % est atteinte durant la première année de son cycle. La croissance durant les années qui suivent est beaucoup plus faible malgré une longévité, qui peut aller jusqu'à 14 ans (Whitehead, 1985). Dans la région du Nord-Ouest Africain, la taille de la sardine augmente au nord (FAO, 2007) ceci est probablement en relation avec une richesse trophique du milieu et au sud (température engendrée par l'upwelling) auquel sont soumises ces côtes. La sardine atteint sa maturité sexuelle durant les deux premières années de sa vie. La croissance et la maturité sexuelle présentent de larges variations tout au long de l'aire de répartition (Monteiro et Jorge, 1982 ; Pérez et *al.*, 1985 ; Alemany et Alvarez, 1993 ; FAO, 2001a).

En général, le cycle de vie d'un poisson peut être schématisé par deux phases, la phase larvaire et la phase adulte, reliées entre elles par deux phénomènes biologiques : le recrutement et la reproduction (Burton, 1966).

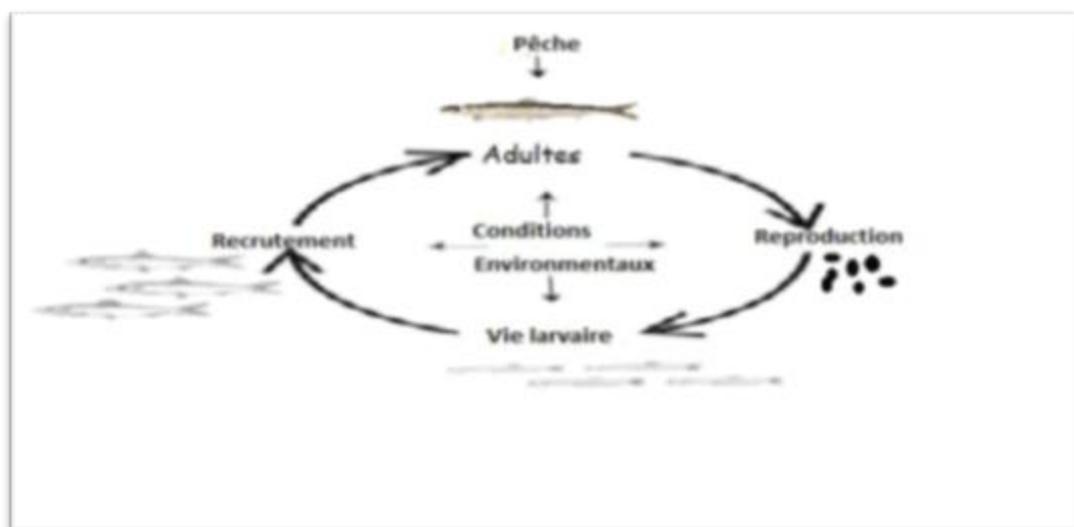


Figure 11: Cycle de vie de la Sardine, *Sardina Pilchardus* (Chlaida, 2009).

5.2. Ponte de la sardine

La Sardine pond principalement entre Septembre et Juin sur les côtes Atlantiques Européennes et en Méditerranée, et d'Octobre à Juin sur les côtes

Africaines (Whitehead, 1985 ; Ettahiri et *al.*, 2003 ; Amnezoui et *al.*, 2006). Elle est fortement corrélée aux facteurs environnementaux, comme la température et l'hydrodynamisme (Oliver et *al.*, 2001). Elle s'effectue entre 12°C et 18°C et se prolonge sur la majeure partie du plateau continental (Larraneta, 1960 ; Ettahiri et *al.*, 2003 ; Coombs et *al.*, 2006 ; Bernal et *al.*, 2007).

Dans l'Atlantique du Nord-Est, les Sardines pondent préférentiellement en hiver et au printemps, la durée de la ponte augmente du Nord (1 à 2 mois) au sud (6 mois) (Riveiro et *al.*, 2000 ; Ettahiri et *al.*, 2003 ; Coombs et *al.*, 2006 ; Stratoudakis et *al.*, 2007).

En Méditerranée, la ponte se prolonge également sur 6 mois avec un maximum en hiver (Abad et Giraldez, 1993 ; Ganias et *al.*, 2007).

Les Sardines possèdent une forte fécondité, chaque femelle peut libérer jusqu'à 35 000 œufs pélagiques (Whitehead, 1985). Cependant, la mortalité des larves est importante et influence fortement le recrutement. La stratégie utilisée pour compenser la forte mortalité potentielle est basée sur une allocation d'énergie à la reproduction favorisant ainsi la production massive d'œufs (Cury et Roy, 1989 ; Bakun, 1996). La phase larvaire dure 60 jours (Ramirez et *al.*, 2001), et les larves vivent entre 10 et 40 m de profondeur et se dispersent plus largement la nuit (Olivar et *al.*, 2001).

La Sardine est ovipare, elle ne s'accouple pas. Cependant, il y a rapprochement des sexes par bandes. Ovules et laitances sont émis dans l'eau, un seul spermatozoïde parmi les milliers de spermatozoïdes qui va pénétrer par un micropyle pour assurer la fécondation (Bernabé, 1997).

5.3. Période de reproduction et de ponte maximale

La période de reproduction de la sardine dans les côtes Atlantiques Européennes dure dix mois, de Septembre à Juin. Les pontes sont faibles de Septembre à Octobre, puis elles s'intensifient rapidement jusqu'à la fin de Décembre pour atteindre leur maximum début Janvier. Elles restent néanmoins assez fortes jusqu'en Février, puis décroissent rapidement pour prendre fin entre Mai et Juin (Aldebert et Tournier, 1971).

Les pontes maximales de Sardine sont observées dans des eaux de mélange, dans une gamme de température comprise entre 11,5°C et 14°C et dont la salinité varie de 37,6 à 38‰ (Aldebert et Tournier, 1971).

La température joue un rôle essentiel dans la reproduction de ces espèces tandis que la salinité semble avoir très peu d'influence. Les pontes ont lieu dans un milieu présentant des conditions thermiques précises et dans un environnement dans lequel la nourriture est abondante. En effet, la survie des larves est dépendante de la quantité et de la qualité de nourriture (Palomera et *al.*, 2007).

5.4.Respiration

La respiration se fait par un appareil respiratoire qui contient quatre paires de branchies operculées et qui sont complétées par la vessie gazeuse, qui joue le rôle de réserve d'oxygène (Dob, 1998).

Lors de la respiration de la sardine, l'eau est aspirée dans la cavité buccale, tandis-que les opercules sont fermés, l'eau pénètre par la bouche jusqu'aux branchies, puis lorsque la bouche est refermée, elle sort par les opercules ouverts (Pivrricka et Cerny, 1996).

6.Composition nutritionnelle de la sardine

La sardine possède un grand intérêt nutritionnel. Elle est l'un des poissons les plus riches en protéines et également en lipides et spécifiquement en acides gras de la série des n-3. La sardine est pauvre en glucides (0.1 % par rapport au poids frais) et contient des vitamines, des sels minéraux et des oligo-éléments (Dumay, 2006).

Au printemps, après la ponte et une période de faible disponibilité de nourriture dans le milieu, la chair de la sardine est pauvre en lipides (1,2%), alors qu'au début de l'automne, avant la maturation sexuelle, la nourriture ayant été abondante pendant la période estivale, la sardine se place parmi les espèces de poissons les plus grasses avec 18,4% de lipides (Bandarra et *al.*, 1997). En effet, la teneur en lipides du filet peut varier au cours de l'année en fonction de la saison, de l'état physiologique du poisson et de la quantité de nourriture ingérée (Tableau 1) (Médale et Kaushik, 2009).

Tableau 1 : Teneurs en lipides et en acides gras (%) de la Sardine (*Sardina pilchardus*) au cours des deux périodes de l'année (Bouderoua et al., 2008).

Période	Février	Juin
Lipides totaux (g/100g)	2.9	11.3
AG		
C18 :3(n-3)	2.8	2.2
C20 :5(n-3)EPA*	9.8	11.5
C22 :5(n-3)	1.7	1.5
C22:6(n-3)DHA**	25.4	26.5
AG saturés	34.0	37.0
AG monoinsaturés	17.0	21.0
AG polysaturés	45.3	44.5
dont n-6	4.7	3.4
dont n-3	40.7	41.2
EPA* acide eicosapentaénoïque ;DHA :Acide docosahexaénoïque		

Chez la sardine le rapport AG insaturés/AG saturés est très bon, il est proche de deux. En effet, l'Agence Française de la Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA, 2010) recommande un apport alimentaire en AG insaturés environ 3 fois supérieur à celui en AG saturés avec un rapport en AG saturés totaux ne dépassant pas 12 % de l'apport énergétique. La sardine représente également une excellente source de vitamine .Elle couvre les besoins journaliers en Vit D et E et apporte une quantité intéressante de Vit A. Elle contient peu de Na mais elle est riche en Ca, Mg et potassium (K), (Dallongeville et al., 2003).

7. Pêche de la sardine

Les poissons pélagiques constituent la plus grande part des captures marines mondiales, En méditerranée, les petits pélagiques (sardines, anchois, maquereaux, sparts et sardinelles) totalisent presque 50 % des débarquements totaux annuels de pêche (Lleonart et Maynou, 2003). Parmi eux, l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) et la

sardine (*Sardina pilchardus*) sont les espèces les plus importantes en termes d'intérêt commercial et de biomasse (Pinnegar et al., 2003 ; FAO, 2005).

Les deux principaux métiers qui exploitent la sardine sont les senneurs et chaluts pélagiques. La pêche à la sardine est une activité influencée par les conditions hydrologiques et climatiques, car la température agit directement sur la localisation et la concentration des bancs de sardines et donc sur l'accessibilité aux flottilles de pêche (Forest, 2001). Sur la côte algérienne, la pêche est effectuée à environ 60m de profondeur (Bedairia et Djebbar, 2009).

7.1. Les sennes coulissantes

Les sennes coulissantes sont des grands filets rectangulaires que l'on suspend autour d'un banc de poissons, et dont on lie ensuite le bord inférieur, ou pied, il s'agit souvent de très grands engins pouvant mesurer jusqu'à 500m de longueur et même plus, et s'étendre jusqu'à 150m de profondeur, les sennes coulissantes sont des engins très efficaces (Muus et al., 1998).

7.2. Chaluts pélagiques

Les chaluts permettent de pêcher en pleine mer dans les couches supérieures des eaux, ils sont habituellement constitués par quatre côtés à peu près identiques. Le filet de devant est à grandes mailles, le supérieur ne forme pas d'avancée, et sur les ailes les mailles sont souvent constituées de fils fins et plus résistants, qui répartissent les contraintes subies par le chalut dans les fils centraux, le câble supérieur est maintenu en haut des flots, et le câble inférieur n'est pourvu que d'une très légère protection (Muus et al., 1998).

8. Facteurs d'agression de la sardine

Il y a plusieurs facteurs d'agression de la sardine, tel que :

- La pollution : Les activités humaines sont responsables de l'introduction dans le milieu marin d'un grand nombre de substances. Selon la PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 80% des pollutions marines sont d'origine terrestre et anthropique. La forme de pollution la plus commune et la

plus visible est la pollution pétrolière causée par les accidents de navires pétroliers et le nettoyage dissoutes en mer (Amara, 2001).

- Les parasites : les parasites du domaine marin appartiennent à plusieurs taxons distincts. Presque toute espèce vivant libre porte des parasites ; selon Price (1980), les parasites contribuent donc de façon significative à la biodiversité, par le nombre et la variété des espèces existantes.

On peut diviser les parasites marins en micro-parasites et macro-parasites, sur le critère de leur taille. Les micro-parasites comprennent les virus, les bactéries, les champignons, les protozoaires et les myxozoaires. Les macro-parasites sont de plus gros organismes multicellulaires : surtout des Helminthes et des Arthropodes.

Selon Cressey (1983), il existerait 3000 espèces de crustacés décrits en tant que parasites ou semi-parasites ; il rapporte ; par ailleurs, qu'un nombre incalculable reste encore à découvrir (Ramdane, 2009).

III. Notion de bioindication

1. Définition

Un bioindicateur est un organisme utilisé pour évaluer les conditions environnementales dans lesquelles il vit. C'est en quelque sorte un représentant de son habitat. Ses modifications physiologiques et morphologiques, son abondance ou son succès reproductif, entre autres, sont sensés refléter les changements que l'habitat subit. Le terme organisme peut désigner un organisme au sens strict, une partie d'organisme ou une communauté d'organismes (Kerckhove, 2012).

Lorsqu'il s'agit d'une partie d'organisme, on parle alors souvent de biomarqueur. Le principe sur lequel se basent les bioindicateurs est le suivant: certaines espèces ont des besoins spécifiques pour leur survie et le fait de ne pas réussir à combler ces besoins peut résulter en un « déséquilibre écologique » (Kerckhove, 2012).

Ce déséquilibre se traduit par des variations dans les paramètres écologiques de ce bioindicateur: son intégrité physique, ses paramètres d'histoire de vie, etc. En résumé, les bioindicateurs permettent de caractériser l'état présent d'un habitat-clé, ainsi que l'évolution de l'état de l'écosystème dans le temps. Par conséquent, ils peuvent ainsi constituer un moyen de contrôle d'efficacité des mesures de conservation mises en

place, et orienter les correctifs nécessaires, le cas échéant. Ils peuvent également identifier une source de perturbation de l'écosystème. (Kerckhove, 2012).

2. Utilisation des poissons comme bioindicateurs

Les organismes aquatiques sont, de façon générale, plus sensibles aux contaminants que les organismes terrestres (Kerckhove, 2012). Ils possèdent une grande richesse spécifique (environ 20 000 à 25 000 espèces) et occupent une grande partie des niches écologiques aquatiques. Ensuite, les poissons ont des besoins complexes concernant leur habitat : cela touche de multiples facettes de l'écosystème dans lequel ils vivent. Ainsi, lorsqu'ils sont affectés, l'intégrité de l'écosystème est probablement menacée. (Markert et al., 2003).

Ce sont donc de très bons indicateurs, à différentes échelles. De plus, les poissons sont sans doute les organismes aquatiques qui permettent l'utilisation du plus grand nombre de techniques de détection de contaminants, qu'ils bioaccumulent. En effet, leur taille est suffisante pour permettre ce genre d'analyses. Toutes ces qualités expliquent sans doute que les poissons soient le taxon le plus utilisé dans les cas de contamination chimique (dans 25% des cas) (Kerckhove, 2012).

On observe également un lien de cause à effet entre les effets observés chez les poissons benthiques et la présence de contaminants, ce qui rend cette catégorie de poissons très intéressante comme bioindicateur aquatique (Kerckhove, 2012). En effet, il est judicieux de choisir un poisson des profondeurs ou se nourrissant par le fond qui sera plus exposé. Outre l'accumulation, les lésions des organes sont de bons outils d'exposition chimique.

Toutefois, tous les organismes ne sont pas de bons bioindicateurs. Il faut donc les déterminer avec soin. Pour cela, certains critères de sélection ont été développés

- Écologie de l'espèce connue
- Réaction face au stress étudié connue et détectable
- Espèce sédentaire
- Espèce qui couvre l'aire concernée
- Cycle de vie assez long
- Taille de population assez grande (à des fins de préservation et d'échantillonnage)
- Facile à capturer

- Résultats faciles à comprendre pour le grand public

Bien évidemment, un bioindicateur ne rassemblera pas nécessairement l'intégralité de ces critères. Sa sélection va dépendre de la question posée. Néanmoins, cette liste constitue une bonne base vers laquelle il faut tendre. (Kerckhove, 2012)

PARTIE II

Présentation de la zone d'étude

1. Localisation géographique de la zone d'étude

Notre zone d'étude se situe sur la partie occidentale du Nord-ouest Algérien, plus précisément dans la wilaya de Tlemcen, c'est la zone de Ghazaouet. Elle se trouve à 80 km au Nord du chef-lieu de la wilaya de Tlemcen, à 60 km de l'aéroport international «Messali El-Hadj» -Tlemcen, à 170 km de la métropole régionale d'Oran et à 50 km de la frontière marocaine (Figure 12).

Couvrant une superficie de 228 Km², la commune de Ghazaouet est limitée :

- Au Nord, par la mer Méditerranée,
- Au Sud, par la commune de Tient,
- Au Sud-est, par la commune de Nedroma,
- A l'Ouest, par la commune de Souahlia,
- A l'Est, par la commune de Dar Yaghmoracen (PDAU, 1996).

Les coordonnées géographiques de la ville sont comme suit :

- Latitude : 35°06'00''N.
- Longitude : 01°52'21''W

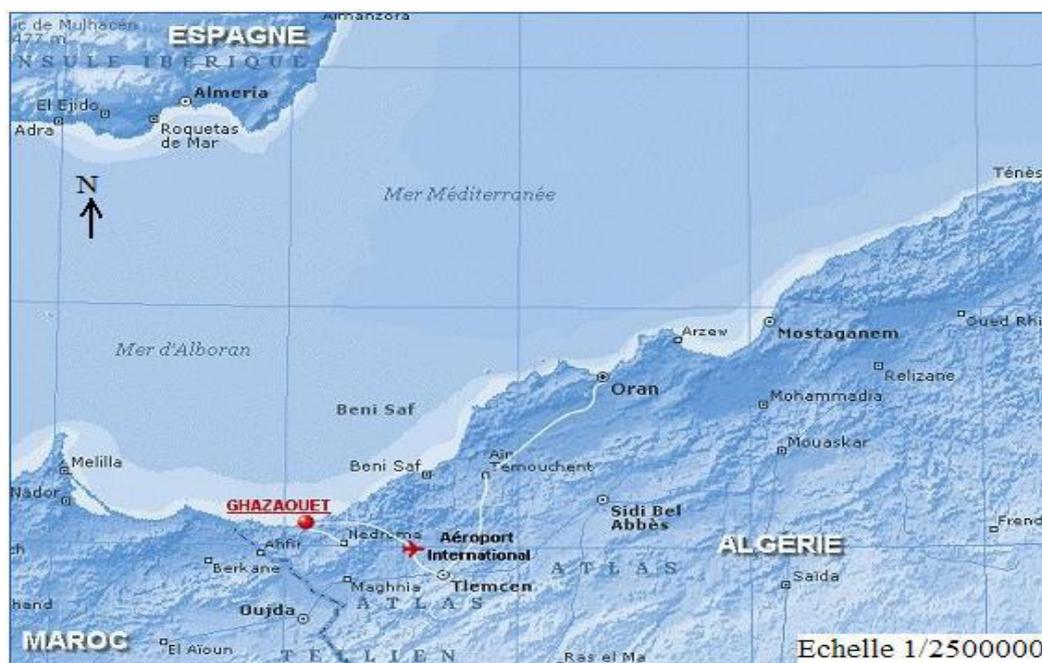


Figure12 : Localisation de la zone d'étude (ANAT, 1995).

2. Aperçu physique

2.1. Sédimentologie de la région

La rade de Ghazaouet, éloignée de la côte d'une distance comprise entre 25 et 35 milles est une rade à fond de bonne tenue, malgré la présence de place en place de véritables « chandeliers » volcanique recouverts à leur sommet de touffes de coraux, ils sont favorables à la pêche et d'ailleurs intensément exploitées, ces zones rocheuses mises à part, ils sont entre 250 et 400 m recouverts de vases légèrement sableuses, au niveau de l'extrémité occidentale les bancs rocheux sont très fréquents, ce sont des formations d'origine volcaniques dont les pentes et les bords sont tapissés de madréporaires et dont le sommet généralement plat et recouvert de gravier ou sable grossier, les coraux forment autour de ces bancs de véritables barrières (Figure13) .

Au niveau du port, un fond d'une anse sablonneuse, de 1300 m d'ouverture et 400 m de creux, au milieu de laquelle débouche un petit cours d'eau appelé oued Ghazouanah à débit très faible (Maurin, 1968) .

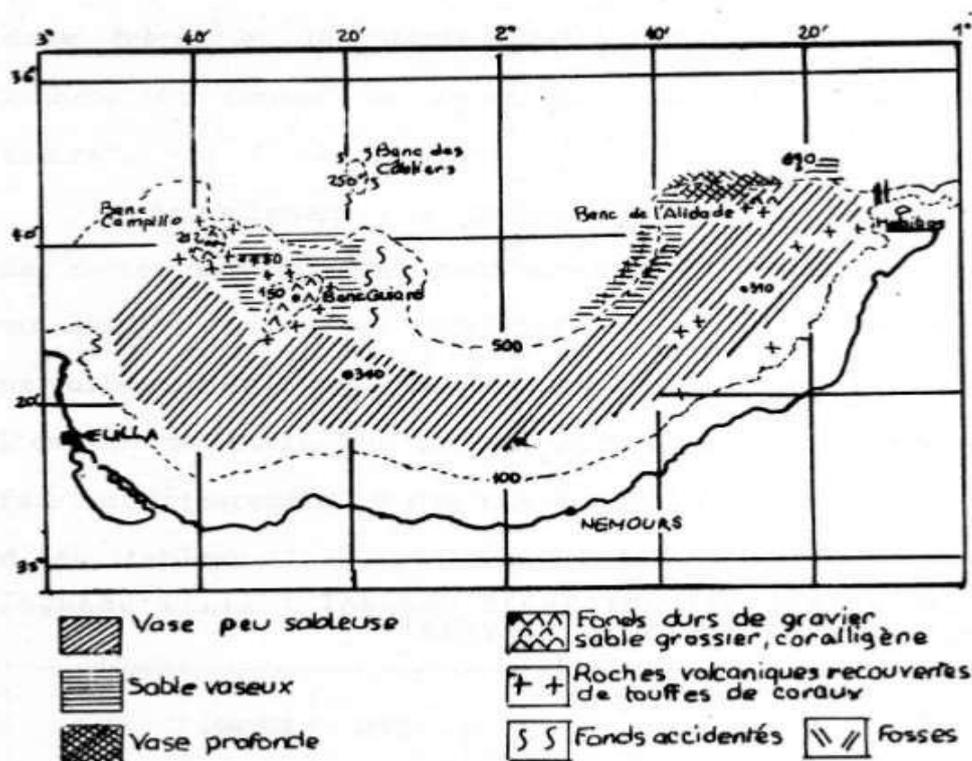


Figure13: Carte des fonds de Ghazaouet au cap des trois fourches (d'après Maurin,1968).

2.2. Courantologie

La mer Méditerranée est une mer intercontinentale presque entièrement fermée, située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie et qui s'étend sur une superficie d'environ 2,5 millions de kilomètres carrés. Son ouverture vers l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar est large de seulement 14 km. Elle doit son nom au fait qu'elle est littéralement une « mer au milieu des terres ». La circulation de l'eau en mer Méditerranée est liée à la configuration de cette mer quasiment fermée. Les apports en eau douce par les fleuves, les précipitations et le ruissellement sont faibles et ne compensent pas l'évaporation importante. Si le détroit de Gibraltar se fermait, le niveau de la mer Méditerranée baisserait de 80 cm par an. Le déficit est comblé par des entrées d'eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar (environ 35000 km³ par an).

Très schématiquement, la circulation de surface en Méditerranée suit une boucle anticyclonique. L'eau atlantique peu salée pénètre en surface par le détroit de Gibraltar. Au cours de son cheminement dans le bassin, elle est transformée en eau méditerranéenne plus dense qui ressort à son tour par Gibraltar, avec un temps de renouvellement qui en moyenne varie de 50 à 100 ans (Milot & Taupier-Letage, 2005).

Les courants marins sont importants dans certaines zones, notamment dans la zone ouest, engendrée par les différences de la salinité et de température. Nous faisons remarquer de plus que le système de courant permanent en méditerrané occidental possédait la particularité de converger vers un courant longeant les côtes algériennes d'ouest et est appelé « courant Algérien » d'une vitesse entre 0,5 et 1 m/s et engendrant un contre-courant côtier d'une vitesse moyenne de 0,2 m/s (Milot, 1987).

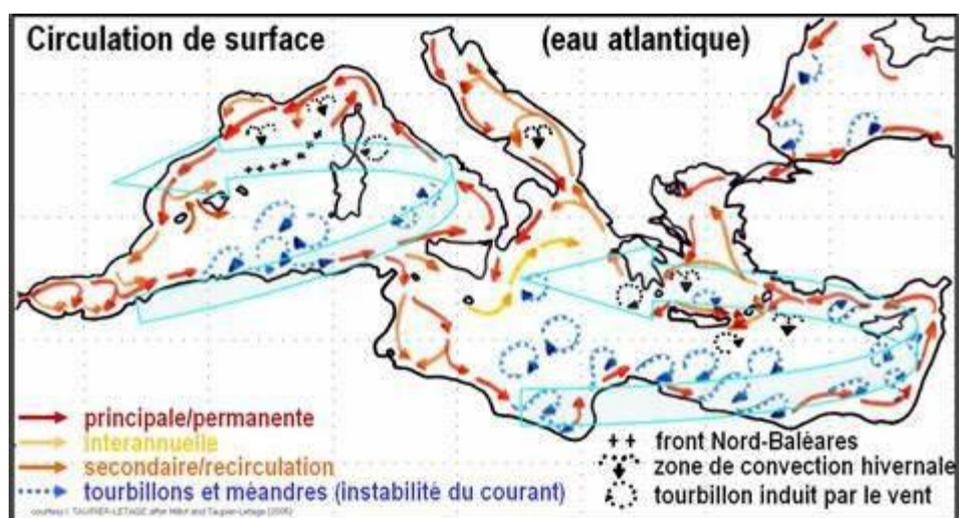


Figure 14 : Courants marins méditerranéens (Milot & Taupier-Letage, 2005).

2.3. Hydrologie

Les cours d'eau qui débouchent sur la côte de Ghazaouet sont principalement :

- Oued Ghazouana passant au centre de la ville, il est considéré comme le plus grand oued de la région.
- Oued Abdellah, se situe vers l'Ouest de la ville, il débouche dans la petite plage dite du "premier ravin"
- Oued el Ayadna en provenance du massif montagneux des Traras, il est plus petit que les autres oueds (ANAT, 2000).

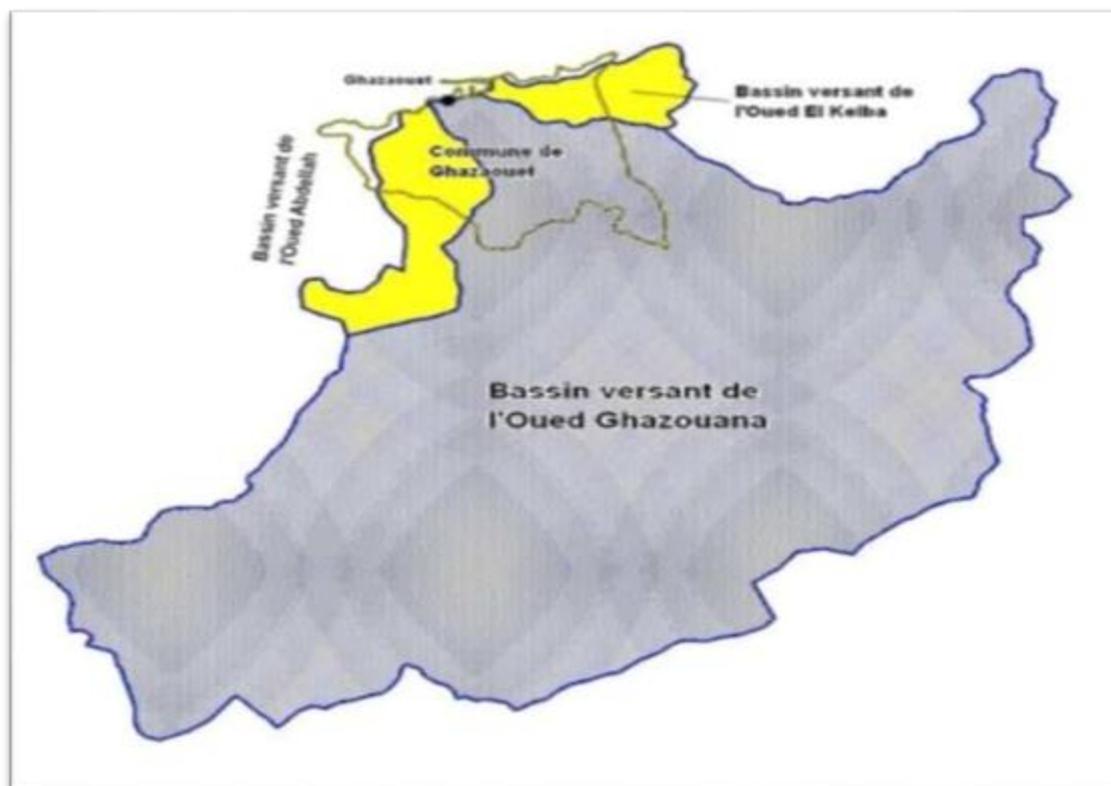


Figure15: Bassins versants de la zone d'étude (ANAT, 2003).

2.4. Climatologie

Le climat de Ghazaouet est influencé par plusieurs paramètres; son exposition découverte au Nord sur le littoral et sa position abritée par les monts de Traras au sud.

Le calcul du Q2 sur la période allant de 1980 à 2013, permet de situer Ghazaouet dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré $Q2 = 2000P / (M^2 - m^2) = 49,66$. Les vents dominent par leurs intensités, leurs fréquences, leurs vitesses et

leurs températures. Ils conditionnent le régime des précipitations. Les conditions topographiques influencent sensiblement leurs directions. Les vents du nord dominant à Ghazaouet et sont généralement réguliers surtout en été, ils se confondent avec les brises marines à cause de leur faible intensité (PDAU, 1996).

3. Tissu industriel

La région de Ghazaouet, présente un tissu industriel plus ou moins diversifié, représenté par un certain nombre d'entreprises (Tableau 2), l'unité ALZINC (Société Algérienne de Zinc) qui occupe une place importante dans la région. La société algérienne du zinc par abréviation est une filiale de METANOF, située sur la rive ouest de la ville de Ghazaouet en Algérie dans la wilaya de Tlemcen, elle est actuellement le centre d'activité industrielle le plus important de la région en étant l'unique producteur du zinc électrolytique au monde arabe et le deuxième en Afrique après l'Afrique du sud.

Tableau 2: Les principales unités industrielles qui activent dans la bande littorale (DET, 2006).

Entreprise	Date de mise en service	Localisation	Type de production	Type de pollution
ALZINC	1974	Ghazaouet	Zinc	Solide-liquide -gazeux
CERAMIG	1977	Ghazaouet	Céramique sanitaire	Solide
SOBRIT	1974	Ghazaouet	Briques	/

4. Le port

Le port de Ghazaouet est situé à une trentaine de kilomètres à vol oiseau à l'est de la frontière Algéro-marocaine et à 45 km de l'aéroport international MESSALI EL HADJ de Tlemcen. C'est un port mixte de pêche et de commerce, il s'étend sur 23 Ha de terre-pleins et 25 Ha de plan d'eau (dont une petite darse pour les navires de pêche de 01 Ha) (DUC, 2005).

Ce port de Ghazaouet concentre l'essentiel de l'activité de pêche de la wilaya, puisqu'à l'exception de cette localité, seule Honaïne affiche une activité significative dans ce domaine (MATE, 2006).

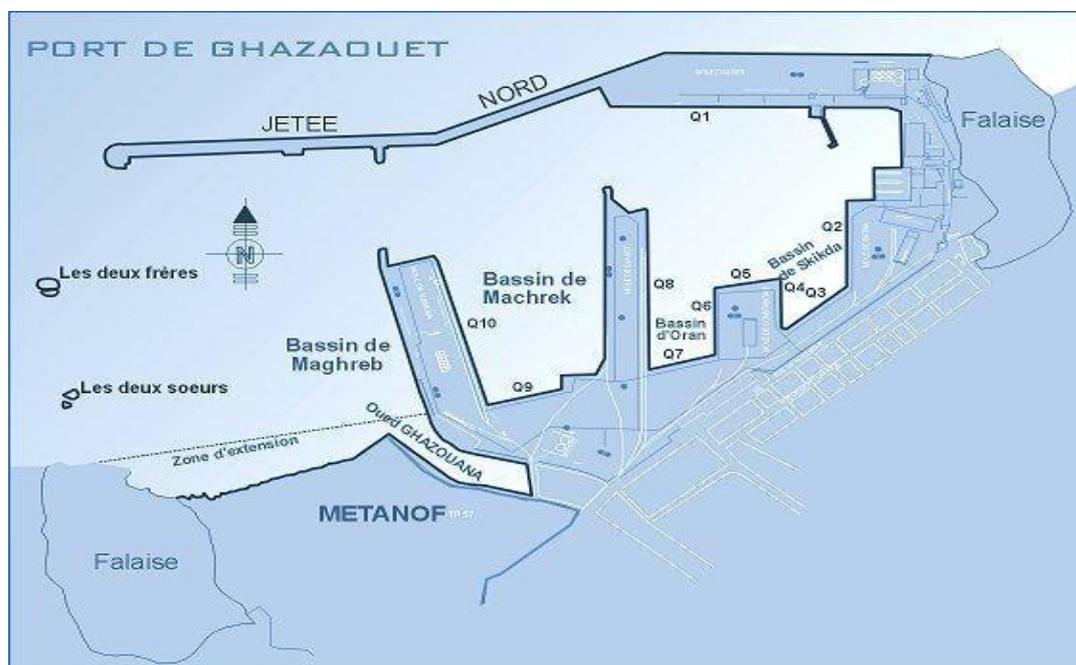


Figure 16 : Plan du port de Ghazaouet (MATE, 2006).

5. Activités pouvant affecter le milieu marin

5.1. Les apports du rejet industriel

Il est doté d'infrastructures nécessaires à l'industrie de la pêche tels que : 107 embarcations (34 petits métiers, 34 sardinières et 39 chalutiers), ateliers privés de réparation navale, station d'avitaillement NAFTAL d'une capacité de 120000 litres, chambre froide, etc. (D.E.T, 2006).

L'industrie algérienne dominée par les activités pétrochimique, chimique, sidérurgique et aujourd'hui agroalimentaire s'est concentrée dans la bande littorale on recense plus de 50% des unités industrielles nationales (Grimes et *al.*, 2010), le milieu marin de Ghazaouet reçoit les eaux résiduaires industrielles recyclées en provenance de l'unité d'électrolyse de zinc, ces rejets chargés des métaux lourds, sont déversés dans le milieu marin et ils ont participé à la contamination de la vase aggravée par le

stockage sauvage des déchets de lixiviation de zinc sur la falaise surplombant la mer et l'usine (DPRHT, 2004).

Une synthèse bibliographique des travaux relatifs à la pollution marine est réalisée par Grimes (2003) dans le cadre du Bilan et Diagnostic National révèle dans divers secteurs de la côte algérienne, de fortes teneurs en polluants métalliques dépassant, souvent, les normes admises. Ces teneurs témoignent de sources de pollution très localisées: Des pics rencontrés dans les sédiments du port de Ghazaouet, avec une prédominance du zinc (3540.59 ± 1206.33 $\mu\text{g/g}$), contamination causée par l'usine d'électrolyse de zinc (METANOF), suivie de mercure (3.87 ± 1.79 $\mu\text{g/g}$) et du plomb (177.39 ± 103.29 $\mu\text{g/g}$). L'indice de contamination pour ces trois métaux classe le port comme zone à risque pour l'environnement marin.

5.2. Les différents oueds et rejets déversant dans la région

D'après Grimes (2010), le tableau 3 représente les différents oueds et rejets déversant dans la région :

Tableau 3: Les différents oueds et rejets déversant dans la région.

Régions	Les oueds et les rejets	
Ghazaouet	Golf	<ul style="list-style-type: none"> - Oued Tafna , Oued de sidi Djilloul, Oued el Hallouf - Oued de Ghazaouet (se déverse au milieu du port) - Systèmes d'égouts qui collectent les eaux usées domestiques (METAP, 1994).
	Port	<ul style="list-style-type: none"> - Les rejets industriels de la METANOF (entreprise nationale des métaux non ferreux) et de la briqueterie de Touane (METAP, 1994). - Les rejets de 03 ports (Mers-el kebir , d'Oran et de Kristal). - Les rejets domestiques de la ville d'Oran essentiellement chargées en matière organique et en détergents (METAP, 1994).

5.3. Les apports du rejet urbain

La commune de Ghazaouet s'étendant sur une superficie de 228 km² a connu une croissance importante de sa population, en plus des rejets industriels, le milieu marin de Ghazaouet reçoit des rejets urbains qui apportent plusieurs éléments au milieu :

- Apport de macro déchets dans la mer (plastique, verre, boites métalliques) lors des épisodes pluvieux.
- Apport de matières organiques et particulaires dans les sédiments.
- Apport d'hydrocarbures
- Apport de substances nutritives
- Apport de métaux lourds d'origine anthropiques
- Apport de sable ou d'argiles
- Contamination bactériologique et virale des eaux marines (MATE, 2007).

5.4. Le transport maritime

Le fait que la côte ouest algérienne soit sous l'influence directe au trafic maritime, suffit à incriminer les peintures anti-salissures dans la pollution métallique de la zone de Ghazaouet.

Le port de Ghazaouet est relié de manière régulière aux ports européens (Anvets, Alicante, Marseille, Valence, Livoume, Almeria), tant pour le trafic marchandise que passagers, selon les axes suivantes :

- 2 lignes Anvets : trafic marchandises.
- Marseille Valence-Alicante : trafic marchandise.
- Ligne quotidienne Almeria : trafic passagers, auto-passagers et fret (D.P.R.H,2004).

PARTIE III
Matériel et Méthodes

I.L'échantillonnage

1.Choix de station

Notre choix s'est porté sur la station de Ghazaouet par sa caractérisation de la présence d'activités industrielles (l'usine d'Alzinc) ce qui a généré une augmentation considérable des rejets en mer, ce type de pollution influence la qualité des eaux marines en provoquant la dégradation des écosystèmes littoraux.

2.Choix polluants

Les contaminants ciblés par notre étude sont le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et le Fer (Fe). Ce choix a été motivé par leur grande persistance dans l'environnement, leur faculté à s'accumuler dans les tissus adipeux des organismes vivants et à se propager le long de la chaîne trophique, en plus de leur toxicité potentielle pour les écosystèmes et la santé humaine, qui constitue une préoccupation mondiale (CEE , 1982 ;WHO, 2001 ; PNUE, 2005).

Ils présentent un danger potentiel pour le consommateur de produits de la mer en raison de leur concentration dans les espèces marines, de leur élimination difficile et de leur large répartition dans le milieu aquatique (Roony *et al.*, 1999).

3.Choix de l'espèce

Pour évaluer l'impact de la pollution métallique sur les organismes marins de la baie de Ghazaouet, notre choix s'est porté sur le poisson pélagique *Sardina pilchardus*. C'est une espèce plus exploitée sur nos côtes. Elle représente une importante valeur socio-économique, d'où l'intérêt impératif d'établir une stratégie adéquate pour son exploitation de manière rationnelle et durable.

3.1. Collecte du matériel biologique

La Sardine étudiée provient des débarquements commerciaux du port de pêche de la ville de Ghazaouet. L'échantillonnage que nous avons réalisé est mensuel (composé de 30 spécimens) étalé sur une période d'une année (entre Janvier et Décembre 2017). Le traitement des échantillons frais se fait dès leurs arrivées au laboratoire.

II. Technique d'étude

1. Mensurations, pesées et dissection

Une fois nos échantillons arrivés au laboratoire, nous avons déterminé les différentes mensurations qu'on doit impérativement les refléter sur la fiche d'échantillonnage (Annexe 1. Tab 1).

- Longueur totale L_t : C'est la longueur du bout du museau à l'extrémité de la nageoire caudale

Nous procédons par la suite à la dissection de l'animal pour, d'abord déterminer le sexe, suivi du prélèvement des organes ciblés ultérieurement (Figure 17). Ensuite chaque poisson est pesé individuellement à l'aide d'une balance à précision pour noter :

- Poids total
- Poids de gonades
- Poids des branchies

Enfin, les organes ciblés (gonades et branchies) ont été conservés dans des piluliers pour analyser les métaux recherchés.

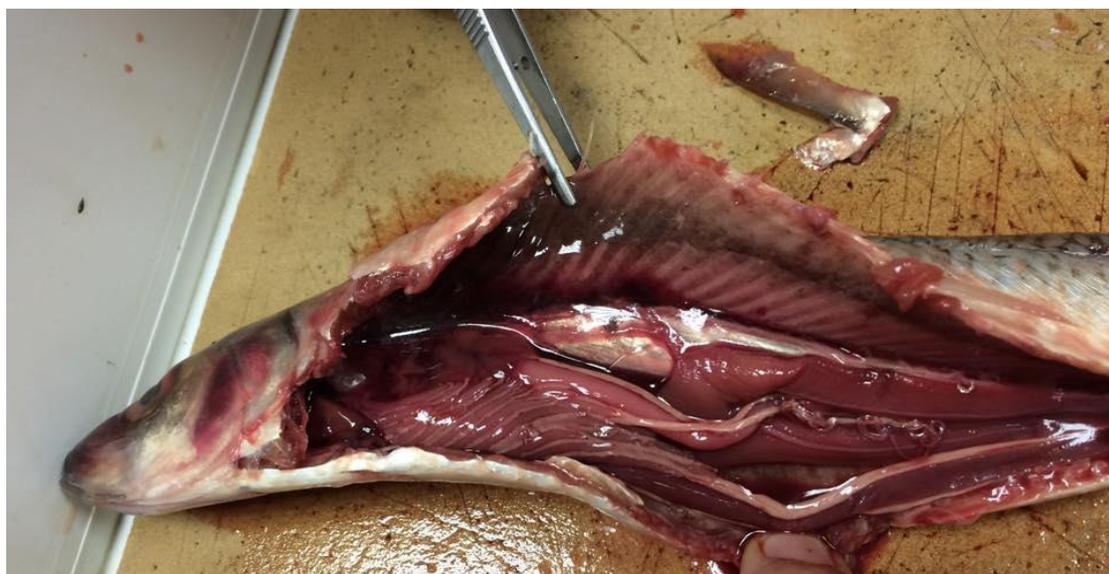


Figure 17 : Dissection des échantillons (Photo Originale).

2. Calcul des différents paramètres biologiques

2.a. Calcul du Sex-ratio

Le sex-ratio est défini par le rapport du nombre des mâles à celui des femelles (Kartas et Qyignard, 1984). En réalité la proportion des sexes est une caractéristique de population et les variations de la sex-ratio sont parfois en relation avec l'environnement.

Le sex-ratio est exprimé sous différentes formes soit par le rapport du nombre de mâles (M) au nombre de femelles (F), ou par le nombre des femelles (F) au nombre des mâles (M) soit par le taux de masculinité ou le taux de féminité. Où ;

Sexe ratio global = (M/F) rapport du nombre de mâles (M) au nombre des femelles. Ce rapport a été calculé pour l'ensemble des individus traités.

Le taux de féminité = nombre des femelles (F) / nombre total des mâles et des femelles $\times 100$

Le taux de masculinité = nombre des mâles (M) / nombre total des mâles et des femelles $\times 100$

2. b. Relation taille-poids

La formulation mathématique de l'équation de la croissance exprimant l'évolution des poids moyens en fonction du temps se fait par simple combinaison de la relation longueur-poids et de l'équation de croissance en taille. L'expression de la relation taille-poids s'écrit:

$$W_t = a \cdot L^b \text{ (Beverton \& Holt, 1996) où :}$$

- W_t : poids total (g)
- L_t : longueur totale (cm),
- a : constante b : coefficient d'allométrie

Les valeurs de b donnent un aperçu sur la croissance du poisson, quand $b=3$, la croissance est isométrique et lorsque $b \neq 3$, la croissance est dite allométrique, (allométrie positive si $b > 3$, allométrie négative si $b < 3$).

2.c. Le Rapport Gonado-Somatique R.G.S.

Les critères pondéraux consistent à chiffrer l'accroissement des gonades durant le cycle sexuel. Les variations du poids des gonades sont presque toujours estimées par rapport à des paramètres tels la longueur du corps, le poids total du corps ou le

poids somatique (Kartas et Quignard, 1984). L'expression utilisée dans la présente étude est le rapport gonado-somatique, en abrégé RGS, est égal à 100 fois le poids des gonades divisé par le poids total du corps et exprime donc le poids des gonades en pourcentage du poids du corps (Bougis, 1952).

$$\text{RGS} = \text{Poids des gonades} * 100 / \text{Poids total du corps}$$

La courbe d'évolution du RGS moyen traduit le cycle de reproduction de l'espèce :

- Sa partie ascendante correspond à la phase de maturation des gonades et où les valeurs du RGS sont croissantes
- Celle descendante correspond à la phase d'émission des produits sexuels : c'est la période de reproduction et où les valeurs du RGS sont décroissantes
- Le repos sexuel : partie où les valeurs du RGS sont basses.

2. d. Indice de condition K

Les indices biométriques s'obtiennent à partir des données de mensurations des poissons (poids, taille hauteur du corps...), ceux qui dérivent des mesures de taille et de poids dont le plus utilisé est le facteur de condition de Fulton K (Lamber et Dutil 1997). Ils caractérisent l'embonpoint, des individus et sont considérés comme indicateurs de l'état nutritionnel et des réserves énergétiques d'un individu (Lamber et Dutil, 1997 ; Sutton et *al.*, 2000).

Sa formule est la suivante : $K = (W / L^3) * 1000$

- Où W : poids total en g de l'individu.
- Lt : la longueur totale de l'individu en cm.
- b: coefficient d'allométrie considéré comme égal à 3.

III. Analyse chimique

1. Technique de Minéralisation

Cette méthode est applicable pour doser les éléments suivants : Cadmium, Plomb, Zinc, Cuivre et Fer dans les produits œnologiques contenant de l'eau. Outre la recherche d'un toxique minéral fixe dans les organes, exige toujours une

minéralisation qui aboutit à une dégradation complète de la matière organique (Amiard et *al.*, 1987).

Les buts de la minéralisation sont donc :

- D'éliminer l'action perturbatrice du substrat protéique.
- D'ioniser les métaux.
- D'assurer leur concentration (puisque le métal n'existe qu'à une infime concentration).

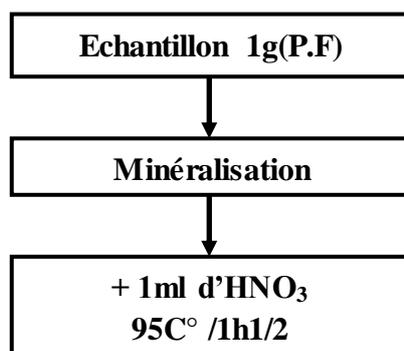
Nous avons opté pour la minéralisation humide car elle nous permet de minimiser les déperditions de composés volatiles organométalliques en cours de séchage (FAO, 1977). La méthode adoptée est celle de (Amiard et *al.*, 1987).

Le protocole consiste à :

- Peser 1 g d'échantillon frais dans le tube.
- Ajouter 1ml d'Acide nitrique.
- Sélectionner le programme pour une température de 95C° pendant une heure.
- Refroidissement du minéralisât.
- Compléter l'échantillon jusqu'à 4 ml avec l'eau bi-distillée.
- Analyser l'échantillon par la S.A.A.

2. Filtration

Les solutions obtenues des différentes minéralisations ont été filtrées en utilisant le papier filtre de porosité 0,45 µm. Elles ont été ajustées à 25ml puis elles ont été mises dans des godets et conservées au frais jusqu'à analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique (Kingston et Jassie, 1988 ; Loring et Rantala, 1992).



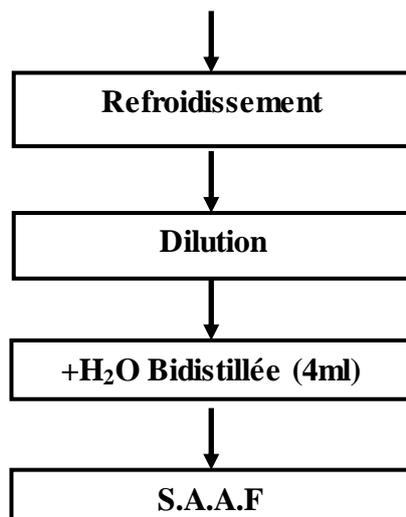


Figure 18 : Protocole de minéralisation et de dosage en Spectrophométrie d’Absorption Atomique (Amiard et *al.*, 1987).

3. Dosage des métaux

Le dosage des métaux est réalisé par la spectrophotométrie d’absorption atomique à flamme (SAAAF) au niveau du laboratoire de contrôle de qualité (ALZING) de Ghazaouet. L’appareil mis à notre disposition pour l’analyse de nos échantillons est un S.A.A. de marque AURORA AI 1200 (2006).

3.1. Définition de la SAAF

C’est une méthode analytique permettant de déterminer la concentration d’une substance par l’absorption d’une radiation spécifique à l’élément chimique contenu dans la substance. Elle est appliquée pour les sédiments et pour le matériel biologique (Pinta et *al.*, 1980).

3.2. Principe

Proposée par Walsh (1955), la spectrophotométrie d’absorption atomique est une méthode d’analyse quantitative s’adressant essentiellement aux métaux. Elle est basée sur la propriété des atomes de l’élément qui peuvent absorber des radiations de longueur d’onde déterminée. La solution de l’élément à analyser est nébulisée dans une flamme, ce qui provoque successivement l’évaporation du solvant, la vaporisation de l’élément sous forme de combinaisons chimiques, la dissociation de ces combinaisons avec production d’atomes libres à l’état fondamental

Tableau 4: Longueurs d'ondes et limites de détection des métaux dosés.

Elément	Longueur d'onde (nm)	Limites de détection (ppm)
Cadmium	228.8	0.03
Cuivre	324.7	0.05
Plomb	283.3	0.10
Zinc	213.9	0.05
Fer	248.3	0.20

IV. Analyses statistiques

1 .Comparaison de moyennes : ANOVA et test de Student

Les relations entre différentes variables ont été analysées par des tests statistiques comme l'analyse des variances (ANOVA). En effet, les écarts observés entre les estimations peuvent être uniquement le fruit des fluctuations fortuites d'échantillonnage. Ce test permet de s'en assurer. Le test ANOVA, permet également de savoir, dans une étude à plusieurs variables, laquelle influe le plus sur les moyennes finales (teneurs moyennes en métaux). Les valeurs des résultats de l'analyse de la variance, permet de vérifier la valeur du F de Fisher et sa probabilité « p » : Si F est inférieur à 5% ($p < 0,05$), l'hypothèse nulle est rejetée, donc la différence entre les moyennes est hautement significative (Ramousse et *al.*, 1996). Les valeurs moyennes obtenues pour différents échantillonnages ont été comparées 2 à 2 par des tests de comparaison de moyennes (test t de Student).

2 .Analyse en composantes principales(ACP)

Des analyses en composantes principales (ACP) ont permis de traiter de façon plus synthétique des fichiers comprenant différents échantillons (individus) affectés de plusieurs paramètres (variables quantitatives). L'analyse en composantes principales est un ensemble de méthodes permettant de procéder à des transformations

linéaires d'un grand nombre de variables inter-corrélées de manière à obtenir un nombre relativement limité de composantes non corrélées. Cette approche facilite l'analyse en regroupant les données en des ensembles plus petits et en permettant d'éliminer les problèmes de multi-colinéarité entre les variables (Vogt, 1993).

Un ensemble de n individus, associé à un ensemble p variables peut être représenté sous la forme d'un nuage de points dans un espace de dimension p . Le nuage de points représentant les individus est « centré-réduit » ce qui permet de donner la même « importance » à chaque variable dans le calcul des distances entre individus (Volle, 1985). Le but de l'ACP est de représenter ce nuage dans un espace de dimension réduite.

Ces études statistiques simples et multidimensionnelles ont été effectuées à l'aide du logiciel MINITAB 16.

PARTIE IV

Résultats et discussion

Résultats

I. Etude de la reproduction

En se basant sur les données recueillies pendant 12 mois d'observations (allant de Janvier à Décembre 2017) portant sur la population de la *Sardina pilchardus* qui comprend 360 individus, l'analyse des différents paramètres nous a permis de dégager certains traits de reproduction et d'évaluer les teneurs des polluants métalliques dosés chez l'espèce biologique .

1. Sex-ratio globale

Nous nous intéressons à la connaissance de la sex-ratio de la population étudiée au cours d'une année où l'identification du sexe a été relativement aisée via l'examen de l'aspect des gonades après chaque échantillonnage mensuel aléatoire. Sur un total de 360 poissons collectés, 132 femelles et 111 mâles ont été identifiés macroscopiquement, les 117 individus restant sont de sexe indéterminés soit respectivement 37% ; 31% et 32% (Tableau 5). L'évolution de la sex-ratio par mois, saison et par classe de taille a été analysée. Le SR est en faveur des femelles pendant toute la période d'échantillonnage.

Tableau 5 : Sex-ratio globale de *Sardina pilchardus*.

	Mâles	Femelles	Non Identifiés
TOTAL	111	132	117
%	31%	37%	32%

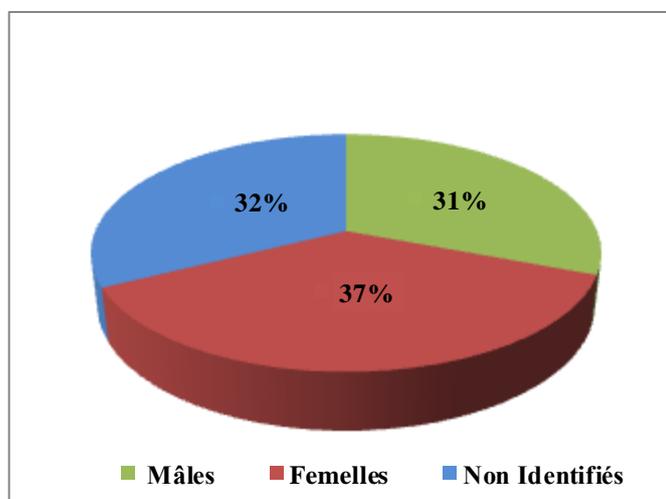


Figure 19 : Structure de la population de *Sardina pilchardus*.

1.2. Etats sexuels en fonction : saisons, mois et classes de taille

1.2. a. Sex-ratio en fonction de la saison

Selon la figure 20, il ressort que les femelles sont les abondantes par rapport aux mâles durant toutes les saisons à l'exception de la période hivernale qui se caractérise par la dominance des individus mâles (Annexe 2.Tab1).

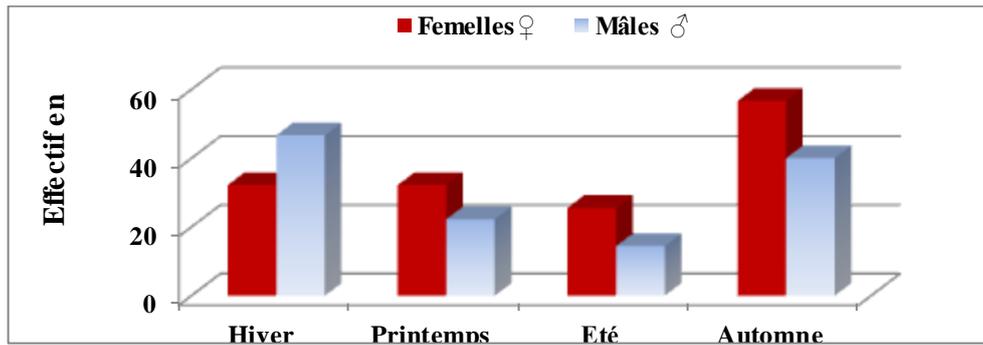


Figure 20 : Variations saisonnières de la sex-ratio chez *Sardina pilchardus*.

1.2.b. Sex-ratio mensuelle

Les résultats reportés sur la figure 21 montrent que la distribution des états sexuels par rapport aux mois est en faveur des mâles en février, mars, avril, août et octobre, tandis que les femelles dominent en janvier, mai, juin, septembre, novembre et décembre. Il faut noter que les spécimens échantillonnés en mois de juillet font partie des individus indéterminés sexuellement (Annexe 2.Tab2).

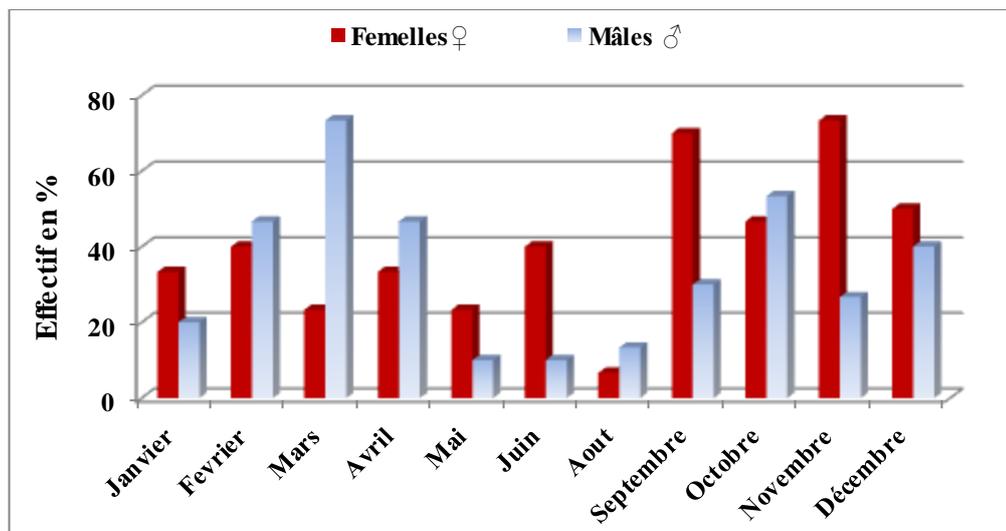


Figure 21 : Variations mensuelles de la sex-ratio chez *Sardina pilchardus*.

1.2. c. Sex-ratio en fonction des classes de taille

D'après la figure 22, l'analyse de la sex-ratio par classes de taille indique que le taux de féminité est très important dans les classes de petite taille entre 11-13cm et 13-15 cm. Puis ce taux se décroît rapidement et atteint 52 % chez le groupe de taille 15-17 cm. Par contre au sein des classe dont la taille varie entre 17 et 21cm les pourcentages des deux sexes demeurent identiques (Annexe 2.Tab3).

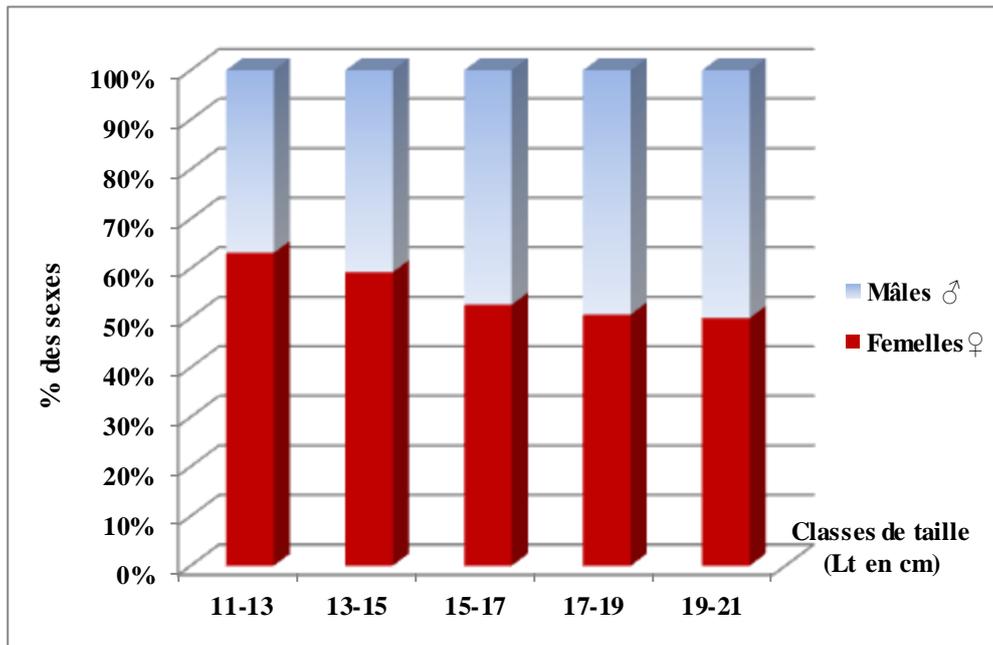


Figure 22 : Abondance des mâles et femelles en fonction de la taille chez *S.pilchardus*.

2. Structure en taille de la Sardine analysée

L'étude de l'évolution de la taille a été effectuée en regroupant les spécimens identifiés (mâles et femelles) en classe de taille de 2cm d'intervalle allant de 11 à 21cm. La taille moyenne des individus analysés est de 16,19cm. La plus grande taille est de 20,3cm, représentée par un seule Sardine et la plus petite taille est de 11 cm représentée également par un seul individu. Le plus grand effectif est enregistré dans la classe de taille de [15-17] avec 93 individus (Figure23).

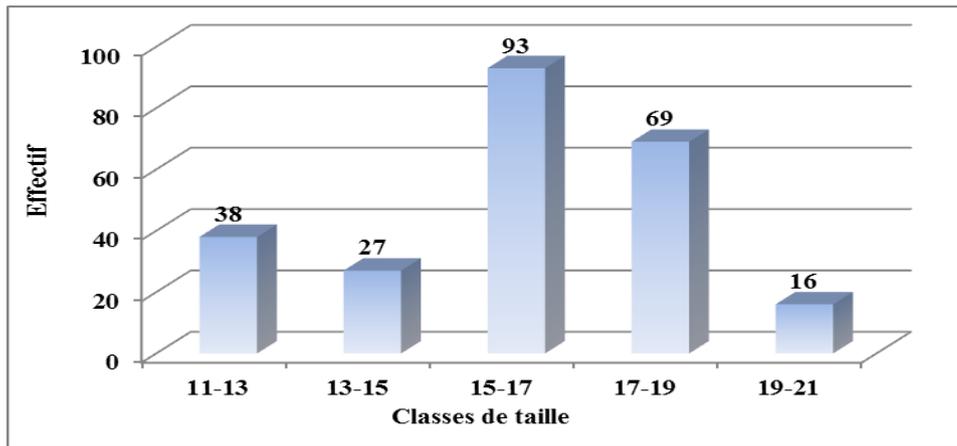


Figure 23 : Structure en taille des Sardines analysées.

3. Relation taille-poids

Dans le cas présent, la relation taille-poids est effectuée sans distinction entre les sexes. Elle a pour forme générale : $Pt = a.Lt^b$ où : a et b sont des caractéristiques que l'on peut déterminer par la méthode des moindres carrés, appliqués à la forme linéaire de l'expression : $\text{Log}(Pt) = b \text{Log}(Lt) + \text{Log}(a)$.

➤ On obtient donc :

Tableau 6: Statistiques de la régression linéaire.

	Coefficient	ES du Coefficient	t	η^2
log(a)	-4.03	0.14	-27.91***	0.91
b	2.71	0.05	52.37***	

ES : Erreur Standard.

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; *** : $p < 0.001$

Le coefficient de détermination est $R^2 = 0.91$ montrant une bonne qualité de prédiction du model. Le coefficient d'allométrie (b) est hautement significatif ($t = 52.37$; $p < 0.001$) pour une valeur de 2,71.

➤ L'équation de cette relation taille/poids, s'écrit donc comme suit :

$$Pt = 0.018 \times Lt^{2.71}$$

La figure 24 qui correspond à la relation calculée met en évidence une allométrie minorante (b inférieur à 3).

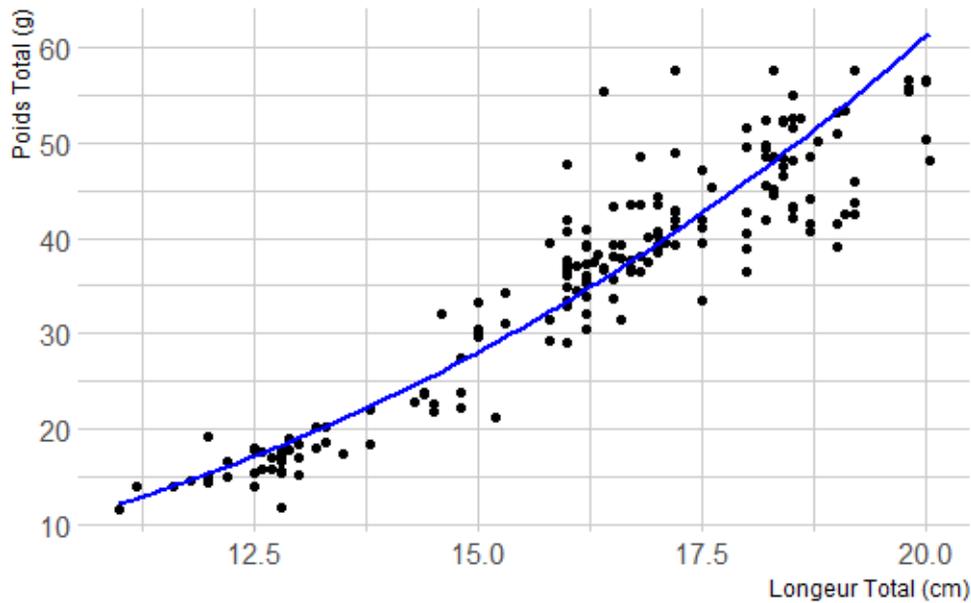


Figure24 : Représentation de la relation taille-poids chez *S.pilchardus* .

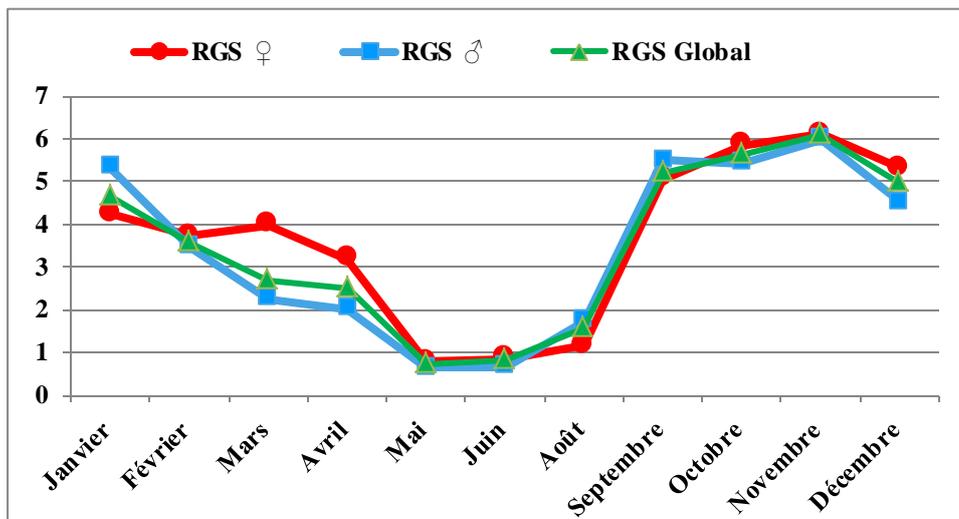
4. Rapport gonado-somatique R.G.S

La variation des valeurs mensuelles du rapport gonado-somatique des poissons traités pendant la période d'étude sont récapitulées dans le tableau 7 et sur la figure 25. Elle présente presque la même allure pour les deux sexes. Le RGS global ($\text{♀}+\text{♂}$) marque un accroissement qui a lieu au mois d'août et se poursuit jusqu'au mois d'octobre (phase de Pré-ponte) en enregistrant un pic au mois de novembre avec 6,08 (tous sexes confondus). Cela laisse supposer que la période de la ponte de *Sardina pilchardus* étudiée s'étale sur une période allant du mois de novembre au mois d'avril. En fin, une phase de post-ponte caractérisée par des faibles valeurs du RGS s'étendant au cours du mois de mai(0,74) et de juin(0,81).

Tableau 7: Valeurs mensuelles du RGS chez les deux sexes.

Mois	RGS ♀	RGS ♂	RGS ($\text{♀}+\text{♂}$)
Janvier	4,24	5,34	4,65
Février	3,73	3,46	3,58
Mars	3,97	2,25	2,66
Avril	3,17	2,00	2,49

Mai	0,78	0,63	0,74
Juin	0,85	0,66	0,81
Août	1,16	1,74	1,55
Septembre	5,05	5,49	5,18
Octobre	5,83	5,43	5,62
Novembre	6,11	5,98	6,08
Décembre	5,30	4,51	4,95



Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés

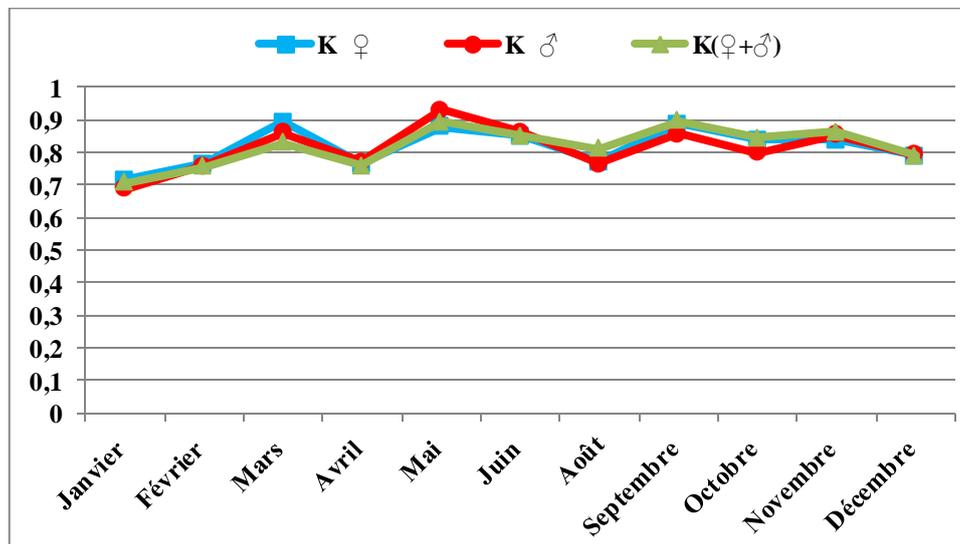
Figure 25 : Evolution des moyennes du rapport gonado-somatique R.G.S. de la Sardine analysée par mois.

5. Coefficient de condition K

D'après la figure 26, l'évolution mensuelle du coefficient de condition K est presque identique pour les deux sexes. Cet indice présente des variations irrégulières durant l'année. Cependant, les valeurs maximales sont enregistrées pour les femelles au mois de Mars (0,89) et pour les mâles au mois de Mai (0,93). Tandis que la diminution du K a été remarquée au mois de Janvier pour les deux sexes en atteignant une valeur de 0,71 pour les femelles et de 0,68 pour les mâles (Tableau 8).

Tableau 8: Valeurs mensuelles du coefficient de condition K chez *Sardina pilchardus*.

Mois	K ♀	K ♂	K (♀+♂)
Janvier	0,71	0,68	0,70
Février	0,76	0,75	0,75
Mars	0,89	0,86	0,83
Avril	0,76	0,77	0,75
Mai	0,87	0,93	0,89
Juin	0,85	0,86	0,85
Août	0,77	0,76	0,81
Septembre	0,88	0,85	0,89
Octobre	0,83	0,80	0,84
Novembre	0,84	0,85	0,86
Décembre	0,78	0,79	0,78



Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés

Figure 26 : Evolution du coefficient de condition K par sexe et par mois pendant la période d'étude.

II. Etude de la contamination métallique

Parmi les formes de pollution que connaissent les eaux figure la contamination par les métaux lourds qui résultent des différents rejets émis par les différents secteurs urbain, industriel et agricole d'une part, et des eaux de ruissellement d'autre part. L'exposition chronique des organismes marins provoque diverses altérations pouvant affecter les différents niveaux de l'organisation biologique (sub-individuel, individuel, population, communauté). Ainsi l'équilibre de l'écosystème dans son ensemble est

menacé voire en danger. La détermination des teneurs des différentes substances métalliques rencontrées dans le milieu marin, constitue un outil qui permettra de caractériser l'état de santé de l'environnement et de mieux comprendre les effets de cette pollution sur un niveau plus pertinent d'un point de vue écologique.

Dans le cadre de ce travail notre choix s'est porté sur *Sardina pilchardus* comme espèce sentinelle vu notamment sa consommation par l'être humain, sa large répartition géographique, sa facilité d'échantillonnage et en fin son maintien au laboratoire à fin d'évaluer son pouvoir bioaccumulateur des ETMs. L'évaluation des concentrations en métaux (Zn, Pb, Cu, Cd et Fer) dosés les organes cibles (gonades et branchies), a été étudiée en tenant compte de l'influence de certains paramètres sur la distribution de ces polluants. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Concentrations moyennes des métaux lourds (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* pêchée dans la baie de Ghazaouet .

Métaux	Zinc	Plomb	Cuivre	Cadmium	Fer
[C] en(ppm/PF)	1	0,048	0,017	0,029	0,770

1. Variations des concentrations métalliques en fonction du sexe et des organes

L'étude globale des figures 27 et 28 ainsi du tableau 10, mettent en relief l'influence des deux facteurs sexe et type d'organes sur l'accumulation des métaux par l'espèce étudiée.

Tableau 10 : Variations des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) en fonction du sexe et organes.

Métaux	Sexe	Organes	
		Gonades	Branchies
Zinc	Femelles ♀	1,101 ±0,747	0,656±0,318
	Mâles ♂	1,51±1,07	0,780± 0,420
Plomb	Femelles ♀	0,0388±0,0173	0,0578±0,0190
	Mâles ♂	0,0386±0,0199	0,0578±0,0190
Cuivre	Femelles ♀	0,0155±0,0118	0,0169±0,0115
	Mâles ♂	0,0212±0,0145	0,0179±0,0108
Cadmium	Femelles ♀	0,0211±0,0199	0,0186±0,0214
	Mâles ♂	0,0265±0,0326	0,0267±0,0273
Fer	Femelles ♀	0,585±0,294	0,967±0,402
	Mâles ♂	0,555±0,311	0,971±0,446

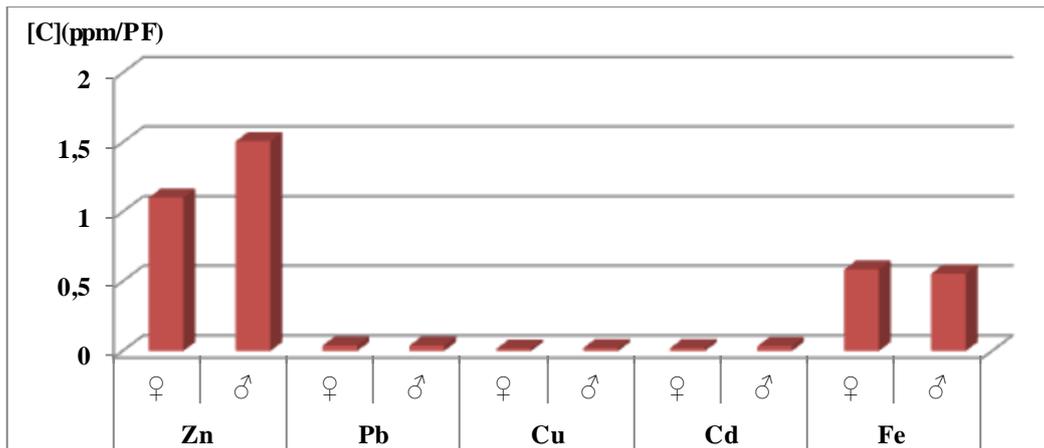


Figure 27: Variations des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) au niveau des gonades en fonction du sexe.

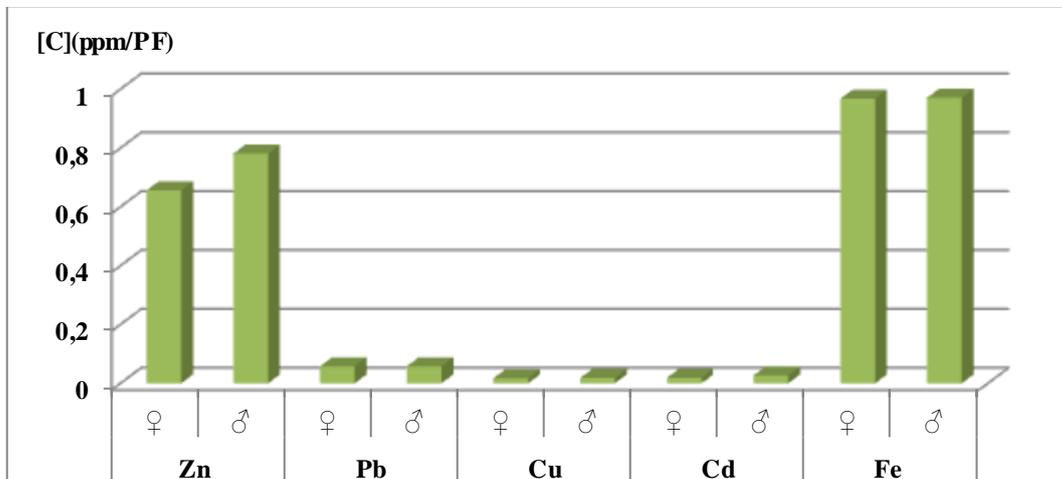


Figure 28: Variations des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm/PF) au niveau des branchies en fonction du sexe.

Pour le Zinc, on remarque que les hautes concentrations sont notées chez les individus mâles comparativement aux femelles au niveau des gonades avec respectivement ($1,51 \pm 1,07$ ppm/PF ; $1,101 \pm 0,747$ ppm/PF) et au niveau des branchies avec ($0,780 \pm 0,420$ ppm/PF ; $0,656 \pm 0,318$ ppm/PF).

La même remarque a été retenue pour le Cadmium qui représente respectivement ($0,0265 \pm 0,0326$ ppm/PF ; $0,0211 \pm 0,0199$ ppm/PF) dans les gonades et ($0,0267 \pm 0,0273$ ppm/PF ; $0,0186 \pm 0,0214$ ppm/PF) dans les branchies.

En revanche, la comparaison des teneurs en ces deux éléments en fonction des organes indique que ces polluants sont plus bio-accumulés par les gonades que les branchies.

Pour le Fer, les valeurs restent presque identiques chez les deux sexes au niveau de tous les organes. Néanmoins les branchies affichent des valeurs plus élevées ($0,969 \pm 0,422$ ppm/PF) que les gonades ($0,572 \pm 0,301$ ppm/PF)

Concernant le Plomb, les individus mâles et femelles marquent presque la même valeur dans leurs organes. Tandis que, les teneurs plombiques les plus élevées sont enregistrées au niveau des branchies ($0,0578 \pm 0,0189$ ppm/PF) par rapport aux gonades ($0,0387 \pm 0,0186$ ppm/PF).

Les valeurs du Cuivre trouvées dans les branchies, restent plus ou moins similaires chez les individus des deux sexes. Par contre, les concentrations moyennes en ce métal sont plus importantes dans les gonades des individus mâles ($0,0212 \pm 0,0145$ ppm/PF) que celles des femelles ($0,0155 \pm 0,0118$ ppm/PF). De même, la variation des teneurs du cuivre en fonction des organes ne présente aucune différence significative.

Il est à noter que, la comparaison des teneurs en métaux étudiés en fonction du sexe au niveau des gonades a révélé une différence significative ($p < 0,05$) pour les trois métaux suivants (Zn, Cu et Cd) (Annexe 2.Tab4). De même au niveau des branchies, une différence significative ($p < 0,05$) a été signalée entre les deux sexes pour ces deux éléments (Zn et Cd) (Annexe 2.Tab5).

Le test de Student a enregistré une différence significative ($p < 0,05$) par rapport à toutes les concentrations des métaux (Zn, Pb, Fe et Cd) exceptée pour le Cuivre ($p > 0,05$) entre les deux organes (Annexe 2.Tab6). Globalement, Nous pouvons établir les ordres d'enrichissement des organes étudiés pour chaque métal et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau suivant :

Tableau 11: Ordres d'enrichissement des organes pour chaque métal.

ETMs	ordre d'enrichissement
Zinc	Gonades > Branchies
Plomb	Branchies > Gonades
Cuivre	Gonades \approx Branchies
Cadmium	Gonades > Branchies
Fer	Branchies > Gonades

2. Variations des concentrations métalliques en fonction des classes de taille

2.1. Le Zinc

D'après les résultats résumés dans le tableau 12 et illustrés par la figure 29, on assiste globalement à une augmentation progressive des concentrations moyennes en Zinc en fonction de la taille tous sexes confondus. Pour les gonades, les fortes concentrations sont notées chez les individus de taille supérieure 19-21cm avec $1,616 \pm 0,644$ ppm/PF. Néanmoins, l'accumulation de cet élément par les branchies est plus importante chez le groupe de la classe 17-19cm suivie par la classe 19-21cm avec respectivement ($0,827 \pm 0,347$ ppm/PF et $0,801 \pm 0,319$ ppm/PF). Tandis que, les basses concentrations sont enregistrées chez la population de petite taille 11-13cm pour les deux organes avec ($0,552 \pm 0,378$ ppm/PF dans les gonades et $0,495 \pm 0,226$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 12 : Variations des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) fonction de classes de taille.

Classes de taille	Gonades	Branchies
11-13cm	$0,552 \pm 0,378$	$0,495 \pm 0,226$
13-15cm	$1,011 \pm 0,644$	$0,677 \pm 0,407$
15-17cm	$1,362 \pm 1,034$	$0,711 \pm 0,400$
17-19cm	$1,602 \pm 0,917$	$0,827 \pm 0,347$
19-21cm	$1,616 \pm 0,644$	$0,801 \pm 0,319$

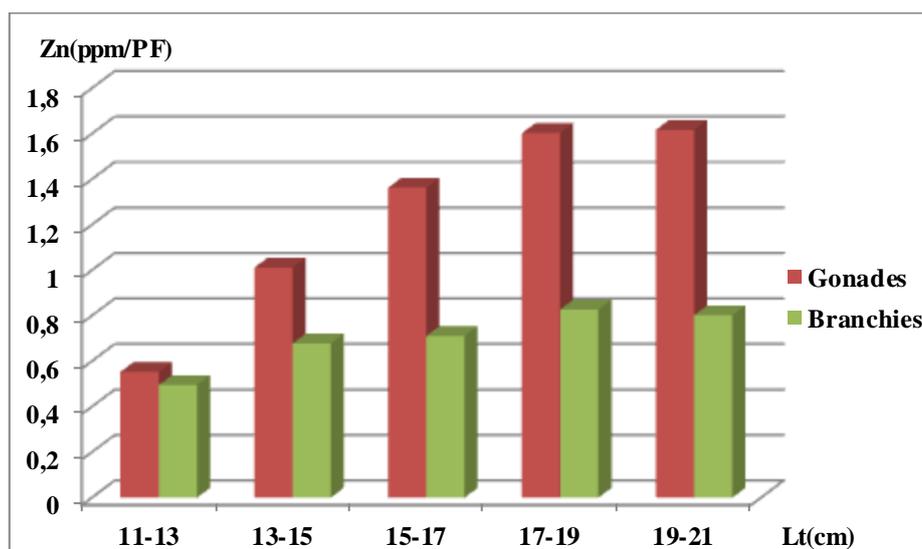


Figure 29 : Evaluation des concentrations moyennes en Zinc en fonction de classes de taille chez *Sardina pilchardus*.

2.2. Le Plomb

Pour le Plomb, il semble que les teneurs moyennes ont tendance à augmenter avec l'augmentation de la taille de l'espèce pour tous les organes (Figure 30). Ce polluant atteint une valeur maximale de $0,031 \pm 0,018$ ppm/PF dans le tissu gonadique obtenue chez la classe 19-21 cm. Notant que, cette même classe affiche la valeur la plus importante pour les branchies avec un ordre de $0,050 \pm 0,027$ ppm/PF. En revanche, la classe la plus jeune 11-13 cm ne marque aucune présence du Pb pour les deux organes (Tableau 13).

Tableau 13 : Variations des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) en fonction de classes de taille.

Classes de taille	Gonades	Branchies
11-13cm	0±0	0±0
13-15cm	0,010±0,023	0,011±0,019
15-17cm	0,025±0,023	0,035±0,033
17-19cm	0,030±0,022	0,046±0,027
19-21cm	0,031±0,018	0,050±0,027

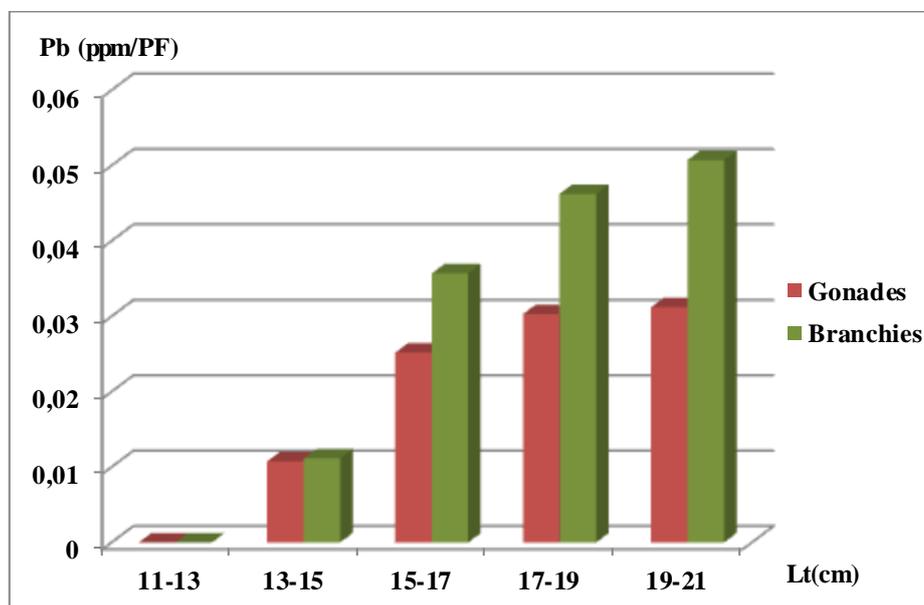


Figure 30 : Evaluation des concentrations moyennes en Plomb en fonction de classes de taille chez *Sardina pilchardus*.

2.3. Le Cuivre

La comparaison des concentrations moyennes mentionnées dans le tableau 14 et illustrées par la figure 31 entre les différentes classes de taille, permet de constater que

les teneurs élevées en Cuivre intéressent les individus de la classe 15-17cm avec une valeur de $0,020 \pm 0,014$ dans les gonades. Par contre, les teneurs en cet élément dans les branchies s'accroissent proportionnellement à la taille du poisson où la plus forte concentration ($0,025 \pm 0,009$ ppm/PF) caractérise les grands individus dont la taille varie entre 19-21cm. Cependant, les plus faibles concentrations sont marquées chez les petits individus dont la gamme de taille est comprise entre 11-13cm avec ($0,006 \pm 0,006$ ppm/PF dans les gonades et $0,004 \pm 0,005$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 14: Variations des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) en fonction de classes de taille.

Classes de taille	Gonades	Branchies
11-13cm	$0,006 \pm 0,006$	$0,004 \pm 0,005$
13-15cm	$0,017 \pm 0,013$	$0,015 \pm 0,012$
15-17cm	$0,020 \pm 0,014$	$0,016 \pm 0,011$
17-19cm	$0,016 \pm 0,012$	$0,019 \pm 0,010$
19-21cm	$0,019 \pm 0,012$	$0,025 \pm 0,009$

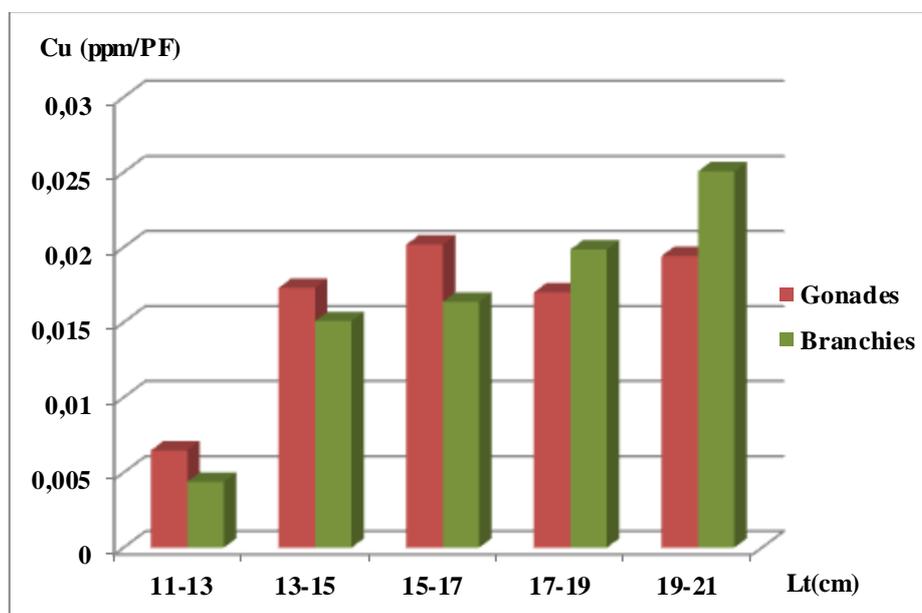


Figure 31 : Evaluation des concentrations moyennes en Cuivre en fonction de classes de taille chez *Sardina pilchardus*.

2.4.Le Cadmium

En analysant le tableau 15 et la figure 32, on remarque que la variation des concentrations cadmiques dans les gonades passe de $0,002 \pm 0,006$ ppm/PF chez la classe 11-13cm à $0,015 \pm 0,019$ ppm/PF chez la classe suivante 13-15cm.

Ensuite, elle se stabilise pour les autres lots de classe avec une valeur moyenne de $0,027 \pm 0,02$ ppm/PF. En ce qui concerne les branchies, on souligne que les concentrations de ce xénobiotique augmentent vis-à-vis du paramètre étudié (Taille). Elles sont à leur maximum chez la grosse sardine 19-21cm avec une valeur de $0,031 \pm 0,027$ ppm/PF. En effet les concentrations les plus minimales pour tous les organes sont révélées chez la petite Sardine 11-13cm ($0,002 \pm 0,006$ ppm/PF dans les gonades et $0,002 \pm 0,002$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 15 : Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction de classes de taille.

Classes de taille	Gonades	Branchies
11-13cm	$0,002 \pm 0,006$	$0,002 \pm 0,002$
13-15cm	$0,015 \pm 0,019$	$0,012 \pm 0,020$
15-17cm	$0,027 \pm 0,027$	$0,022 \pm 0,026$
17-19cm	$0,027 \pm 0,021$	$0,026 \pm 0,023$
19-21cm	$0,027 \pm 0,025$	$0,031 \pm 0,027$

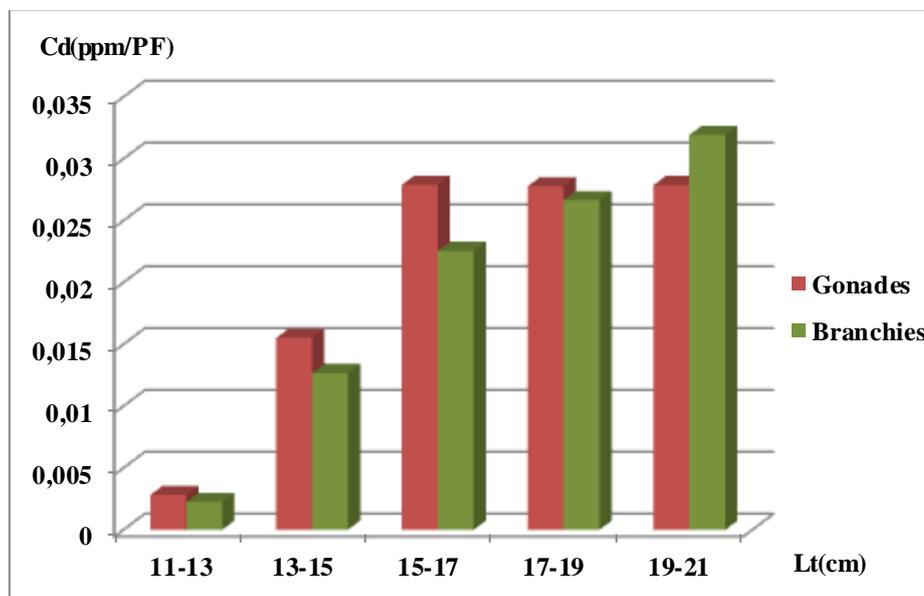


Figure 32: Evaluation des concentrations moyennes en Cadmium en fonction de classes de taille chez *Sardina pilchardus*.

2.5. Le Fer

Les teneurs moyennes en Fer révélées dans les gonades de la *Sardina pilchardus* montrent une légère augmentation des concentrations au sein des différentes lots de classe de taille en atteignant une valeur de $0,597 \pm 0,346$ ppm/PF

chez les spécimens de la classe 17-19cm. Alors que, les branchies affichent des concentrations plus importantes dont l'augmentation est étroitement liée à celle de la taille. La valeur la plus élevée touche les poissons ayant une taille entre 17-19cm avec un ordre de $1,068 \pm 0,367$ ppm/PF. Soulignant que les concentrations moyennes en Fer témoignent une diminution chez le lot de classe 19-21cm avec $0,474 \pm 0,253$ dans les gonades et $0,894 \pm 0,441$ ppm/PF dans les branchies) (Tableau 16).

Tableau 16 : Variations des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) en fonction de classes de taille.

Classes de taille	Gonades	Branchies
11-13cm	$0,529 \pm 0,190$	$0,720 \pm 0,378$
13-15cm	$0,557 \pm 0,305$	$0,883 \pm 0,463$
15-17cm	$0,590 \pm 0,308$	$1,024 \pm 0,418$
17-19cm	$0,597 \pm 0,346$	$1,068 \pm 0,367$
19-21cm	$0,474 \pm 0,253$	$0,894 \pm 0,441$

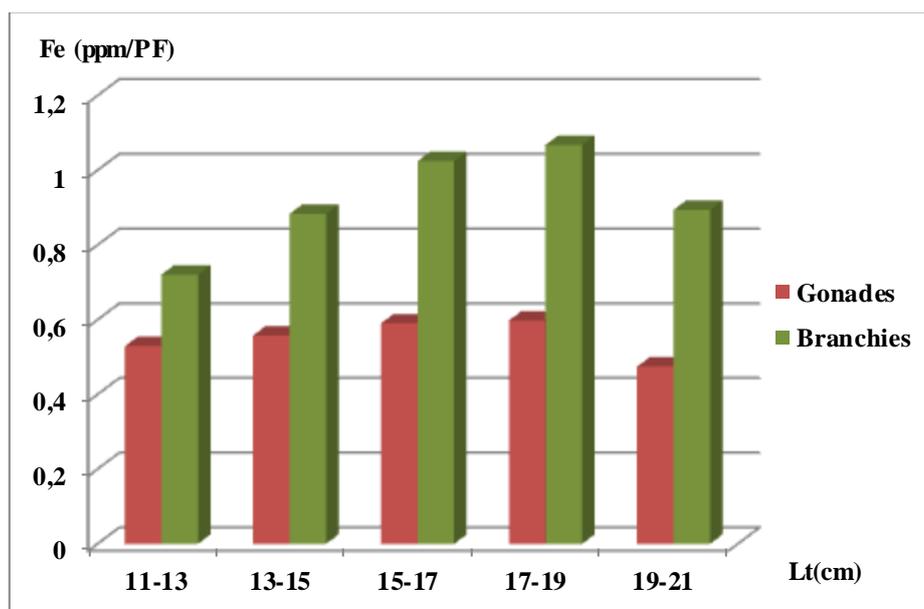


Figure 33 : Evaluation des concentrations moyennes en Fe en fonction de classes de taille chez *Sardina pilchardus*.

En fin, On note que l'application du Test ANOVA a donné une différence significative ($p < 0,05$) pour toutes les concentrations en métaux (Zn, Pb, Cu, Cd et Fe) trouvées au niveau des deux organes entre les différentes classes de taille. Tandis que la comparaison des teneurs en Fer décelées dans les gonades ne montrent aucune différence significative ($p > 0,05$) (Annexe 2.Tab7).

3. Variations temporelles des concentrations métalliques chez *S. pilchardus*

3.1. Variations saisonnières

3.1.1. Le Zinc

Suite aux résultats obtenus dans le tableau 17 et illustrés par la figure 34, il ressort que les concentrations moyennes en Zn étudiées en fonction de la saison fluctuent presque de la même manière dans les deux organes. Les valeurs les plus importantes ont été rencontrées en hiver avec ($2,018 \pm 1,014$ ppm/PF dans les gonades et $0,964 \pm 0,964$ ppm/PF dans les branchies). Puis elles tendent à diminuer en été en marquant ensuite une augmentation en automne avec une concentration de ($0,774 \pm 0,514$ ppm/PF dans les gonades et $0,585 \pm 0,585$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 17 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

Saison	Gonades	Branchies
Hiver	$2,018 \pm 1,014$	$0,964 \pm 0,964$
Printemps	$1,566 \pm 0,795$	$0,707 \pm 0,707$
Eté	$0,668 \pm 0,415$	$0,53 \pm 0,53$
Automne	$0,774 \pm 0,514$	$0,585 \pm 0,585$

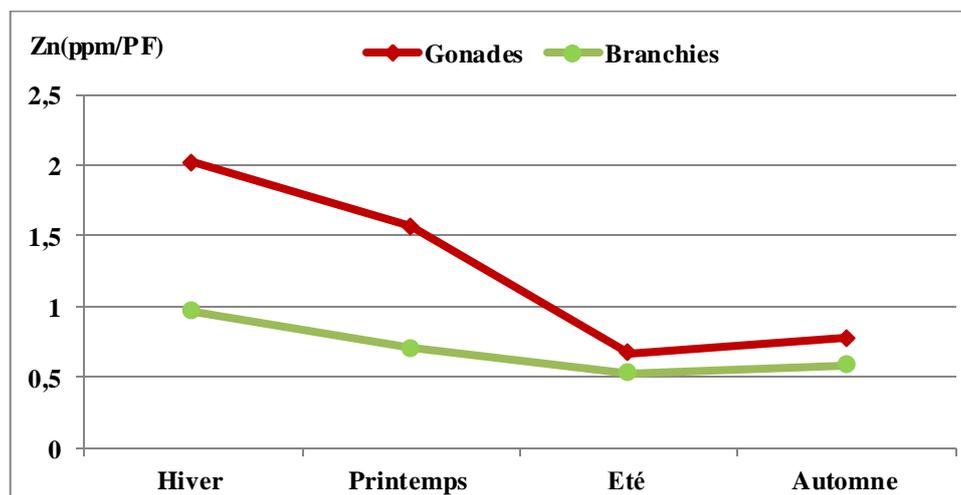


Figure 34 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

3.1.2. Le Plomb

Les résultats regroupés dans le tableau 18 et représentés par la figure 35, indiquent que l'évolution des concentrations plombiques retrouvées dans les gonades est presque similaire à celles révélées dans les branchies. Le tissu gonadique enregistre une valeur maximale de $0,0457 \pm 0,023$ ppm/PF durant la période printanière en témoignant par la suite une chute au cours de la période estivale. Tandis que lors de la période automnale, ce polluant n'a pas été décelé. Le même constat a été souligné pour les branchies qui présentent la valeur maximale de l'ordre de $0,0581 \pm 0,019$ ppm/PF en printemps avec absence de ce métal en automne.

Tableau 18 : Variations saisonnière des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet

Saison	Gonades	Branchies
Hiver	$0,0344 \pm 0,014$	$0,056 \pm 0,018$
Printemps	$0,0457 \pm 0,023$	$0,0581 \pm 0,019$
Eté	$0,0148 \pm 0,018$	$0,021 \pm 0,033$
Automne	0 ± 0	0 ± 0

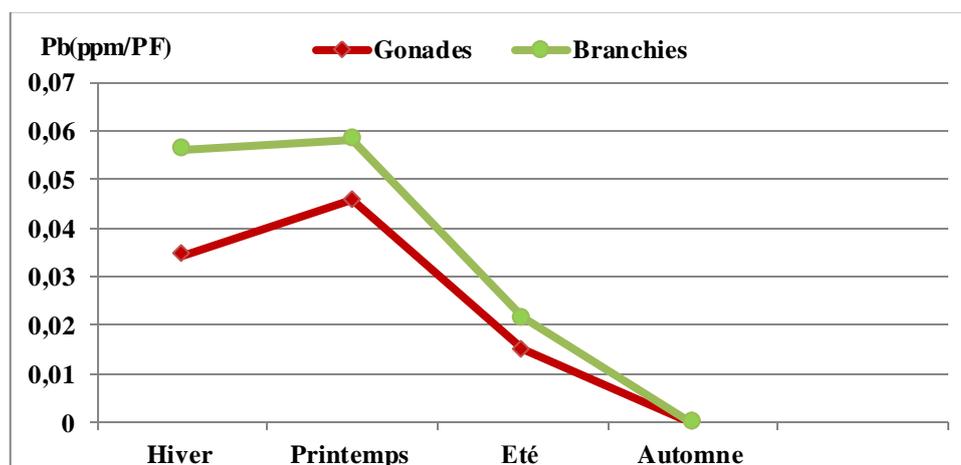


Figure 35 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet

3.1.3. Le Cuivre

En se basant sur le tableau 19 et la figure 36, il apparaît clairement que la période froide se caractérise par une hausse des teneurs moyennes en Cu pour tous les organes de la sardine avec ($0,029 \pm 0,013$ ppm/PF dans les gonades et $0,0272 \pm 0,011$ ppm/PF dans les branchies). Alors qu'une chute est observée au cours des autres saisons. Les basses concentrations sont notées en automne avec ($0,029 \pm 0,013$ ppm/PF dans les gonades et $0,0272 \pm 0,011$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 19: Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

Saison	Gonades	Branchies
Hiver	0,029±0,013	0,0272±0,011
Printemps	0,016±0,010	0,016±0,004
Été	0,014±0,008	0,011±0,007
Automne	0,007±0,007	0,008±0,008

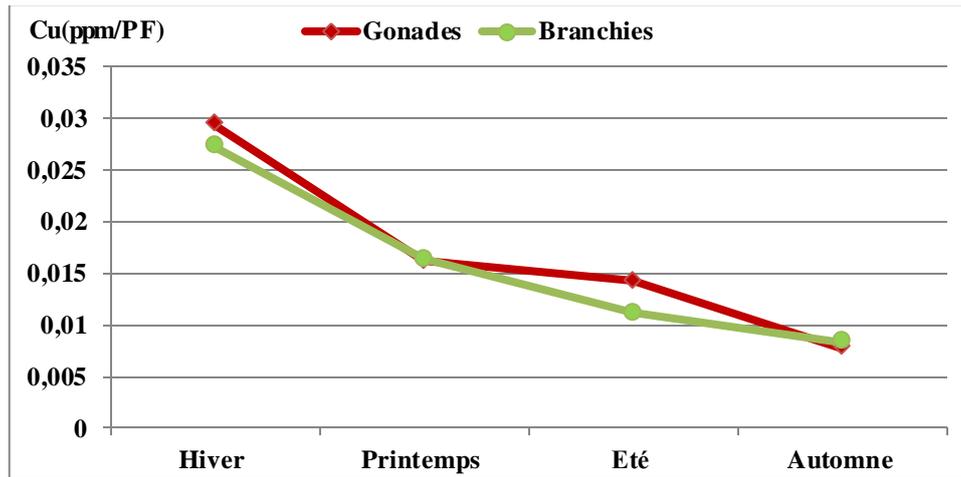


Figure 36: Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

3.1.4. Le Cadmium

D'après la lecture du tableau 20, il ressort que les gonades indiquent une valeur maximale de $0,042 \pm 0,025$ ppm/PF en hiver. La valeur minimale est atteinte en automne avec $0,003 \pm 0,003$ ppm/PF. Par ailleurs, on relève qu'une légère stabilité des teneurs cadmiques au niveau des branchies est observée durant les deux saisons avec ($0,0356 \pm 0,025$ ppm/PF en hiver et $0,034 \pm 0,028$ ppm/PF en printemps), puis elles subissent une diminution en automne marquant une concentration moyenne minimale de l'ordre de $0,004 \pm 0,004$ ppm/PF.

Tableau 20 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

Saison	Gonades	Branchies
Hiver	0,042±0,025	0,0356±0,025
Printemps	0,030±0,017	0,034±0,028
Été	0,017±0,019	0,007±0,011
Automne	0,003±0,003	0,004±0,004

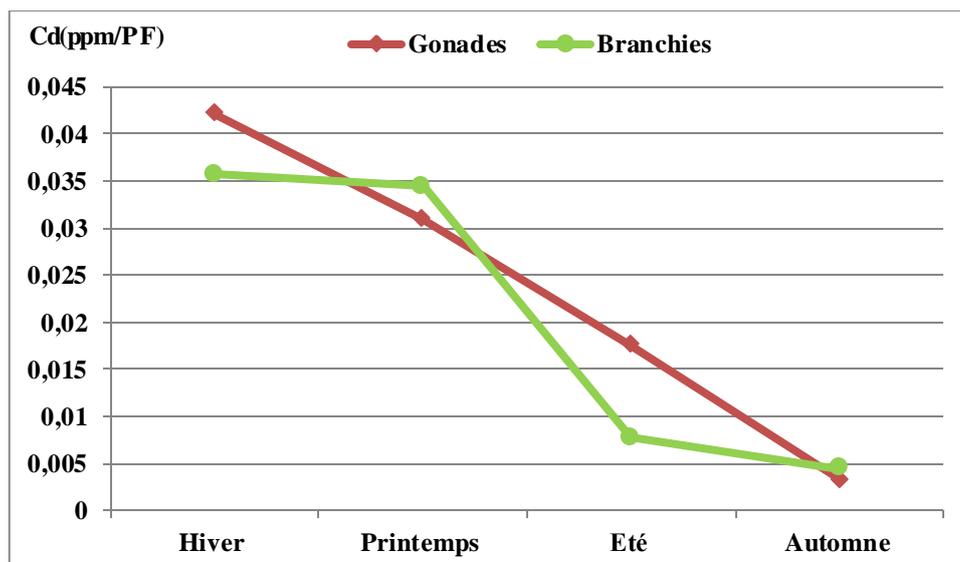


Figure 37 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaout.

3.1.5. Le Fer

Pour ce métal, une tendance à la hausse est enregistrée en printemps avec une concentration moyenne de ($0,795 \pm 0,352$ ppm/PF pour les gonades et $1,0921 \pm 0,338$ ppm/PF pour les branchies). Alors que les plus faibles teneurs révélées dans les organes ciblés touchent principalement la saison hivernale avec ($0,381 \pm 0,191$ ppm/PF dans les gonades et $0,803 \pm 0,314$ ppm/PF dans les branchies). Cependant, une tendance à l'augmentation est notée en automne au niveau du tissu gonadique ($0,644 \pm 0,282$ ppm/PF) par contre au cours de cette même saison une chute des valeurs moyennes est décelable dans les branchies ($1,006 \pm 0,481$ ppm/PF).

Tableau 21 : Variations saisonnière des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaout.

Saison	Gonades	Branchies
Hiver	$0,381 \pm 0,191$	$0,803 \pm 0,314$
Printemps	$0,795 \pm 0,352$	$1,0921 \pm 0,338$
Été	$0,4661 \pm 0,14$	$1,033 \pm 0,470$
Automne	$0,644 \pm 0,282$	$1,006 \pm 0,481$

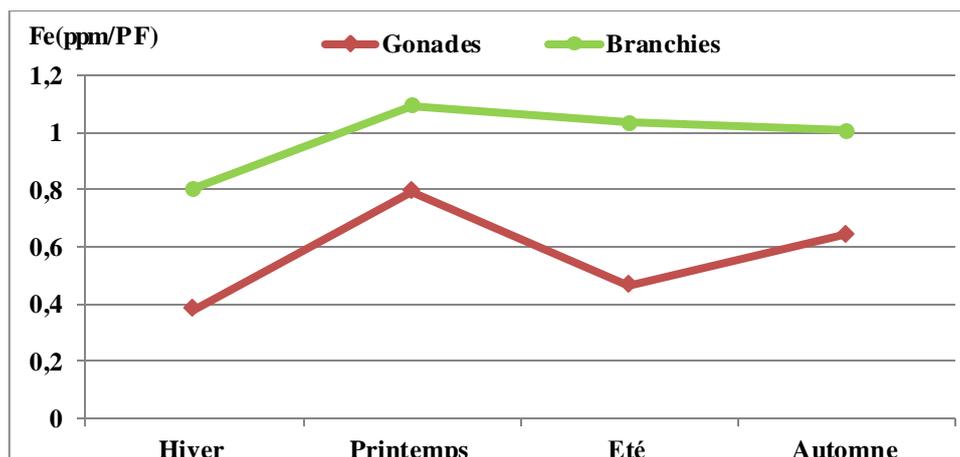


Figure 38 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

Il faut noter que, le test ANOVA présente une différence significative ($p < 0,05$) pour toutes les teneurs métalliques (Zn, Pb, Cu, Cd et Fe) étudiées en fonction les différentes saisons dans chaque organe (gonades et branchies). Ces résultats mettent en évidence l'influence de la saison sur la variation des concentrations en métaux (Annexe 2.Tab8).

3.1.6. Variations saisonnières des pourcentages des teneurs en métaux lourds.

Tableau 22 : Pourcentages des différentes teneurs en métaux lourds observés au niveau des gonades de la sardine à différentes périodes de l'année 2017.

			Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
	Sexe	Saison	%	%	%	%	%
Gonades	♀	Hiver	76,32	1,60	1,31	1,63	19,14
		Printemps	62	2	1	1	34
		Été	53	1	1	1	44
		Automne	56	0	1	0	43
	♂	Saison	%	%	%	%	%
		Hiver	83	1	1	2	13
		Printemps	66	2	1	1	30
		Été	62	1	1	2	34
		Automne	51	0	1	0	48

Pratiquement, pour toutes les saisons, les oscillations des teneurs en Zinc présentent les pourcentages les plus élevés par rapport aux autres polluants (Tableau 22). Un maximum de 76,23% a été observé en hiver pour les gonades femelles affichant une tendance à la baisse avec 62% en printemps et 53% en été, ensuite la

proportion de cet élément tend à augmenter en automne 56%. De même, les gonades du sexe opposé présentent le pourcentage le plus important durant la période hivernale avec 83% qui diminue pour atteindre 66% en printemps ,62 % en été et 51% en automne.

Pour la sardine femelle, le Fer marque un pourcentage de 19,14% au niveau des gonades avec une hausse en été 34% pour atteindre 44% en printemps puis chute légèrement en automne 43%. Néanmoins, les pourcentages du Fer gonadique dénotés chez les mâles fluctuent en suivant une augmentation au cours saisons 13% en hiver , 30% en printemps , 34 % en été et 48% en automne .

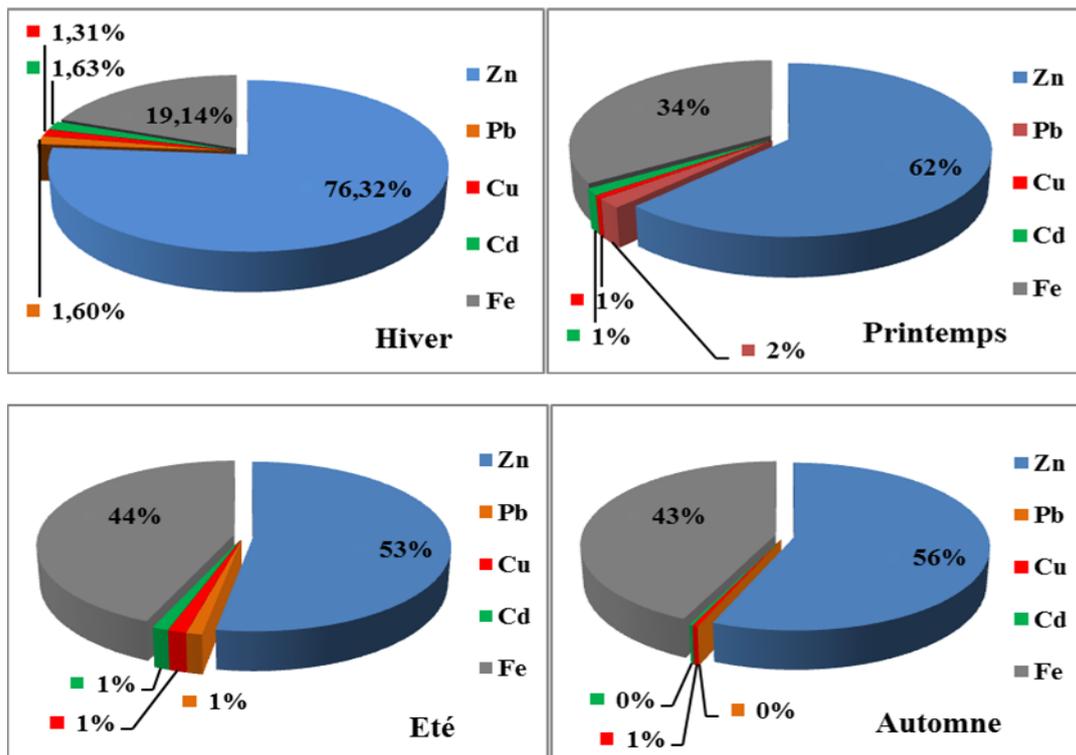
Cependant, les pourcentages inférieurs concernent le Plomb, le Cuivre et le Cadmium.

Le pourcentage du Cuivre dans gonades femelles, montre une légère stabilité allant de 1,31% en hiver pour atteindre 1 % durant toutes les autres saisons de l'étude. La même constatation a été signalée pour les gonades mâles avec un ordre de 1% pendant les quatre saisons.

Concernant le Plomb, il se distingue par les valeurs suivantes à savoir 1,60% en hiver, 2% en printemps, 1% en été notant que ce dernier n'a pas été décelé au cours de la saison automnale (0%). Alors que les pourcentages de la contamination plombique dans les gonades mâles fluctuent durant les différentes saisons avec 1% en hiver, 2% en printemps, 1% en été et 0% en automne (Métal non détecté pendant la saison).

En fin, les pourcentages cadmiques chez les femelles sont plus ou moins stables au niveau des gonades avec une valeur de 1,63% en hiver et 1% pour les autres saisons .Pareillement pour les gonades femelles, les proportions de ce métal sont bien identiques 1% pour l'ensemble des saisons.

Gonades (♀)



Gonades (♂)

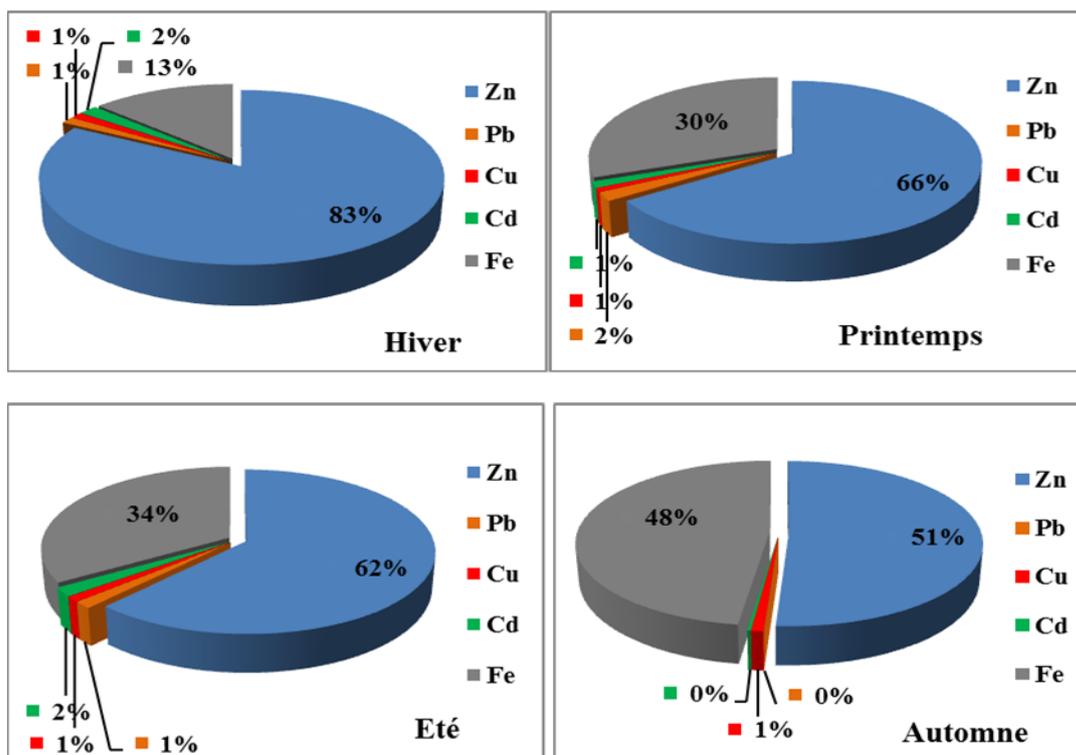


Figure 39: Pourcentage des teneurs en métaux traces évaluées dans les gonades selon les quatre saisons.

Tableau 23: Pourcentages des différents teneurs en métaux lourds observés au niveau des branchies de la sardine à différentes périodes de l'année 2017.

			Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
	Sexe	Saison	%	%	%	%	%
Branchies	♀	Hiver	47	3	2	1	47
		Printemps	36	3	1	2	58
		Été	35	1	1	1	62
		Automne	37	0	1	0	62
	♂	Saison	%	%	%	%	%
		Hiver	54	3	1	2	40
		Printemps	39	3	1	2	55
		Été	30	1	1	0	68
		Automne	36	0	1	0	63

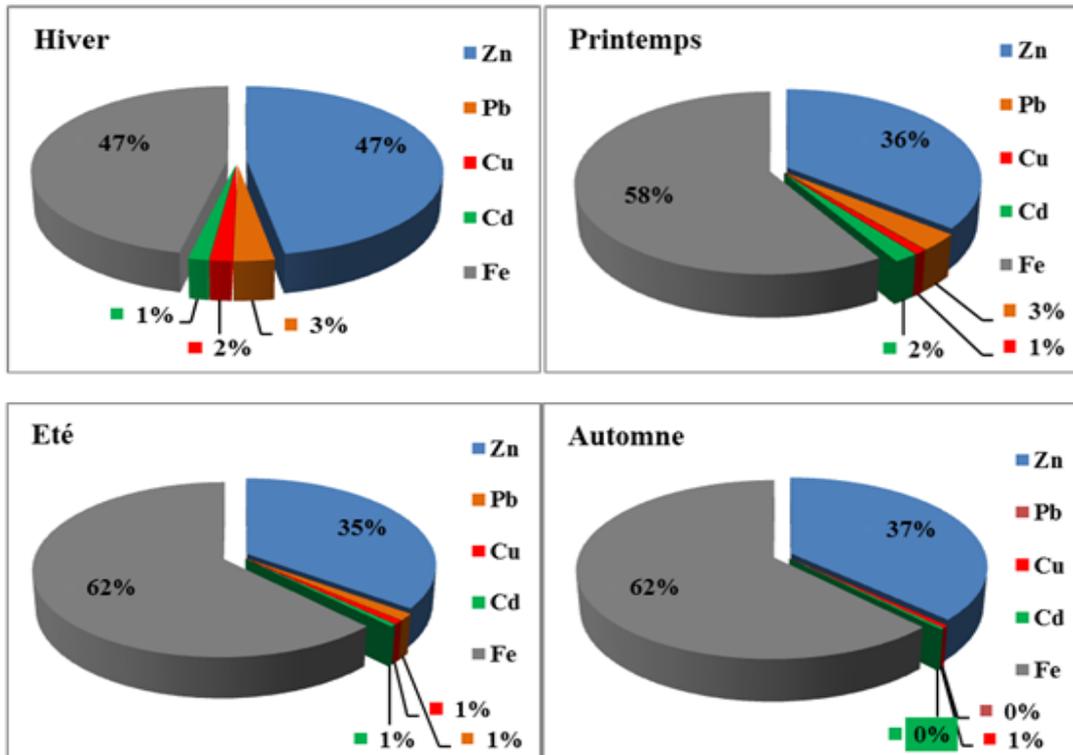
Conformément au tableau 23, le pourcentage le plus marqué concerne le Fer comparativement avec les autres éléments dosés dans les branchies. Ce xénobiotique présente un pourcentage qui augmente de façon continue chez les femelles avec (47% en hiver, 58% en printemps) et se stabilise durant les deux saisons (été et automne) avec un pourcentage atteint de 62%. Identiquement chez les mâles, il tend à la hausse avec un maximum soit 68% en printemps pour entamer une légère baisse en automne 63%.

La variation des pourcentages du Zinc déterminés au niveau des branchies se fait selon un gradient allant de (47% en hiver, 36% printemps, 35% en été jusqu'à 37% en automne) pour les femelles et de (54% en hiver, 39% en printemps, 30% en été et 36% en automne) pour les mâles.

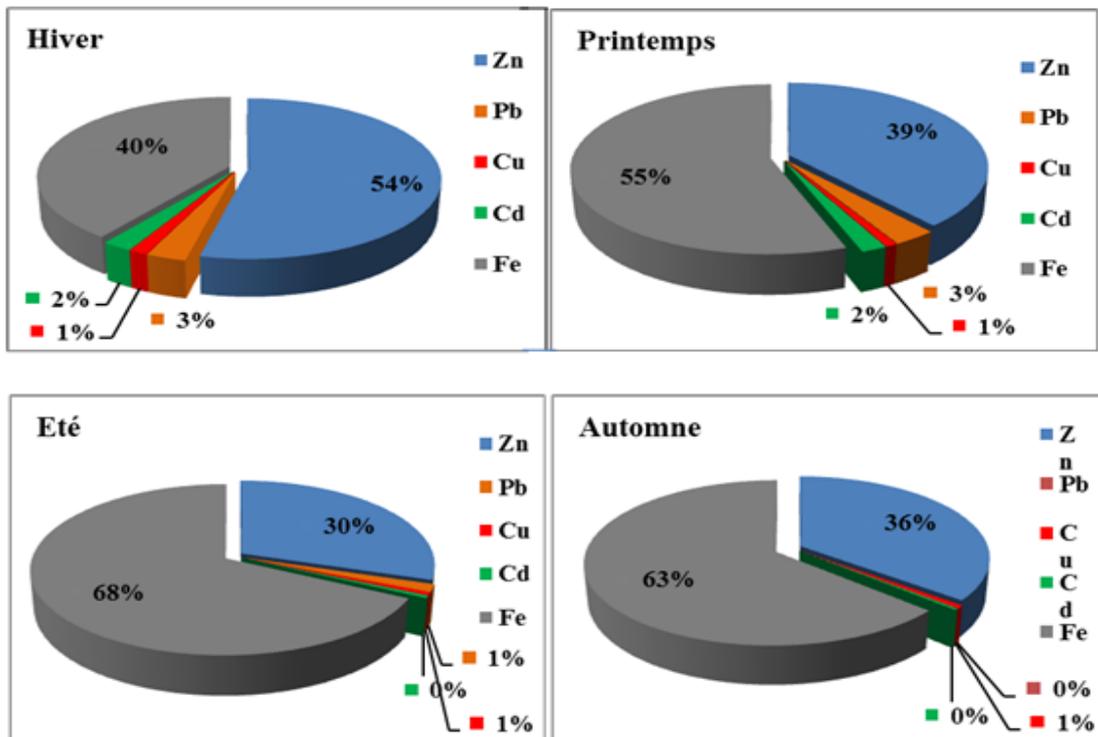
Le pourcentage du Plomb contenu dans les branchies fluctue similairement chez les individus des deux sexes avec (3% en hiver et printemps, 1% en été) pour être non décelable durant la saison automnale.

Tandis que le Cadmium qu'abritent les branchies ne dépasse pas les 2% chez les deux sexes. Pour les femelles, on obtient les valeurs suivantes (1% en hiver et été, 2% en printemps) et celles rencontrées chez les mâles conservent une valeur de 2% pour être nulles en été et automne (cas des mâles) et en automne seulement (cas des femelles).

Branchies (♀)



Branchies (♂)



Figures40 : Pourcentage des teneurs en métaux traces évaluées dans les gonades selon les quatre saisons.

3.2. Variations mensuelles globales

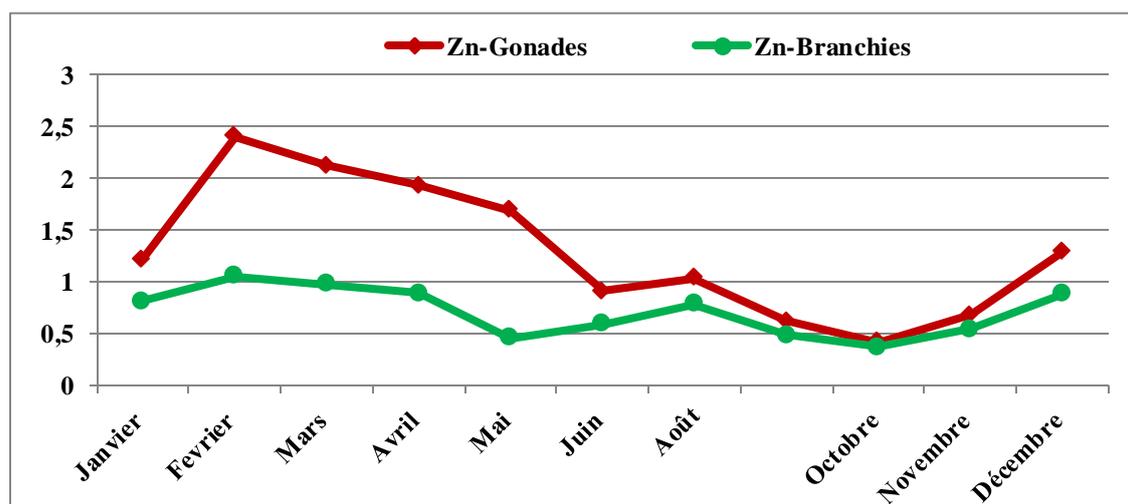
3.2.1. Le Zinc

L'examen de l'évolution mensuelle des concentrations en Zinc représentées par la figure 41 et le tableau 24 montre une fluctuation qui va dans le même sens au niveau de tous les organes avec une valeur maximale qu'on note au mois de février soit ($2,401 \pm 0,927$ ppm/PF dans les gonades et $1,048 \pm 0,362$ ppm/PF dans les branchies). En revanche, une valeur minimale atteinte est de l'ordre de ($0,415 \pm 0,256$ ppm/PF dans les gonades et $0,369 \pm 0,140$ ppm/PF dans les branchies) retrouvée en mois d'octobre à partir duquel ces concentrations vont augmenter pour arriver à une à ($1,282 \pm 0,512$ ppm/PF cas des gonades et $0,879 \pm 0,294$ ppm/PF pour les branchies) en mois de décembre.

Tableau 24 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Zinc (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

Mois	Gonades	Branchies
Janvier	$1,211 \pm 0,351$	$0,806 \pm 0,325$
Février	$2,401 \pm 0,927$	$1,048 \pm 0,362$
Mars	$2,118 \pm 1,103$	$0,975 \pm 0,505$
Avril	$1,927 \pm 0,896$	$0,886 \pm 0,190$
Mai	$1,69 \pm 0,396$	$0,454 \pm 0,192$
Juin	$0,908 \pm 0,223$	$0,588 \pm 0,229$
Août	$1,033 \pm 0,389$	$0,778 \pm 0,379$
Septembre	$0,616 \pm 0,376$	$0,480 \pm 0,170$
Octobre	$0,415 \pm 0,256$	$0,369 \pm 0,140$
Novembre	$0,675 \pm 0,318$	$0,538 \pm 0,242$
Décembre	$1,282 \pm 0,512$	$0,879 \pm 0,294$

Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés.



Figures 41 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Zinc (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

3.2.2. Le Plomb

Selon la figure 42 et le tableau 25, on constate que la variation des teneurs plombiques dans les gonades se distingue par une chute lors des mois de la saison hivernale en enregistrant un pic qui correspond à la valeur maximale au mois d'avril. Puis celles-ci diminuent pour suivre la variation suivantes ($0,025 \pm 0,016$ ppm/PF en juin et $0,017 \pm 0,018$ ppm/PF en septembre) tandis que ce métal a été absent durant le mois d'août ainsi que les mois de la saison automnale. Alors que dans les branchies, on remarque que les concentrations présentent des valeurs approximativement similaires allant de janvier jusqu'à mai pour atteindre un maximum soit $0,065 \pm 0,011$ ppm/PF au mois de juin. Ensuite ce polluant devient nul durant les autres mois à l'exception du mois de septembre qui s'isole en affichant une valeur de $0,014 \pm 0,030$ ppm/PF.

Tableau 25: Variations mensuelles des concentrations moyennes du Plomb (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

Mois	Gonades	Branchies
Janvier	$0,045 \pm 0,006$	$0,057 \pm 0,019$
Février	$0,033 \pm 0,017$	$0,056 \pm 0,014$
Mars	$0,029 \pm 0,013$	$0,054 \pm 0,021$
Avril	$0,057 \pm 0,016$	$0,057 \pm 0,022$
Mai	$0,046 \pm 0,029$	$0,049 \pm 0,017$
Juin	$0,025 \pm 0,016$	$0,065 \pm 0,011$
Août	0 ± 0	0 ± 0
Septembre	$0,017 \pm 0,018$	$0,014 \pm 0,030$
Octobre	0 ± 0	0 ± 0
Novembre	0 ± 0	0 ± 0
Décembre	0 ± 0	0 ± 0

Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés.

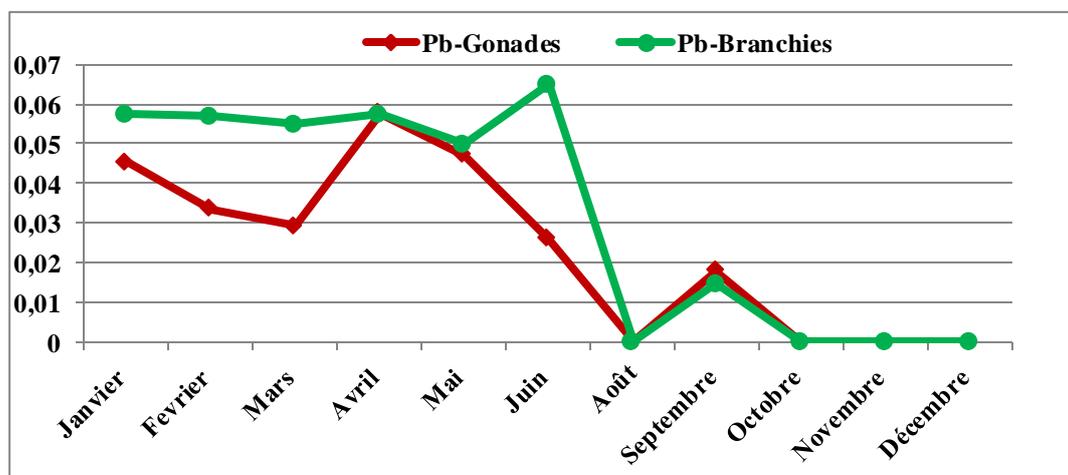


Figure 42 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Plomb (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*

3.2.3. Le Cuivre

D'après la figure 43 et le tableau 26, la variation des teneurs en Cuivre révélées dans les différents organes montre que, la valeur la plus élevée est enregistrée en mois de février au niveau des gonades ($0,032 \pm 0,015$ ppm/PF). Concernant les branchies, un max de $0,035 \pm 0,011$ ppm/PF est noté en mois de janvier. Cependant, les valeurs les plus faibles sont notées au mois de novembre avec un ordre de ($0,002 \pm 0,003$ ppm/PF dans les gonades et $0,001 \pm 0,001$ ppm/PF dans les branchies). Ces dernières vont ensuite augmenter en marquant ($0,020 \pm 0,044$ ppm/PF au niveau des gonades et $0,018 \pm 0,006$ ppm/PF au niveau des branchies) durant le mois de décembre.

Tableau 26 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cuivre (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

Mois	Gonades	Branchies
Janvier	$0,021 \pm 0,012$	$0,035 \pm 0,011$
Février	$0,032 \pm 0,015$	$0,026 \pm 0,014$
Mars	$0,031 \pm 0,011$	$0,023 \pm 0,003$
Avril	$0,022 \pm 0,011$	$0,018 \pm 0,002$
Mai	$0,008 \pm 0,003$	$0,012 \pm 0,003$
Juin	$0,011 \pm 0,007$	$0,015 \pm 0,006$
Août	$0,014 \pm 0,001$	$0,016 \pm 0,011$
Septembre	$0,014 \pm 0,009$	$0,010 \pm 0,005$
Octobre	$0,006 \pm 0,006$	$0,006 \pm 0,006$
Novembre	$0,002 \pm 0,003$	$0,001 \pm 0,001$
Décembre	$0,020 \pm 0,044$	$0,018 \pm 0,006$

Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés

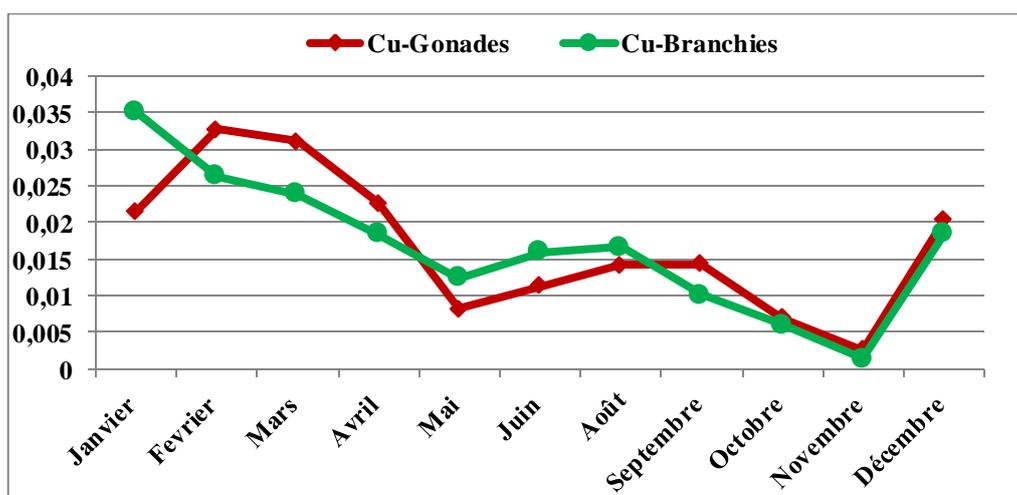


Figure 43 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cuivre (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

3.2.4. Le Cadmium

Les concentrations du cadmium gonadique marquent la valeur la plus importante en mois de mars soit ($0,054 \pm 0,023$ ppm/PF). Tandis que les branchies indiquent un maximum en mois d'avril avec un ordre de ($0,044 \pm 0,035$) ppm/PF. Néanmoins les valeurs minimales sont décelables en mois d'octobre dans les organes vitaux (gonades et branchies) avec respectivement ($0,0007 \pm 0,001$ ppm/PF et $0,0009 \pm 0,0008$ ppm/PF). Ensuite les teneurs cadmiques ont tendance à augmenter pour arriver à une valeur de ($0,007 \pm 0,002$ ppm/PF) dans les gonades et ($0,009 \pm 0,002$ ppm/PF) dans les branchies en mois de décembre.

Tableau 27: Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cadmium (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

Mois	Gonades	Branchies
Janvier	$0,014 \pm 0,007$	$0,017 \pm 0,011$
Février	$0,045 \pm 0,021$	$0,039 \pm 0,020$
Mars	$0,054 \pm 0,023$	$0,042 \pm 0,029$
Avril	$0,037 \pm 0,020$	$0,044 \pm 0,035$
Mai	$0,021 \pm 0,009$	$0,018 \pm 0,011$
Juin	$0,025 \pm 0,012$	$0,029 \pm 0,015$
Août	$0,019 \pm 0,013$	$0,009 \pm 0,004$
Septembre	$0,015 \pm 0,020$	$0,006 \pm 0,012$
Octobre	$0,0007 \pm 0,001$	$0,0009 \pm 0,0008$
Novembre	$0,002 \pm 0,001$	$0,003 \pm 0,001$
Décembre	$0,007 \pm 0,002$	$0,009 \pm 0,002$

Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés

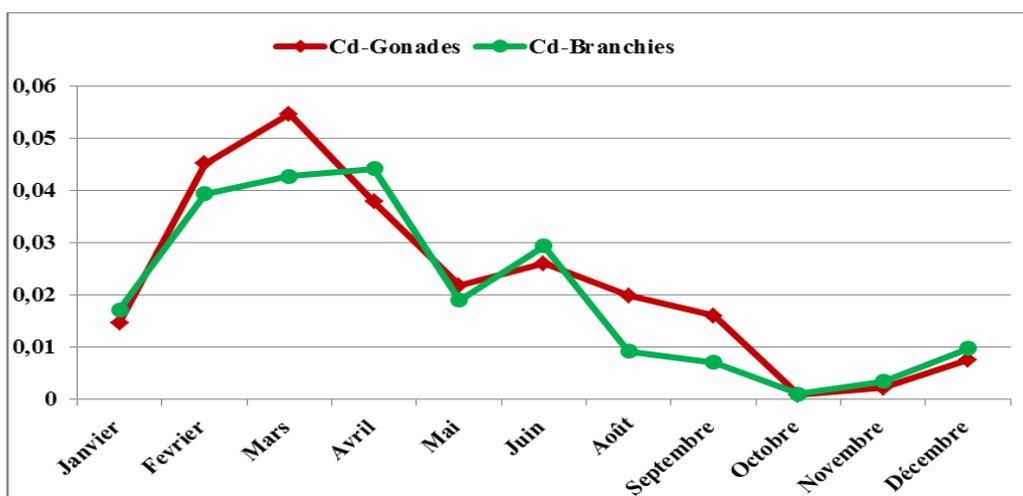


Figure 44 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cadmium (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

3.2.5. Le Fer

D'après le tableau 28 et la figure 45, il apparaît que les gonades montrent un maximum en décembre ($0,917 \pm 0,258$ ppm/PF). Cependant, la valeur minimale a été perçue en mois de février soit ($0,370 \pm 0,162$ ppm/PF). Par contre les branchies enregistrent des concentrations du fer plus importantes par rapport aux gonades avec un maximum de ($1,222 \pm 0,410$ ppm/PF) atteint en mois de mai et un minimum enregistré en mois de mars soit ($0,613 \pm 0,203$ ppm/PF).

Tableau 28 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Fer (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

Mois	Gonades	Branchies
Janvier	$0,406 \pm 0,224$	$1,047 \pm 0,390$
Février	$0,370 \pm 0,162$	$0,866 \pm 0,235$
Mars	$0,377 \pm 0,201$	$0,613 \pm 0,203$
Avril	$0,757 \pm 0,361$	$1,038 \pm 0,376$
Mai	$0,867 \pm 0,445$	$1,222 \pm 0,410$
Juin	$0,806 \pm 0,281$	$1,094 \pm 0,190$
Août	$0,386 \pm 0,207$	$1,146 \pm 0,480$
Septembre	$0,482 \pm 0,122$	$1,011 \pm 0,473$
Octobre	$0,551 \pm 0,172$	$0,916 \pm 0,464$
Novembre	$0,493 \pm 0,213$	$0,987 \pm 0,534$
Décembre	$0,917 \pm 0,258$	$1,128 \pm 0,427$

Mois de juillet : Tous les individus sont indéterminés

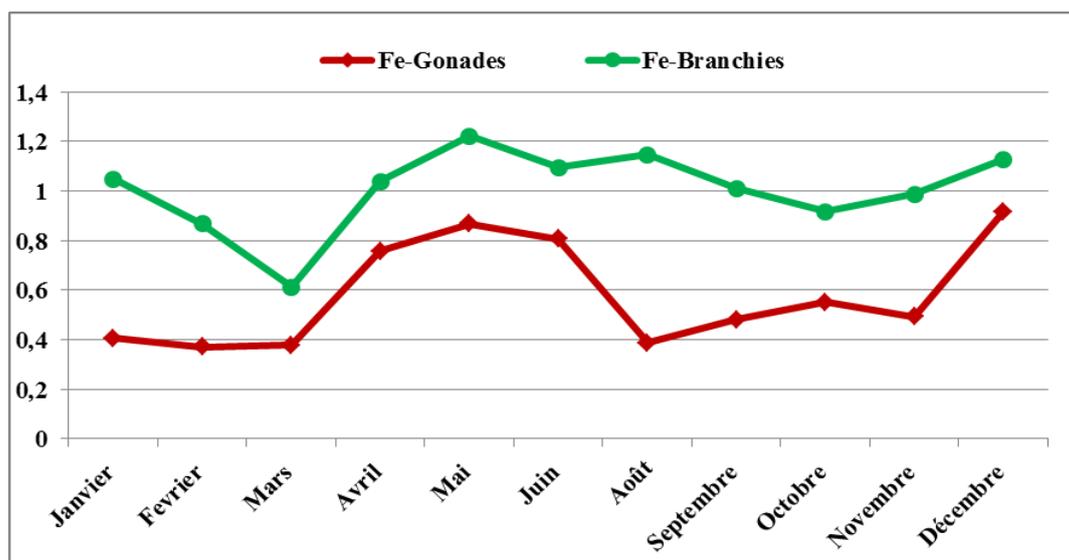


Figure 45 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Fer (ppm/PF) dans les organes de *Sardina pilchardus*.

L'analyse de variance ANOVA à un seul facteur a montré une différence significative pour tous les métaux en fonction des mois au niveau des deux organes (Annexe 2.Tab9).

4. Variations des concentrations moyennes en métaux lourds en fonction du facteur de condition K

Les variations du coefficient de condition K ont été examinées et résumées dans le tableau 29 en fonction de la saison tous sexes confondus. Elles présentent des valeurs qui oscillent entre 0,79 à un maximum de 0,85 signalé en été. Ces dernières ont été confirmées par un Test de significativité (Test de Student) en révélant aucune différence significative entre les deux sexes de la population étudiée durant toutes les saisons ($p > 0,05$) (Annexe 2.Tab10).

Tableau 29 : Variations saisonnières du K chez *Sardina pilchardus* tous sexes confondus.

Saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne
K (sexes confondus)	0,79	0,82	0,85	0,81

Tableau 30: Variations saisonnières des teneurs métalliques dans les gonades en fonction du coefficient de condition K chez *Sardina pilchardus*.

Saison	K - moy	Métaux lourds étudiés				
		Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
Hiver	0,79	2,018±1,014	0,0344±0,014	0,029±0,013	0,042±0,025	0,381±0,191
Printemps	0,82	1,566±0,795	0,0457±0,023	0,012±0,010	0,030±0,017	0,795±0,352
Eté	0,85	0,668±0,415	0,0148±0,018	0,014±0,008	0,017±0,019	0,4661±0,14
Automne	0,81	0,774±0,514	/	0,007±0,007	0,003±0,003	0,644±0,282

Tableau 31 : Variations saisonnières des teneurs métalliques dans les branchies en fonction du coefficient de condition K chez *Sardina pilchardus*

Saison	K - moy	Métaux lourds étudiés				
		Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
Hiver	0,79	0,964±0,964	0,056±0,018	0,0272±0,011	0,0356±0,025	0,803±0,314
Printemps	0,82	0,707±0,707	0,058±0,019	0,016±0,004	0,034±0,028	1,0921±0,338
Eté	0,85	0,53±0,53	0,021±0,033	0,011±0,007	0,007±0,011	1,033±0,470
Automne	0,81	0,585±0,585	/	0,008±0,008	0,004±0,004	1,006±0,481

Les résultats consignés dans les tableaux (30 et 31) et graphiquement sur les figures (46 et 47) montrent clairement que l'augmentation du coefficient de condition K entraîne une baisse des concentrations métalliques obtenues dans les organes vitaux durant les saisons de la période d'étude. Cela permet de constater que l'indice morphométrique K présente une corrélation négative à la baisse des teneurs en métaux. Par contre, les variations saisonnières du Fer au niveau des deux matrices biologiques (gonades et branchies) semblent être en relation étroite avec la variabilité du K (Corrélation positive) (Annexe 2.Tab11).

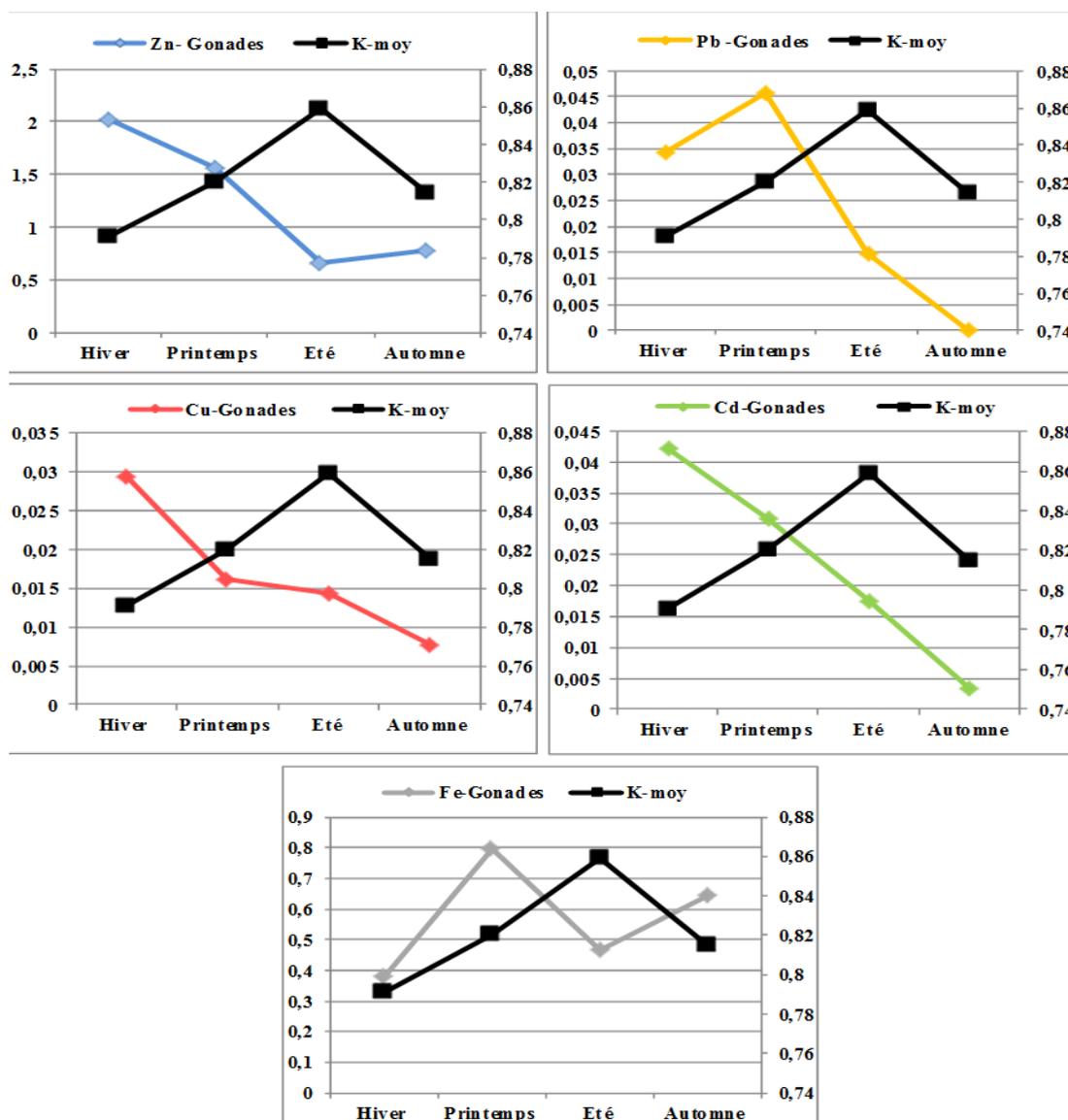


Figure 46 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm /PF) en fonction de l'indice de condition K-moy au niveau des gonades.

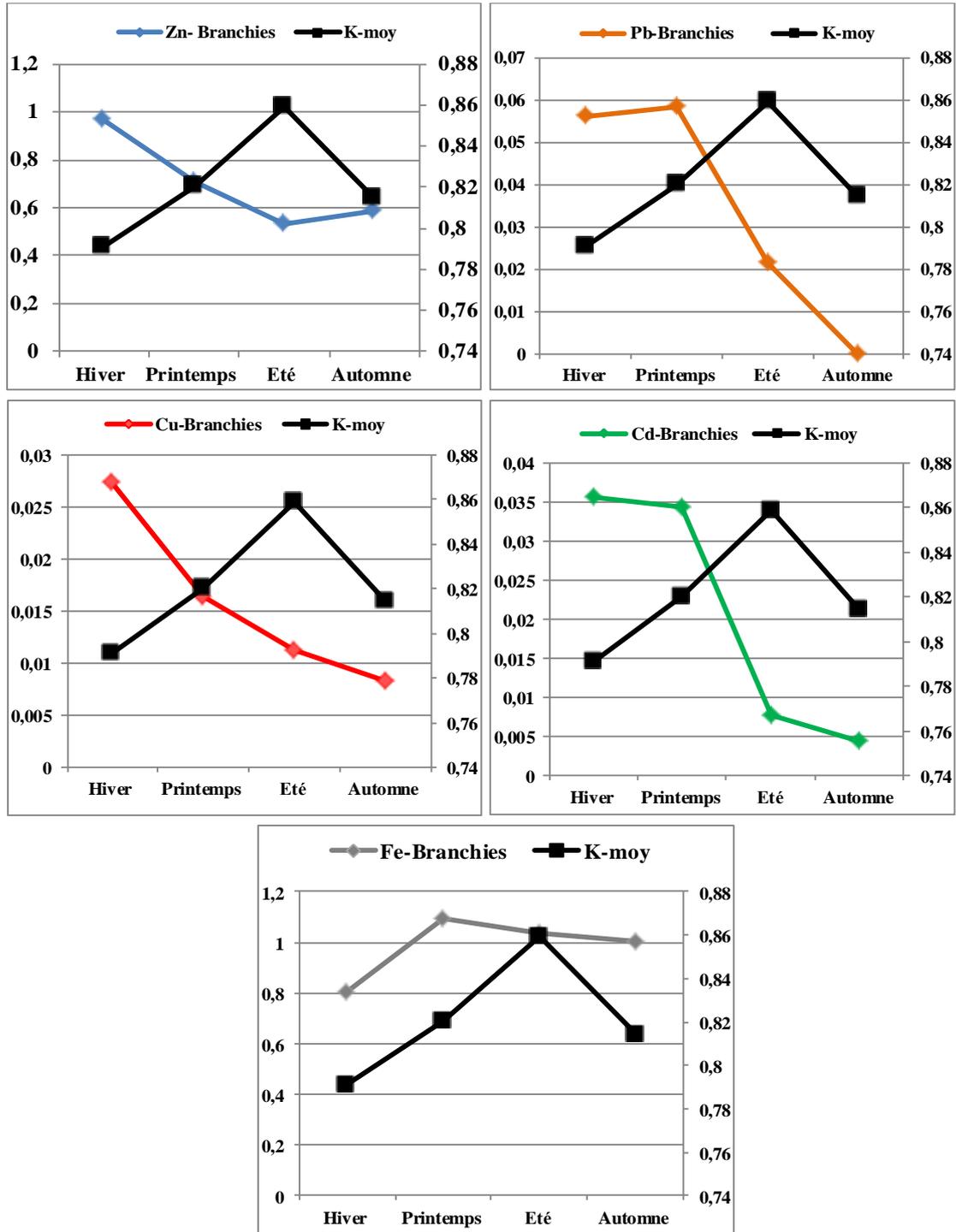


Figure 47 : Variations saisonnières des concentrations moyennes en métaux lourds (ppm /PF) en fonction de l'indice de condition K-moy au niveau des branchies.

5. Variations des concentrations en métaux lourds en fonction de la reproduction.

5.1.Le Zinc

Les résultats de la variation des concentrations en Zinc en fonction des périodes de reproduction sont représentés par le tableau 32 et la figure 48 ci-dessous. Le profil montre que les teneurs les plus élevées sont notées en période de ponte avec ($1,608 \pm 0,975$ ppm/PF dans les gonades et $0,852 \pm 0,375$ ppm/PF dans les branchies) alors qu'elles diminuent en période de post-ponte en affichant les valeurs suivantes ($1,220 \pm 0,490$ ppm/PF dans les gonades et $0,534 \pm 0,221$ dans les branchies). Par contre, les plus faibles valeurs remarquées en période de pré-ponte sont de l'ordre de ($0,553 \pm 0,372$ ppm/PF dans les gonades et $0,456 \pm 0,215$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 32 : Variations des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus* .

Périodes	Gonades	Branchies
Pré-ponte	$0,553 \pm 0,372$	$0,456 \pm 0,215$
Ponte	$1,608 \pm 0,975$	$0,852 \pm 0,375$
Post-ponte	$1,220 \pm 0,490$	$0,534 \pm 0,221$

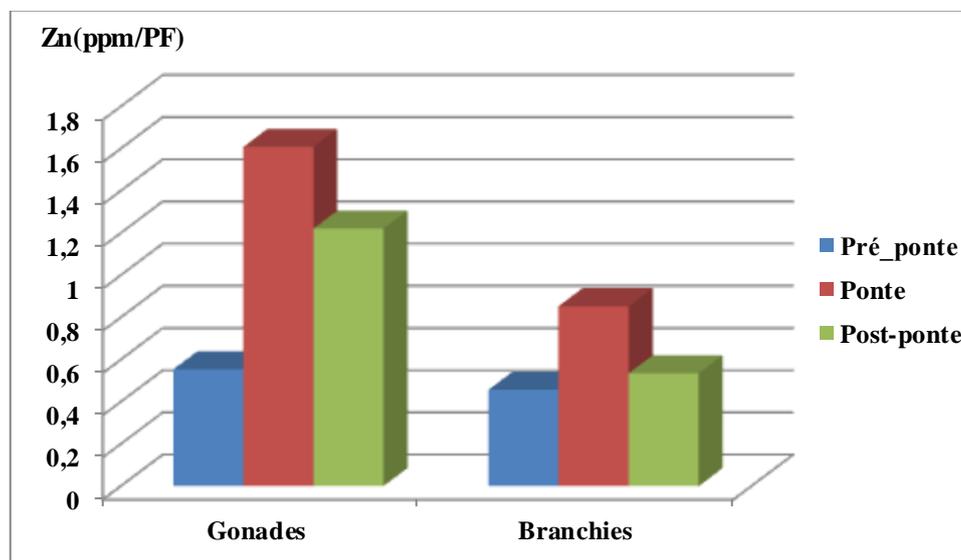


Figure 48 : Variations des concentrations moyennes en Zinc (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus* .

5.2. Le Plomb

Compte tenu des résultats mentionnés dans le tableau 33 et illustrés par la figure 49, il apparaît que le Plomb a tendance à s'accumuler durant la période de post-ponte dans toutes les matrices biologiques de la sardine avec un maximum atteint soit ($0,034 \pm 0,024$ ppm/PF au niveau des gonades et $0,059 \pm 0,015$ ppm/PF au niveau des branchies). Par ailleurs, cet élément affiche des valeurs relativement importantes en période de ponte avec $0,025 \pm 0,024$ ppm/PF dans les gonades et $0,035 \pm 0,031$ ppm/PF dans les branchies). Tandis que la période de pré-ponte présente l'accumulation la plus faible $0,008 \pm 0,015$ ppm/PF dans les gonades et $0,011 \pm 0,026$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 33 : Variations des concentrations moyennes en Plomb (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

Périodes	Gonades	Branchies
Pré-ponte	$0,008 \pm 0,015$	$0,011 \pm 0,026$
Ponte	$0,025 \pm 0,024$	$0,035 \pm 0,031$
Post-ponte	$0,034 \pm 0,024$	$0,059 \pm 0,015$

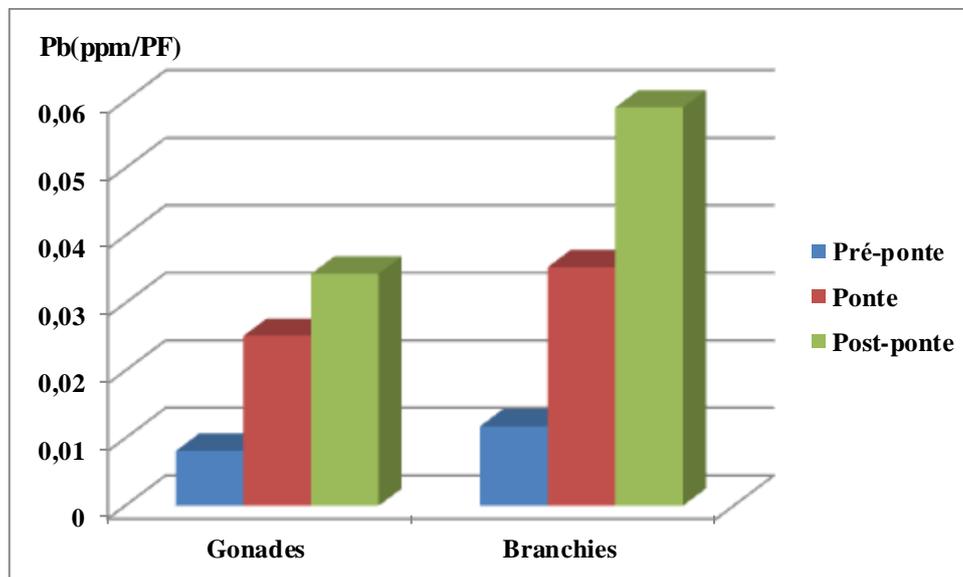


Figure 49 : Variations des concentrations moyennes en Plomb (ppm/P.F) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

5.3. Le Cuivre

D'après le tableau 34 et la figure 50, on constate qu'il existe une variation des concentrations en Cuivre selon la période de reproduction, caractérisée par la dominance de ce polluant au cours de la période de ponte avec ($0,021 \pm 0,023$ ppm/PF au niveau des gonades et $0,018 \pm 0,012$ ppm/PF au niveau des branchies). Ainsi, les autres périodes de reproduction marquent des valeurs presque identiques obtenues au niveau des gonades avec ($0,010 \pm 0,008$ ppm/PF en période de pré-ponte et $0,01 \pm 0,006$ ppm/PF en période de post-ponte). Quant aux branchies, ces périodes présentent une large différence avec une valeur de ($0,008 \pm 0,007$ ppm/PF enregistrée en période de pré-ponte et $0,014 \pm 0,005$ ppm/PF en période de post-ponte).

Tableau 34 : Variations des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

Périodes	Gonades	Branchies
Pré-ponte	$0,010 \pm 0,008$	$0,008 \pm 0,007$
Ponte	$0,021 \pm 0,023$	$0,018 \pm 0,012$
Post-ponte	$0,01 \pm 0,006$	$0,014 \pm 0,005$

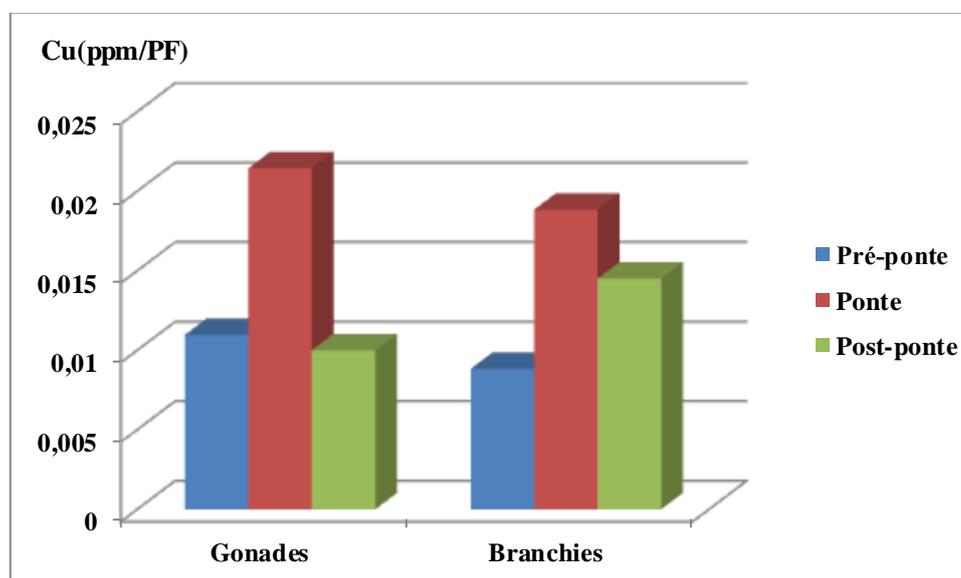


Figure 50 : Variations des concentrations moyennes en Cuivre (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

5.4. Le Cadmium

Selon le tableau 35 et la figure 51, les concentrations cadmiques déterminées durant les périodes de ponte et post-ponte sont nettement supérieures à celle notées au cours de la période de pré-ponte dans tous les organes. Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau des gonades en période de ponte avec $0,027 \pm 0,026$ ppm/PF puis elles diminuent et atteignent $0,024 \pm 0,010$ ppm/PF. Notant que, le maximum atteint au niveau des branchies reste plus ou moins stables au cours des deux périodes (ponte et post-ponte) avec une valeur de $0,025$ ppm/PF. Néanmoins, les plus faibles valeurs sont signalées en période de pré-ponte dans les organes vitaux avec $0,009 \pm 0,016$ ppm/PF dans les gonades et $0,004 \pm 0,009$ ppm/PF dans les branchies).

Tableau 35 : Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

Périodes	Gonades	Branchies
Pré-ponte	$0,009 \pm 0,016$	$0,004 \pm 0,009$
Ponte	$0,027 \pm 0,026$	$0,025 \pm 0,026$
Post-ponte	$0,024 \pm 0,010$	$0,025 \pm 0,014$

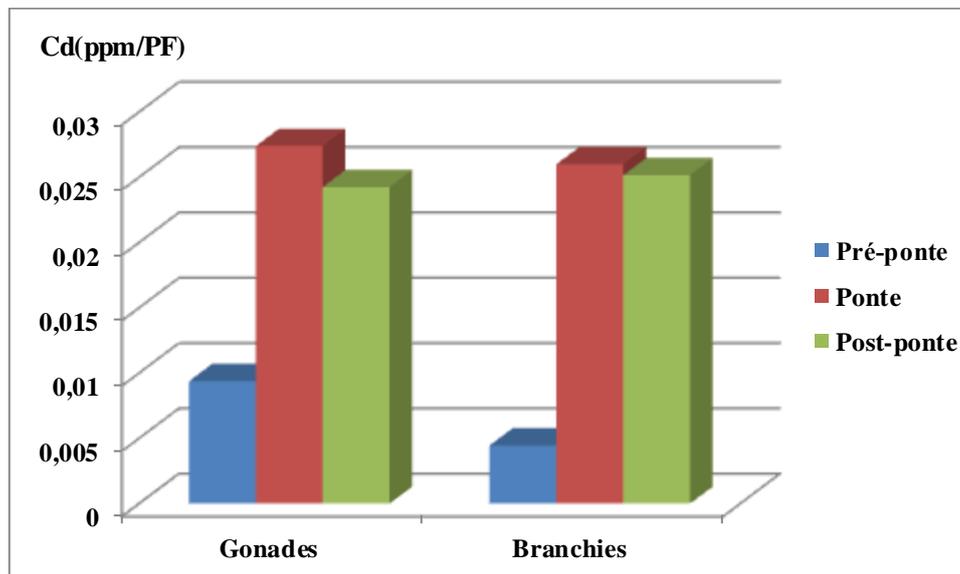


Figure 51 : Variations des concentrations moyennes en Cadmium (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

5.5.Fer

En suivant la variation des teneurs en Fer par rapport aux périodes de reproduction (Tableau 36 ; Figure 52), il ressort que ce xénobiotique atteint son maximum au cours de la période de post-ponte soit ($0,830 \pm 0,348$ ppm/PF dans les gonades et $1,14 \pm 0,297$ ppm/PF dans les branchies). En revanche, on note que les deux périodes de pré-ponte et ponte se distinguent par des valeurs presque similaires au niveau de chaque organe. Elles sont de l'ordre de ($0,504 \pm 0,160$ ppm/PF en période pré-ponte et $0,558 \pm 0,319$ ppm/PF en période de ponte) affichées au niveau des gonades et de ($0,980 \pm 0,467$ ppm/PF en période pré-ponte et $0,934 \pm 0,413$ ppm/PF en période de ponte) marquées au niveau des branchies.

Tableau 36 : Variations des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

Périodes	Gonades	Branchies
Pré-ponte	$0,504 \pm 0,160$	$0,980 \pm 0,467$
Ponte	$0,558 \pm 0,319$	$0,934 \pm 0,413$
Post-ponte	$0,830 \pm 0,348$	$1,14 \pm 0,297$

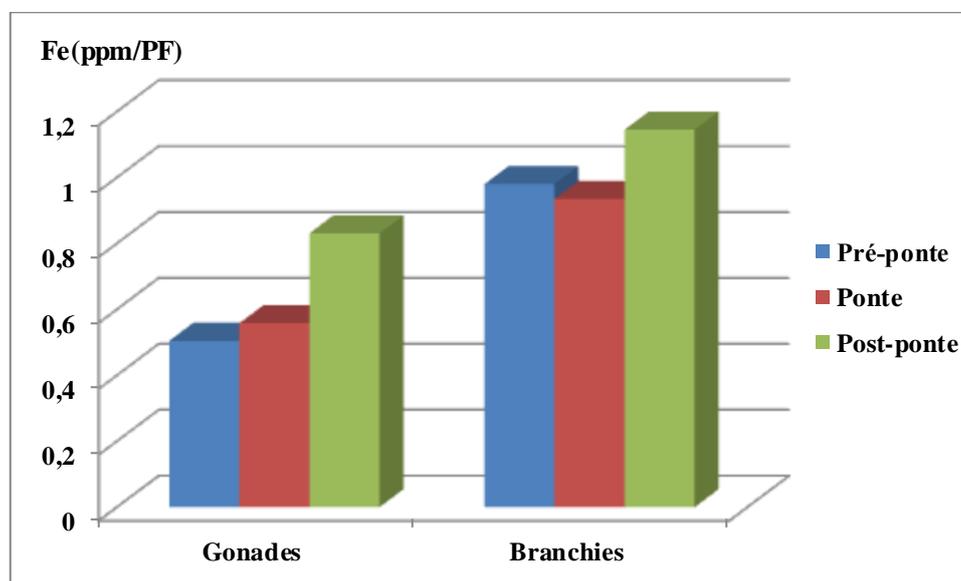


Figure 52 : Variations des concentrations moyennes en Fer (ppm/PF) en fonction des périodes du cycle de reproduction de *Sardina pilchardus*.

On note que l'analyse statistique (ANOVA) indique une différence significative pour tous les métaux étudiés en fonction des différentes périodes du cycle de reproduction excepté pour le Fer au niveau des branchies (Annexe 2.Tab12).

6. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'ACP est une méthode exploratoire utilisée dans l'analyse des données qui permet de :

- Résumer l'information portée par plusieurs variables quantitatives et individus statistiques.
- Visualiser les données multidimensionnelles en les projetant en 3 ou 2 dimensions seulement.

Dans ce travail, les variables quantitatives sont les concentrations métalliques en suite nous avons ainsi le Pt et la Lt qui ont été mesurés durant toute la période d'étude. Tandis que les individus sont représentés par les spécimens de l'espèce cible et regroupés en fonction de saison.

D'après la figure 53, Les deux premiers axes présentent respectivement 40 % et 13% de l'information, soit 53% de la variabilité totale.

Les résultats montrent que la bioaccumulation métallique est bien favorisée durant les périodes hivernale et printanière qui sont corrélées positivement avec les différents métaux (Zinc, cuivre, cadmium et plomb). Cette bioaccumulation est influencée positivement par les deux facteurs taille et poids de l'individu.

A l'opposé de la saison automnale qui se caractérise uniquement par le fer (corrélation positive) .

En fin, les individus de la période estivale sont pratiquement corrélés négativement avec les différents variables.

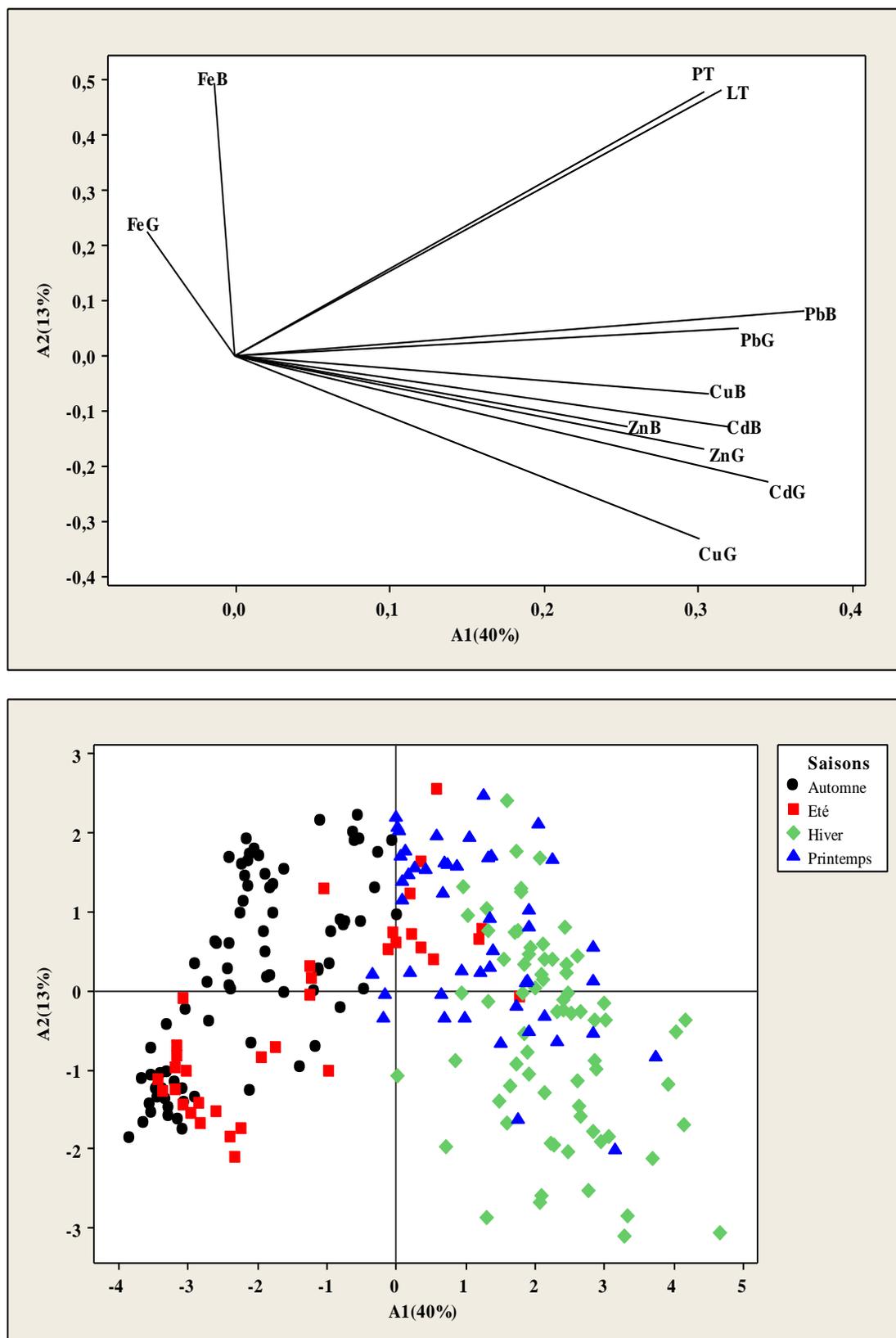


Figure 53 : Diagramme de l'ACP réalisé pour les métaux étudiés.

Discussion

I. Etude de la reproduction

Une bonne connaissance de la biologie des espèces est une condition essentielle à leur sélection comme bioaccumulateur. L'étude des cinétiques d'accumulation permet d'obtenir des informations sur la durée d'intégration de la contamination. Des connaissances sur le mode de vie la stratégie de nutrition, la reproduction, la croissance, la durée de vie sont aussi nécessaires (Bulter *et al.*, 1971 ; Phillips, 1980 ; Phillips et Rainbow, 1993).

Les résultats acquis dans ce travail indiquent que le sex-ratio varie selon ce que nous avons pris en considération (mois, saison et classes de taille). Globalement, il est à l'avantage des femelles dans baie de Ghazaouet durant l'année 2017. Son évolution au cours des saisons montre que les mâles sont toujours moins abondants que les femelles, hormis l'hiver où les mâles prédominent.

Ce constat a été signalé, dans la baie d'Oran (Bouchereau, 1981), en Atlantique marocain (Belvèze, 1984 ; Amenzoui *et al.*, 2006), dans les côtes Nord espagnoles (Garcia *et al.*, 1991) en mer d'Alboran (Abad et Giraldez, 1993) et dans les côtes Est-algériennes (Bouhali, 2016) alors que les mâles prédominent dans les côtes sénégalaises (Fréon et Stéquert, 1979) et en mer d'Egée (Cynahgyr, 1996). Toutefois, un sex-ratio équilibré a été mentionné chez certaines populations de sardines comme celles des côtes marocaines (Belvèze et Rami, 1978 ; Barcova, 2001), des côtes tunisiennes (Kartas, 1981 ; Khemiri, 2006), des côtes galiciennes (Perez *et al.*, 1985) et des îles Canaries (Mendez-Villalmil Mata *et al.*, 1997).

L'évolution de sex-ratio en fonction de la taille indique un taux de féminité élevé aux petites tailles. Cependant pour les tailles supérieures, le sex-ratio montre une égalité des proportions des deux sexes pour les classes de taille 17-19cm et 19-21 cm. Ceci pourrait s'expliquer par un développement plus précoce des ovaires qui de ce fait seraient plus facilement reconnaissables que les testicules.

Cette observation s'oppose avec celles qui relèvent la dominance des femelles aux grandes tailles. Ces résultats sont mentionnés par Lee (1961), par Bouchereau (1981), par Kartas (1981), par Belvèze (1984), par Perez *et al.* (1985), par Abad et Giraldez (1993), par Amenzoui *et al.* (2006) et par Khemiri (2006).

La forte féminité des classes de grandes tailles peut être le résultat de plusieurs facteurs dont les plus plausibles seraient une plus grande longévité et une croissance

plus rapide des femelles, une vulnérabilité plus importante vis-à-vis des engins de pêche ou encore des mouvements migratoires différents de ceux des mâles (Amenzoui, 2010).

La littérature fournit de nombreuses données sur la relation entre la densité de la population et le sex-ratio. En effet, Nikolsky (1963) *in* Kartas et Quignard (1984) a écrit que la proportion des sexes est un phénomène très important dans la reproduction de la population et qu'il existe des mécanismes d'ajustement de cette structure à chaque changement et principalement aux variations de la disponibilité alimentaire. Celle-ci dépend elle-même de la densité de la population de sorte que le sex-ratio reflète naturellement la densité de la population. La qualité et la quantité de la nourriture sont parmi les causes essentielles des fluctuations de la proportion des sexes. Chez beaucoup d'espèces, une nourriture abondante (une population à faible densité) favorise la prédominance des femelles. En revanche, une nourriture pauvre (une population à forte densité) accroît le taux de masculinité. Ainsi, d'Ancona (1969) *in* Kartas et Quignard (1984) a pu démontrer expérimentalement que l'accroissement des proportions des mâles de l'anguille est lié à une forte densité des larves. Le phénomène inverse a cependant été relevé chez d'autres espèces dont la réponse à une pauvre nourriture se traduit par une augmentation du taux de féminité.

C'est par exemple le cas de *Platichthys flesus* des côtes de la mer Noire rapporté par Zamborshch (1956) *in* Kartas et Quignard (1984) qui considère que la prédominance des femelles constitue une adaptation aux mauvaises conditions alimentaires.

L'analyse de fréquence de tailles montre que la longueur maximale (L_t) moyenne chez *S. pilchardus* est de 20,3cm. La taille maximale échantillonnée est plus proche à celles rapportées par Voulgaridou et Stergiou (2003) où $L_t = 21$ cm, dans le Nord-Ouest de la mer Egée (Grèce). $L_t = 24,7$ cm chez les sardines du Nord Atlantique (Espagne) (Silva, 2003), elle est de 23,7 cm dans les eaux des côtes Portugaises, une taille inférieure a été notée par Sinovic et *al.* (2004) où $L_t = 19$ cm. En revanche, la L_t est supérieure à celle signalée par Bouhali en 2016, sur les côtes Est Algériennes. Ces différences de tailles peuvent être liées aux conditions hydrologiques, à la composition, l'abondance du plancton et au caractère migrateur des espèces considérées comme le signale Fréon (1988). Des facteurs comme les fluctuations saisonnières de disponibilité et la durée de la reproduction, le mode

d'agrégation des sardines et la pression exercée par l'activité de pêche, peuvent intervenir dans les changements de la structure démographique.

La relation longueur-poids (RLP) est un outil important en biologie, physiologie, écologie et évaluation des stocks de poissons (Bolognini et *al.*, 2013). En effet, cette relation est souvent utilisée par des chercheurs et gestionnaires de la nature pour prédire le poids d'un poisson, connaissant sa longueur, lors de l'appréciation des rendements des pêches (Froese et *al.*, 2014).

La relation taille-poids est de type allométrie minorante chez la population totale avec $b = 2.71$, pour laquelle le poids croît moins vite que la taille. La comparaison des paramètres de la relation taille poids lors de notre étude avec celles trouvées dans la littérature suggère des différences interrégionales.

En effet selon Bouhali en 2016, la sardine de l'Est Algérien présente une allométrie majorante, le même constat a été retrouvé sur les côtes du centre Algérien par Brahmi et *al.*(1998) et à l'Ouest par Bouchereau (1981).

Amenzoui a signalé en 2010 une isométrie de croissance chez les mâles de la sardine Marocaine et majorante chez les femelles, le même résultat a été observé par Kartas (1981) en Tunisie et Mendes et *al.*(2004) au Portugal .

La croissance relative dans la baie d'Izmir selon Mater and Bayhan (1999) est majorante comme dans l'Est Méditerranéen et dans la Mer Adriatique selon Voulgaridou et Stergiou (2003) ou encore Sinovčić et *al.*(2004).

Les valeurs de b peuvent en effet être influencées par le sexe, la phase de croissance, les contenus stomacaux, le niveau du développement des gonade (Hossain et *al.*, 2006) et les conditions de l'environnement (Baby et *al.*, 2011)

Le RGS est un véritable coefficient de maturation des gonades. Son augmentation coïncide avec une gamétogenèse alors que sa diminution indique une ponte active (lahaye, 1972). En effet, il est influencé par trois facteurs : la proportion des femelles matures, la fécondité et le poids gonadique (Ganias et *al.*, 2004). Le RGS entre les pics de ponte diminue à mesure que la saison de ponte progresse même si le RGS des femelles matures ainsi que la fécondité ne semblent pas diminuer. Le RGS serait donc influencé par la proportion des femelles matures qui diminue avec le

temps, alors que moins de femelles sont en mesure de pondre (Taylor et *al.*, 1979). Le RGS des mâles varie approximativement selon le même cycle que celui des femelles. Tout comme chez les femelles, nous avons noté une diminution du RGS des mâles au fur et à mesure que la période de ponte progresse. Cependant, le RGS des mâles et le pourcentage de mâles matures ne sont pas des indicateurs de la maturité sexuelle aussi sensibles que ceux des femelles. Chez les mâles, la phase finale de maturation des spermatides en spermatozoïdes n'implique pas une augmentation très accrue du volume de la gonade, contrairement aux femelles, où l'hydratation des ovocytes lors de la maturation finale entraîne une augmentation du poids des gonades (Selman et Wallace, 1986).

Le suivi des variations du RGS nous a permis donc de connaître la période de ponte de la *Sardina pilchardus* et de sa durée. On suppose que l'avènement de la ponte a lieu de mois de novembre au mois d'avril. Ces résultats sont comparables avec à ceux rapportés par Pinto et Andreu (1957) et modifiés par Mouhoub (1986). Le long des côtes Algériennes, *S. Plichardus* se reproduit généralement dans la même période: Côtes Algéroises (Djabali & Merbouh, 1989) et Oranaises (Tomasini et *al.*, 1989) , de décembre à mars, Baie d'Annaba entre novembre et mars (Bedairia et Dejbar, 2009) et Le littoral Est Algérien (entre octobre et mars)(Bouhali, 2016). Sur les côtes Atlantiques, la période de reproduction est plus longue qu'en Méditerranée.

L'existence d'une période de reproduction maximale est liée au synchronisme de facteurs environnementaux cycliques qui jouent le rôle de stimuli agissant sur la reproduction (Mc Cave, 1975 ; Allain, 1999). Un décalage des périodes de reproduction maximales ne serait pas surprenant. En effet, la sardine, comme la plupart d'autres petits clupéidés présentant une grande vulnérabilité aux variations des conditions du milieu, est une espèce opportuniste qui réagit et s'adapte aux influences imposées par son environnement (Lowe-Mc Connell, 1987 ; Wootton, 1979, 1990). Ces réponses ont une signification adaptative au niveau de la stratégie reproductive adoptée (Wootton, 1979, 1990).

Le facteur de condition est un trait compensatoire qui reflète l'accumulation saisonnière et l'épuisement d'énergie donc il peut fournir un indice fiable de la production annuelle totale (Winters and Wheeler, 1994). De même Tanasichuk (1997)

et Cardinale et *al.*(2002) signalent que le facteur de condition est le seul indice de croissance fiable pour les poissons pélagiques. Les conditions environnementales, en particulier le facteur température (Planes et *al.*, 1997) ainsi que la qualité et la quantité de nourriture influencent directement la croissance des poissons (Gibson, 1994).

Les fluctuations mensuelles de ce facteur au cours de cette étude, indiquent que les mâles et les femelles ont une stratégie similaire dans l'utilisation des apports énergétiques au cours de la gamétogénèse. Ainsi, le pic de reproduction(RGS) ne coïncide pas avec le pic de la condition K enregistré lors du cycle étudié.

En effet Les valeurs élevées du facteur de condition K observées en été sont dues à la disponibilité de la nourriture résultante d'une production planctonique importante en été (Thiriot, 1976 ; Somoue, 2004) liée à la saison d'upwelling (Makaoui, 2008). Par conséquent l'énergie disponible durant la période de haute productivité n'est pas immédiatement utilisée mais stockée sous forme de graisse et transférée, plusieurs mois plus tard, au développement, maturation et à la production des gamètes. D'où l'inversion de l'évolution saisonnière entre la reproduction et la condition K.

II. Etude de la Contamination métallique

Les produits chimiques sont parmi les polluants participants à l'érosion de la biodiversité marine. La flore et la faune aquatique peuvent dans ce cas s'appauvrir de façon considérable, non seulement quantitativement mais aussi qualitativement (Ramade, 1993 ; El Morhit,2009).

Les métaux lourds sont des contaminants communs aux écosystèmes aquatiques, ils sont considérés dangereux à la vie aquatique en raison de leur persistance, leur toxicité élevée, leur tendance à se bioaccumuler, et leurs diverses sources anthropiques (Gary et *al.*,1987 ; Miramand et *al.*,1998).

Ces éléments caractérisés par une demi-vie biologique très longue, semblent préoccuper la majorité des enquêtes (18%). Ils font l'objet de nombreuses études pour comprendre leur dynamique et leur toxicité et sont situés en tête des risques secondaires les plus préoccupants pour la santé et pour le consommateur (Boumehres, 2010).

Face à la dégradation de la qualité des milieux marins, de nombreuses études ont été menées sur la détermination des niveaux métalliques chez les moules et les poissons comestibles comme indicateurs de la qualité des eaux et des écosystèmes aquatiques.

Les processus impliqués dans la bioaccumulation sont en effet très complexes et pouvant être influencés par les caractéristiques physico-chimiques du contaminant (taille de la molécule spéciation...) (Singh et *al.*,2007);et celles du milieu (Température, salinité, pH, oxygène dissous, matière organique, nitrates, DBO,DCO) (El Mohrit, 2009).mais aussi par les facteurs biologiques, physiologiques et écologiques spécifiques des espèces exposées tel que, l'habitat, le sexe, l'âge la reproduction (degré de maturité), l'état de nutrition ou encore l'état de santé des animaux (Connolly, 2002).

A terme de ce travail, les concentrations en métaux (Zn, Pb, Cu, Cd et Fe) enregistrées dans les organes cibles de *Sardina pilchardus* reflètent la présence de ces polluants dans la baie de Ghazaoet pouvant exercer des effets mesurables.

Globalement, l'étude de la variation des teneurs des métaux lourds accumulés par cette espèce montre que leur classement se présente respectivement dans l'ordre suivant ; Zn> Fe> Pb >Cd >Cu

L'implantation du complexe d'électrolyse de zinc de Ghazaouet, est à l'origine du rejet de zinc, cadmium, plomb (Saidini, 1994). Les fortes teneurs concernent le Zinc suivi par le Fer. A noter que cette bioaccumulation est attribuée aux facteurs biologiques ou physiologiques pris en compte (sexe, organe, saison..). Cela coïncide avec les affirmations de Langston et Spence (1995).

1.En fonction des organes et du sexe

Tous les polluants métalliques recherchés (Zn, Pb, Cu, Cd, Fe) sont présents dans les échantillons étudiés de *Sardina pilchardus* et à des concentrations importantes avec une hétérogénéité marquante.

En effet le Zinc, le Fer, et le Cuivre étant des oligo-éléments nécessaires à faibles doses pour cette espèce aquatique, ils entrent dans les processus physiologiques de tous les organismes vivants comme la croissance, la respiration et

la reproduction. Ils se retrouvent plus abondamment dans leurs organes, par rapport aux éléments toxiques tels que le Plomb, Cadmium qui n'ont aucun rôle physiologique. La concentration de ces éléments dits non essentiels augmente dans les tissus en fonction des teneurs du milieu.

Les concentrations moyennes en fonction du sexe indiquent que le Zinc et le Cadmium sont bioaccumulés par les des individus mâles que les femelles dans tous les organes. Néanmoins le Fer et le Plomb présentent des teneurs identiques chez les deux sexes au niveau de toutes les matrices biologiques. Pour le Cuivre les concentrations mesurées au niveau gonadique montrent que les mâles sont plus touchés que les femelles. Par contre au niveau des branchies ces teneurs ne semblent pas être influencées par le facteur sexe.

L'accumulation privilégiée de ces métaux en particulier le Zinc le Cadmium et le Cuivre par les mâles par rapport aux femelles pourrait être due à leur migration vers les côtes polluées qui explique la forte contamination par les métaux via les différentes sources.

Nos résultats ne sont pas en accord avec ceux de Sidoumou et *al.*(1991); Benamar (2011) et Bouhadiba (2011), qui ont trouvé que les gonades femelles concentrent plus le zinc et le cuivre que les gonades mâles. Ceci est vraisemblablement dû à l'accumulation des réserves nutritives au cours de la vitélogénèse (Mortet,1989).

Par ailleurs, les travaux de Bremner (1979) annoncent l'existence d'une relation entre les concentrations en cadmium et le sexe chez l'Homme et chez de nombreux animaux d'expérimentation. Selon Webb (1997), chez les femelles, la demi-vie du cadmium est plus élevée que celles des mâles, ce qui se traduit par de fortes teneurs chez celles-ci.

Le sexe est l'un des facteurs biologiques prédominant en raison d'une part de la différence de croissance entre les mâles et les femelles, et d'autre part, des pertes de contaminants engendrées par la reproduction. La ponte entraîne en effet une décontamination importante chez les femelles, puisqu'à partir de leur première reproduction, une nette diminution des concentrations en métaux est observée (Bodiguel, 2008).

Par rapport aux organes, les résultats rapportés dans ce travail montrent une accumulation polymétallique et généralisée plus ou moins importante selon les tissus.

En effet l'analyse comparative des concentrations moyennes des éléments métalliques dans les deux différents tissus (branchies et gonades) montre que le Zn, Cd et le Cu ayant une tendance à s'accumuler au niveau des gonades plus que les branchies, contrairement au Fer et au Pb qui sont plus bioconcentrés par branchies.

Ce résultat concorde avec les travaux de Benkirane (2002) *in* (El Bouhali et *al.*, 2008); Banamar et *al.*(2010); Al kaa (2012); El mohrit et *al.*(2013); Hamida et *al.*(2018); Ouabdesselam et *al.*(2017 et 2020).

En effet, Les ETMs sont d'abord accumulés dans les branchies, qui constituent des organes cibles provisoires, avant d'être transférés après aux organes tels que le foie, les reins et les gonades. Après avoir franchi les structures biologiques, les contaminants, sous forme libre ou complexée, accèdent aux compartiments internes de l'organisme. Les processus d'accumulation dans les tissus sont extrêmement complexes. De nombreux facteurs vont intervenir tels que la stabilité des liaisons du produit chimique considéré avec les constituants sanguins, la vascularisation des organes, la structure et les propriétés des nombreuses barrières cellulaires (parois capillaires, membranes plasmiques, etc), la densité et l'accessibilité des sites potentiels de fixation ou le turn-over des structures tissulaires (Casas,2005).

Dans notre étude, les différences des concentrations entre les tissus de la *Sardina pilchardus* sont essentiellement liées à la différence des rôles physiologiques des organes ainsi au comportement éco-toxicologique lié à l'excrétion envers les processus de bioaccumulation (Zhang & Wang, 2007). Elles pouvant aussi être attribuées à l'habitat, la mobilité du poisson, l'alimentation ou à d'autres caractéristiques du comportement.

2.En fonction de la taille

Afin de pouvoir étudier la variation de la contamination dans la population de la sardine de la baie de Ghazaouet, cinq classes de taille centimétriques ont été fixées à savoir : 11-13cm; 13-15cm; 15-17cm; 17-19cm; 19-21cm. Des comparaisons ont été faites entre les concentrations moyennes des différentes doses au niveau des cinq classes de tailles retenues dans ce travail. Globalement, on constate que les teneurs métalliques augmentent vis-à-vis de la taille des poissons dans tous les organes. Néanmoins, il ressort des résultats trouvés, l'absence d'une différence dans la

bioaccumulation du Fer par les gonades entre les lots de classes de taille. Toutefois, les individus adultes sont marqués par les concentrations en métaux les plus élevées par rapport à celles enregistrées chez les individus de petite taille.

En effet les organismes marins n'accumulent pas les contaminants de la même façon au long de leur vie. Toutefois, la taille et l'âge des poissons pourraient avoir une influence sur les concentrations des contaminants dans les différents tissus de poissons indépendamment exposés aux polluants (El Morhit et *al.*,2013).

Nos résultats rejoignent ceux de Belhoucine (2012) et Borsali (2015) dans la baie d'Oran. Cette situation est probablement à remettre en relation avec l'activité physiologique bien plus intense chez les jeunes populations qui croissent plus vite au cours de leur première année de vie, donc elles concentrent plus de métaux dans leurs tissus (Mahé et *al.*,2005).

La première année de vie de la sardine correspond à une phase de forte croissance particulièrement importante. En effet, il est bien connu que le taux de croissance somatique est plus élevé avant le début de la première maturité sexuelle (Roff, 1983). En retardant la maturité sexuelle et en investissant de l'énergie dans la croissance, les jeunes poissons auraient l'avantage de disposer d'une plus grande taille. Ainsi, ils peuvent baisser la possibilité d'être proie et avoir une fécondité élevée. Par conséquent, les jeunes individus se reproduisent plus tard que les plus âgés qui investissent de l'énergie dans la reproduction. Alors que les jeunes continuent à investir de l'énergie dans la croissance.

3.En fonction de la saison

Les fluctuations des concentrations métalliques chez les organismes filtreurs et leurs causes ont attiré l'attention d'un grand nombre d'auteurs (Amiard et *al.*,1986). La variation saisonnière a été étudiée par plusieurs auteurs, et observée chez diverses espèces de moules, comme : *Mytilus edulis.*, *Mytilus galloprovincialis* et *M. californianus* (Amiard et *al.*,1986).

Dans cette étude, les niveaux de contamination au niveau des organes de l'espèce considérée semblent dépendre de la période d'échantillonnage (Hiver, printemps, été, et automne). Les teneurs les plus élevées s'observent principalement pendant la période hivernale en particulier pour le Zinc, le Cuivre et le Cadmium au niveau de toutes les matrices biologiques. En revanche, l'accumulation du Plomb et

du Fer est caractérisée par une augmentation des teneurs durant la saison printanière dans les deux organes vitaux.

La fluctuation temporelle des teneurs en polluants métalliques décelées dans nos échantillons peut être liée à plusieurs facteurs qui causent les variations saisonnières de l'accumulation des métaux dans les organismes indicateurs.

Selon Phillips (1980) ces derniers ont été résumés en trois points : la variation de la décharge de la source de pollution, les changements physiologiques liés au cycle de reproduction et la variation des facteurs du milieu ambiant comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, les courants et le renouvellement des eaux qui jouent un rôle sur la rétention des toxiques par les organismes.

Si on considère d'autres données de la littérature, nous pouvons dire que nos résultats sont comparables à ceux trouvés par plusieurs auteurs (Amiard *et al.*, 1986 ; Regoli et Orlando, 1993) qui rapportent que la concentration maximale en métal chez les mollusques sentinelles se fait en hiver et au printemps.

Tandis que certaines études affirment que la variation des teneurs dépend de la saison et montrent que les plus fortes teneurs sont enregistrées au printemps et en automne (Essadaoui et Sif, 2001). D'autres travaux révèlent une variation importante pendant l'été au niveau des sédiments et pendant l'hiver chez la moule (Tahiri *et al.*, 2005).

Le facteur saisonnier est donc très important et de nombreuses études ont d'ailleurs montré que les concentrations métalliques mesurées chez les espèces marines varient saisonnièrement (Majori *et al.*, 1978 ; Cossa *et al.*, 1990 ; Wright 1995 ; Bei *et al.*, 1998 ; Kaimoussi *et al.*, 2000 ; Orban *et al.*, 2002).

4. Variations des concentrations métalliques en fonction du K

A l'issue de cette étude, la variabilité saisonnière du coefficient de condition analysée chez *la Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet présente une tendance à l'évolution avec un maximum atteint en été. Ceci pourrait être liée à une allocation d'énergie particulièrement importante vers l'effort de reproduction pour cette population, qui maintiendrait, en période de temporisation sexuelle.

C'est en été, saison pendant laquelle les conditions trophiques sont favorables (Samaoue, 2004) que les sardines se nourrissent abondamment tout en accumulant des réserves.

En revanche, cet indice morphométrique marque sa faible valeur en hiver correspond à un déficit pondéral pourrait être liée d'une part à la contamination métallique importante décelée durant cette saison au niveau des organes cibles au cours de ce travail. En effet les organismes utilisent plus d'énergie pour répondre au stress chimique, ce qui réduit la fraction de l'énergie disponible pour la croissance, comme l'ont indirectement démontré Toro et *al.*(2003) dans une population de mollusques *Choromytilus chorus* exposée à des polluants organiques et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs). D'autres parts à disponibilité de la nourriture, où le zooplancton est moins abondant en hiver (Samaoue, 2004), le poisson se nourrit peu et l'émission des œufs contribue à accentuer la diminution de sa masse. Cet amaigrissement cesse avec la reprise de l'alimentation et la condition s'améliore au printemps avec un décalage plus ou moins important dans le temps selon les années.

Tandis qu'en automne, la diminution de K peut être expliquée par le fait que les réserves sont investies dans l'élaboration des produits sexuels et que le développement des gonades comprime de plus en plus le tractus digestif du poisson (Lahaye, 1980).

Une baisse du facteur de condition K, liée à l'exposition métallique, a été observée dans plusieurs études (Levesque et *al.*,2002 ; 2002 ; Rajotte & Couture, 2002 ; Audet & Couture, 2003 ; Marchand et *al.*,2003). Cependant aucune de ces études n'a tenté de relier la baisse du facteur K à l'exposition à un métal particulier.

Des signes de stress chimiques associés à une diminution du taux de croissance des individus sont notamment été observés dans des populations de poissons estuariers d'Amérique du Nord (Weis et *al.*, 1999). Des expérimentations effectuées en milieu contrôlés ont également montré une réduction de la fécondité des poissons après expositions à des xénobiotiques (Weber1993 ; Johnson et *al.*,1994).

D'après ces auteurs Bouchard et *al.*(1998), Leamon et *al.*(2000), Tedesco (2000), Knaepkens et *al.*(2002), et Lanno (2004), Il faut rester prudent face à

l'existence de variables autres que la contamination (telles que la température, la salinité, la turbidité, l'abondance de nourriture, vitesse du courant, profondeur.. etc) qui peuvent moduler les réponses des organismes face au stress chimique et rendre ainsi difficile l'analyse fine des relations entre certains traits biologiques et le niveau de pollution chimique.

Cependant ce facteur n'est pas toujours corrélé aux concentrations du même métal. Son utilité semble variable et il devrait être jumelé à d'autres mesures (biomarqueurs ou autres) avant de conclure sur la présence d'effets toxiques chez les poissons dont l'indice de condition est relativement bas.

5. En fonction de la reproduction

Les poissons ont la particularité d'avoir une reproduction saisonnière. Les phases de développement et de maturation sont synchronisées avec les changements saisonniers du climat (température, précipitations, longueur du jour et de l'approvisionnement en nourriture, (Sumpter, 1990). Cette coordination assure à la progéniture d'être produite quand les conditions environnementales sont les plus adaptées à sa survie. Ce rythme annuel est contrôlé par des facteurs exogènes difficiles à quantifier. Toutefois, les principaux paramètres sont la température de l'eau, la photopériode, la présence de support de ponte, la hauteur ou la profondeur d'eau et les interactions sociales (Craig, 1987)

La saisonnalité de la reproduction chez les poissons téléostéens ainsi que l'influence des facteurs environnementaux qui la déterminent et le rôle des paramètres hormonaux qui la sous-tendent ont fait l'objet de nombreuses recherches (Munro et *al.*,1990 ; Goetz et *al.*,1991). Parallèlement à ces études, les stratégies et tactiques de reproduction ont aussi été abondamment discutées (Potts et Wootton, 1984).

En termes de fréquence de pontes, les poissons présentent toutes les stratégies possibles. Certaines espèces sont toutefois capables de modifier leur stratégie de ponte en fonction du milieu dans lequel elles vivent (Mann et *al.*,1983).

Néanmoins, comme le signalent Bénech et Quensière (1985), cette souplesse adaptative des modalités de reproduction est limitée par le cadre génétique de l'espèce qui définit sa stratégie.

D'autres mécanismes influencent la saisonnalité et la durée de la période de ponte chez la sardine comme par exemple la température, la disponibilité de la nourriture et la photopériode (Cushing, 1975 ; Guisande et *al.*, 2001 ; Zwolinski et *al.*, 2001 ; Carrera et Porteiro, 2003). Cependant, la preuve n'a pas été faite à savoir s'il n'y avait qu'un seul facteur déclencheur ou bien si c'était la conjonction de plusieurs facteurs environnementaux qui induisent la ponte chez la sardine.

En effet la *Sardina pilchardus* a un mode de vie caractérisé par une durée de vie courte, une maturité sexuelle précoce, un taux de croissance, une mortalité et une fécondité élevée. Les espèces présentant ce type de stratégie démographique ont un équilibre fragile : une faible variation des conditions environnementales peut entraîner une forte variabilité du recrutement et une réduction du stock.

D'après nos résultats, la variation saisonnière semble régir la répartition des métaux dosés au niveau des gonades et des branchies. La hausse plus ou moins accrue des concentrations métalliques (Zn, Cd, Cu) notée en hiver coïncide parfaitement avec la période de la reproduction. Néanmoins une tendance à la hausse des teneurs en Fe et Pb a été remarquée durant la saison printanière qui correspond à la période du repos sexuel. Cependant ces fluctuations saisonnières sont en relation avec le cycle reproductif de l'espèce cible.

Chez les poissons la ponte s'accompagne d'une détoxification massive de l'organisme. Les processus liés à la reproduction perturbent ce schéma par une accumulation temporaire de réserves importantes qui sont ensuite converties en gamètes puis expulsées lors de la ponte, occasionnent une perte brutale du poids. Ainsi à certaines périodes les cycles reproductifs dominent les saisonnalités. Selon Lalami (1979) et Merbouh (1998) l'activité hépatique est accrue lors de l'engraissement de l'animal avant et après la ponte chez le rouget de vase *Mullus barbatus* et la sardine *Sardinas pilchardus* ; ce qui expliquerait les concentrations élevées des ETMs lors de cette période.

Selon Zimmermann et *al.*(2004) et El Mohrit et *al.*(2009), diverses causes peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène, tels que la biodisponibilité des métaux en parallèle avec le rôle que peuvent jouer à ce niveau les paramètres physicochimiques du milieu (Température, salinité, pH, oxygène dissous, matière organique, nitrates, DBO, DCO).

Aussi parmi les principales causes de ces fluctuations, de nombreuses études ont montrées que leur disponibilité est associée aux processus physiologiques propres à l'espèce, la disponibilité de la nourriture, la reproduction ou les variations du métabolisme au cours du cycle de la croissance de l'espèce interviennent sur l'accumulation de contaminants persistants par les organismes.

On conclue donc que l'accumulation des métaux par les organismes marins est influencée par les périodes de la reproduction propre à la l'espèce étudiée.

III. Etude comparative

1. Comparaison avec les Doses Maximales Admissibles

Aujourd'hui, les métaux lourds représentent un groupe d'éléments qui a simultanément un poids économique considérable, mais un potentiel polluant indéniable. Certains métaux et plus particulièrement ceux que l'on regroupe parmi les métaux lourds constituent une préoccupation majeure dans le domaine de l'environnement. Ils sont toxiques même à faible concentration et ont la capacité de s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire (Xia, 1996 ; Mohammed et *al.*, 2011).

Ces éléments sont présents en faibles concentrations dans l'environnement et l'augmentation de leur teneur résulte généralement des activités humaines. La majorité de ces éléments est toxique à forte concentration, mais certains d'entre eux sont très toxiques même lorsqu'ils sont en traces comme les ions Pb^{2+} et Cr^{6+} (Sato et *al.*, 2002). Par conséquent, il est recommandé de réduire ou d'éliminer totalement ces polluants des écosystèmes (Pagotto, 1999) .

Afin de protéger la population humaine des effets de la contamination des milieux poreux et aquatiques par les métaux lourds, des seuils critiques à partir desquels des effets dangereux peuvent être observés ont été établis.

Cependant, la capacité des organismes à assimiler les métaux traces et la toxicité de ces derniers dépend des formes chimiques sous lesquelles se présentent ces métaux (Alloway, 1995 ;Vasseur et Morel, 2000) .

En considérant les normes fixées chez les poissons qui sont respectivement (30ppm/PF) pour le Zinc (0,5 mg/Kg PF)pour le Plomb (0,5 mg/Kg PF) pour le

Cuivre(0,1 ppm/PF) pour le Cadmium et en fin (146mg/kg PF) pour le Fer , il apparait clairement que toutes les concentrations métalliques trouvées lors de cette étude chez *Sardina pilchardus* sont inférieures aux doses maximales recommandées par littérature et par conséquent on peut dire qu'elles ne sont pas inquiétantes.

Tableau 37 : Comparaison des teneurs en métaux lourds (ppm/PF) chez *Sardina pilchardus* par rapport aux Doses Maximales Admissibles (DMA).

Métaux	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
Présent travail [C] en (ppm/PF)	1	0,048	0,017	0,029	0,770
D.M.A chez les poissons	5mg/g PS(d) 30ppmPF(d)	0,3 à 6mg/Kg PS(b) 0,5 mg/Kg PF (c)	0,3 à 6mg/Kg PS(b) 0,5 mg/Kg PF (c)	1 ppm PS(a) 0,15-3ppm P.S (e) 0,1 ppm PF (c)	146mg/kg PF (f)

(a) AUGIER et al, (1988) [(b) G.I.P.P.M(1973) [Groupe Interministériel des Problèmes de Pollution de la Mer] – (c) CSHPF (1990) [Conseil Supérieur d'Hygiène Publique en France] – (d) CNRMS d'Australie (1992) [Conseil National pour la Recherche Médicale et de la Santé] –(e) I.O.P.R (1996) [Institut Océanographique Paul Ricard] –(f)I.A.E.A(2003)

2. Etats de la contamination de la sardine étudiée par rapport aux autres organismes marins de la Méditerranée

Le tableau 38 permet une étude comparative entre les organismes marins, utilisés comme indicateurs biologiques et qui représentent quelque maillon de la chaîne trophique avec des caractéristiques distinctes.

La *Sardina pilchardus* de la baie de Ghazaouet enregistre pour le Fe une concentration de l'ordre de 0,77mg/kg.PF. Cette valeur est inférieure à celle trouvée sur *S.pilchardus* des côtes Marocaines.

Pour le Cd, la concentration moyenne est de 0,029mg/kg.PF et reste inférieure à celle trouvée par El Mohrit et al.(2013) chez *S.pilchardus*. Néanmoins, la *S.pilchardus* de la baie de Boumerdès présente une valeur presque similaire à celle de l'espèce étudiée. En fin, la *S.aurita* de la baie d'Oran et la *S.pilchardus* de Baie d'Alger affichent les concentrations cadmiques les plus faibles.

Pour le Zn et le Cu, les concentrations enregistrées chez *S.pilchardus* de la Baie de Boumerdès, d'Alger et des côtes Marocaines sont plus élevées que celle révélée chez *S.pilchardus* de la baie de Ghazaouet.

En fin pour le Pb, on remarque que les taux en Pb chez *S.pilchardus* provenant de la Baie d'Alger et des côtes Marocaines sont supérieurs par rapport au taux déterminé chez notre espèce (0.048mg/kg.PF). Quant à la baie de Boumerdès, la *S.pilchardus* indique une valeur presque identique à celle de l'espèce cible.

Tableau 38 : Variations des teneurs en métaux lourds chez différents poissons pêchés le long du littoral Algérien et dans la mer Méditerranée.

Espèce	Origine	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe	Auteurs
<i>Sardinella aurita</i> (mg/kg.PF)	Baie d'Oran	-	-	-	0,019	-	Benamar et al.,2011
<i>Sardina pilchardus</i> (mg/kg.PF)	Côte atlantique sud (Maroc)	97,33	0,09	0,93	0,13	33,91	Elmohrit et al.,2013
<i>Sardina pilchardus</i> (mg/kg.PF)	Baie d'Alger	42,70	0.30	0,130	0,0	-	Ouabdesselam et al.,2017
<i>Sardina pilchardus</i> (mg/kg.PF)	Baie de Boumerdès	19,79	0.05	1,31	0,03	-	Hamida et al.,2018
<i>Sardina pilchardus</i> (mg/kg.PF)	Ghazaouet Tlemcen	1	0,048	0,017	0,029	0,770	Présente étude

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La baie de Ghazaouet est polluée principalement par des rejets industriels et urbains provenant de la même zone. Sur le plan écologique, cette pollution peut perturber l'équilibre biologique du milieu hydrique tel que la dérive écologique et peut porter atteinte aux médiateurs qui règlent l'équilibre dans ce milieu. Le présent travail consiste à constater l'état de la contamination de la baie de Ghazaouet par le Zn, le Pb, le Cu, le Cd, et le Fe en choisissant une espèce bioaccumulatrice à partir des espèces candidates présentes sur le littoral ouest Algérien. La sardine, *Sardina pilchardus* a été sélectionnée sur la base de son abondance, de sa physiologie, de son habitat.

Dans l'ensemble, notre étude nous a permis de mettre en évidence la présence effective des métaux lourds ciblés dans les organes vitaux de la sardine avec un ordre d'accumulation:

$$\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Cu}$$

En effet les concentrations métalliques décelées chez cette espèce ne dépassent pas les valeurs recommandées et semblent être variables selon les facteurs pris en considération à savoir ; Sexe, organe, saisonnalité, taille, cycle reproductif... Il faut noter que ces fluctuations pourraient avoir des causes variées aussi bien d'ordre intrinsèque (liées à l'espèce) que d'ordre extrinsèque (liées au milieu et au métal considéré). Cependant, si les concentrations enregistrées n'incitent pas à des inquiétudes immédiates et ne peuvent être à l'origine de toxicité aiguë, il faut souligner que le risque écotoxicologique réside dans le caractère cumulatif des métaux lourds, qui interviennent dans les phénomènes de bioaccumulation et de bioamplification. Les métaux lourds peuvent ainsi s'accumuler à des faibles doses dans les différents organes et atteindre le seuil toxique en altérant soit les réactions métaboliques chez les individus, soit en entraînant des perturbations démoécologiques au niveau des populations des écosystèmes touchés.

Perspectives

Compte tenu des pressions anthropiques croissantes sur le littoral Algérien. Ce dernier constitue un milieu récepteur de divers contaminants chimiques ayant des répercussions qui se manifestent sous la forme de menaces sanitaires. Il serait donc indispensable de mettre en place des plans de surveillance continus permettant de minimiser les risques envisagés et d'identifier les sources de la pollution dont le réceptacle final demeure le littoral Algérien.

En effet, l'utilisation des organismes constitue une approche importante pour l'évaluation et la détermination des polluants potentiellement responsables de l'altération des réponses biologiques dans le milieu marin à tous les niveaux (sub-individuel, individuel et populationnel).

C'est dans cette perspective que nous avons évalué les concentrations métalliques chez la *Sardina pilchardus* pêchée au large de Ghazoauet. Les résultats obtenus mettent clairement en évidence que cette espèce sédentaire est tolérante contre les métaux étudiés ...permettant ainsi de l'utiliser pour percevoir les effets perturbateurs engendrés par les métaux lourds à l'échelle cellulaire (stress métallique). En effet ces impacts dépendent de l'organe, la durée d'exposition et de la concentration du polluant.

Ce même type d'étude pourrait être complété par d'autres travaux qui visent à la caractérisation, la modélisation et l'optimisation des paramètres physicochimiques environnementales, pour augmenter le niveau de confiance des résultats obtenus et de comprendre les phénomènes toxicologiques globaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Abad, R., Miquel, J., Iglesias, M., Alvarez, F.(1998).Acoustic estimation of abundance and distribution of sardine in the Nortwestern Mediterranean. *Fisheries research.*, 34: 239-245.
- Abad, R.et Giraldez, A. (1993). Reproduccion, factor de condicion y talla de primer madurez de la Sardina pilchardus (Walb.), de littoral de Malaga, mar de Alboran (1989 à1992).*Biol. Inst. Esp.Oceanogr.*, 9 (1) :145-155.
- Aldebert, Y.,Tournier, H.(1971). La reproduction de la Sardine et de l'Anchois dans le golfe du Lion. *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 35(1): 57-75.
- Alemany, F and Alvarez, F.(1993). Growth differences among sardine (Sardina pilchardus Walb.) populations in western Mediterranean.*Sci. Mar.*, 57:229-234.
- Alheit, J and Hagen, E. (1997). Long-term climate forcing of European herring and sardine populations. *Fisheries Oceanigraphy.*, 6 (2): 130-139.
- Alheit, J., Roy, C., Kifani, S. (2009). Decadal-scale variability in populations. Chapter 5, in: Checkley, D., Alheit, J., Oozeki, Y., Roy, C. (Eds.), *Climate Change and Small Pelagic Fish*, Cambridge University Press , pp64-87.
- Alkaa, Y., Chafiki, A., Bekkali, R., Benhrai, A.(2012). Ecotoxicological diagnosis of the sardine populations (Sardina pilchardus) fished along the Atlantic coastal areas from Safi to Cape Blanc. *Science and Management of Small Pelagics.*,435-440.
- Allain,V.(1999). Ecologie, biologie et exploitation des populations de poissons profonds de l'Atlantique du Nord-Est. Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, 373p.
- Alloway, B.J .et Ayres, D.C.(1997). *Chemical Principles of Environmental Pollution*. Blackie Academic and Professional, an imprint of Chapman and Hall. London, 394 p.
- Amara, R., Laffargue, P., Dewarumez, J.M., Maryniak, C., Lagardère, F. & Luczac, C.(2001). Feeding ecology and growth of 0-group flatfish (sole, dab and plaice) on a nursery ground (Southern bight of the North Sea). *J.Fish Biol.*, 58: 788-803.
- Amenzoui, K.(2010).Variabilité des caractéristiques biologiques de la sardine, Sardina pilchardus (Walbaum, 1792) exploitée au niveau des zones de Safi, Agadiret Laâyoune (côtes atlantiques Marocaines).Thèse de Doctorat, Université mohammed V -Agdal, Maroc.
- Amenzoui, K., Tachinanate, F.F., Yahyaoui, A., Kifani, S and Mesfioui ,H. (2006). Analysis of the cycle of reproduction of Sardina pilchardus (Walbaum, 1792) of Moroccan Atlantic coast. *C.R. Biologies.*, 329:892-901.
- Amiard, J.C., Amiard-triquet, C., Berthet ,B., Metayer, C.(1986). Contribution to the ecotoxicological study of cadmium, lead, copper and zinc in the mussel Mytilus edulis. Field study. *Mar.Biol.*, 90:425-431.
- Amiard, J.E.(1988).Réflexions sur l'estimation des flux des éléments traces dans les organismes aquatiques. *J. Rech. Océanog.*,36p.
- Amiard-Triquet,J.C. Metayer, C.(1987).Application de la Spectrophotometrie d'Absorption Atomique Zeeman au dosage de 8 éléments traces (Hg, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se) dans les matières biologiques solides. *Wat Terres.*, 21(6): 693-697.

- Anandraj, A., Marshall, D.J., Gregory, A et. McClurg, T.P. (2002). Metal accumulation, filtration and O₂ uptake rates in the mussel *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia) exposed to Hg²⁺, Cu²⁺ and Zn²⁺. *Comp. Biochem. Physiol Part C: Toxicology & Pharmacology.*, 132(3): 355-363..
- ANAT. (1995). L'Agence National d'Aménagement du Territoire .Etude de la zone franche de Ghazaouet, Tlemcen.
- ANAT. (2000). Schéma d'organisation de l'armature urbaine «Nord- Ouest» - Ville de Ghazaouet, Mission 1: Diagnostic et état des lieux. 53p.
- ANAT. (2003) .Etude de la zone franche de Ghazaouet.
- Asso, A. (1982). Contribution à l'étude des polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L) dans la région d'Alger. Thèse de Doctorat 3ème cycle d'océanographie biologique, Univ Marseille II, 138 p.
- ATSDR. (1990). Agency for Toxic Substances and Disease Registry Toxicological profiles for copper, Department of health and human services, public health services Atlanta-Gasus.
- Audet, D. & Couture, P. (2003). Seasonal variations in tissue metabolic capacities of yellow perch (*Perca flavescens*) from clean and metal contaminated environments. *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 60: 269-278.
- Augier, H., Pork, W., Romando, G. (1992). Study of geographical and seasonal metal variation in different parts of the sea urchin *Paracentrotus lividus*, from three Provençal Tet Areas: 75-89.
- Ayache, F. (2007). Les résineux dans la région du Tlemcen (Nord-Ouest algérien) aspects écologiques et cartographie. Thèse Magistère, Université de Tlemcen, 223p.

B

- Baby, F., Tharian, J., Abraham, K.M., Ramprasanth, M.R., Ali, A. & Ranghavan, R. (2011). Length-weight relationship and condition factor of an endemic stone sucker, *Garra gotyla stenorhynchus* (Jerdon, 1849) from two opposite flowing rivers in southern Western Ghats. *Journal of threatened taxa* ., 3(6): 1851-1855.
- Bakun, A. (1996). Patterns in the Ocean Processes and Marine Population Dynamics. University of California sea Grant, San Diego, California, Usa, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 323p.
- Balk, E. M., Tatsioni, A., Lichtenstein, A. H., Lau, J. and Pittas, A. G. (2007). Effect of Chromium Supplementation on Glucose Metabolism and Lipids: A systematic review of randomized controlled trials. *Diabetes Care.*, 30 :2154-2163.
- Bandarra, N.M., Batista, I., Nunes, M.L., Empis, J.M., Christie, W.W. (1997). Seasonal changes in lipid composition of sardine (*Sardina pilchardus*). *Journal of Food Science.*, 62:40-42.
- Barcova, N.A., Chukhgalter, O.A et Scherbitch, L.V. (2001). Problèmes structuraux des populations de sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) habitant au large des côtes de l'Afrique du Nord-Ouest. In Groupe de Travail de la FAO sur l'évaluation des petits pélagiques au large de

- l'Afrique Nord-Occidentale Nouadhibou, Mauritanie, 24-31 mars 2001 (657): 120-133.
- Barnabé, G.(1997).Contribution à la connaissance de la biologie du loup Dicentrarchus labrax (L.) (Poisson Serranidae) de la région de Sète. Thèse 3ème cycle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 426p.
 - Bedairia, A. & Djebbar, A.B. (2009). A preliminary analysis of the state of exploitation of the sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the gulf of Annaba, East Algerian. *Animal biodiversity and conservation.*, 32 (2):89-99.
 - Bei, F., Catsiki, V.A. & 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 n°35* (2).
 - Belabed, B.(2010). La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba "sources de contamination des écosystèmes aquatiques. Thèse de Doctorat en sciences de la mer, Université de Badji Mokhtar-Annaba, 199p.
 - Belanger, D.(2009). Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. maître en écologie internationale : maîtrise en biologie incluant un cheminement de type cours en écologie internationale .Canada, 67p.
 - Belhoucine, F.(2012). Etude de la biologie, de la croissance et de la reproduction d'un poisson téléostéen le merlu (*Merluccius merluccius*, L., 1758) et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (Zn, Pb, Cd) dans la baie d'Oran, Algérie. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, 275 p.
 - Belvèze, H. et Rami, M. (1978). Détermination de l'âge de la sardine marocaine (*Sardina pilchardus*). Eléments de croissance comparés. II. *Inst. Pêches Marit*, 23, : 58-81.
 - Belvèze, H. (1984). Biologie et dynamique des populations de sardine (*Sardina pilchardus*) peuplant les côtes atlantiques et proposition pour un aménagement des pêcheries. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Brest Occidentale, 531p.
 - Benamar, N.(2011). Etude de la biologie, de l'exploitation et de la contamination par les métaux lourds toxiques de la *Sardinella aurita* ronde pêchée dans la Baie d'Oran. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, Faculté des Sciences, 153 p
 - Benech, V. and Quensiere, J.(1985). Stratégies de reproduction des poissons du Tchad en période de "Tchad normal", (1966-1971). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale.*, 18 (3) :227-244.
 - Benguedda-Rahal, W.(2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien. Thèse de doctorat, Univ de Tlemcen, 149p.
 - Benguendouz, A., Boudrouna, K., Bouterfa, A., Belabes, M., Bekada, A., Sioriki, E., Zabetakis, I.(2017). Fatty acid profile and assessment of heavy metals content of *Sardina pilchardus* captured in the Algerian coast. *Iranian Journal of Fisheries Sciences.*, 16(3): 1201-1029.
 - Benmansour, N.(2009). Contribution à l'étude de l'anchois (*Engraulis encrasicolus*, (1758) de l'escrime Ouest Algérien (Ghazaouet et Beni saf) recherche de quelques métaux lourds. Mémoire de Magister d'écologie et biologie des populations , Université de Tlemcen. 147p.

- Benmehdi, I. (2003). Etude écologiques de deux espèces caractéristiques des matorrals de la région de Tlemcen. Mém d'Ing, Université de Tlemcen, 156p.
- Benset, M. (1985). Evolution de la plateforme de l'Ouest Algérien et du Nord – Est Marocaine au cours des jurassiques supérieurs et au début du Crétacé. Docum. Lab. Geol. Lyon n°95, fax1, pp1-367, fax 2, pp396-581.
- Bernal, M., Stratoudakis, Y., Coombs, S., Angelico, M.M., Lago de Lanzos, A., Porteiro, C., Sagarminaga, Y., Santos, M., Uriarte, A., Cunha, E., Valdés, L., Borc -Hers, D. (2007). Sardine spawning off the European Atlantic coast: Characterization of spatio-temporal variability in spawning habitat. *Prog. Oceanog.*, 74: 210-227.
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J. (1996). On The Dynamics of Exploited Fish Populations. Chapman and Hall. London, 533 p.
- Binet, D., Samb, B., Taleb Sidi, M., Levenez, J.J., Servain, J. (1998). Sardines and other pelagic fisheries changes associated with trade wind increases in the Canary current upwelling (26°N-14°N), late 1960s-early 1990. In : Durand M.H., Mendelsohn R., Cury P., Roy C., Pauly D. (eds). Global versus local changes in upwelling systems. Collection & Séminaires. Orstom, Paris, pp211-233.
- Bode, A., Alvarez-Ossorio, M.T., Carrera, P., Lorenzo, J. (2004). Reconstruction of trophic pathways between plankton and the North Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) using stable isotopes. *Scientia Marina.*, 68: 165-178.
- Bodiguel, X., Tronczynski, J., Loizeau, V., Munsch, C., Guiot, N., Le Guellec, A.M., Oliver, N., Roupsard, F. & Mellon, C. (2008). Classical and novel organohalogen compounds (PCBs and PBDEs) in hake (*M. merluccius*, L.) from Mediterranean and Atlantic coasts (France). *Environment Toxicology* 2008, Witt Press: 157-167.
- Bolognini, L., Domenichetti, F., Grati F, Polidori, P., Scarcella, G. & Fabi G. (2013). Weight-Length Relationships for 20 Fish Species in the Adriatic Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13: 555–560.
- Borgmann, U., Norwood, W.P., Dixon, D.G. (2008). Modelling bioaccumulation and toxicity of metal mixtures. *Hum Ecol Risk Assess.*, 14, (2)/266-289.
- Borsali, S. (2015). Evaluation de la contamination métallique dans trois organes (foie, gonades et muscle) du rouget de roche (*Mullus surmuletus* L., 1758). Par quatre métaux lourds (Zn, Cu, Cd, Pb) pêché dans la baie d'Oran. Thèse Doctorat, Université d'Oran, Alger, 202 p.
- Bouchard, P., Chappaz, R., Cavalli, L. & Brun, G. (1998). Influence of environmental variables on the growth of *Leuciscus cephalus* (Linnaeus 1766), in the River Durance, south-east France. *Annales de Limnologie.*, 34: 193-200.
- Bouchereau, J.L. (1981). Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique exploitée de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dans la baie d'Oran (Algérie). Thèse Doctorale 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II, 239 p.
- Bouchriti (2003). Surveillance des zones de production conchylicoles actes du séminaire sur la qualité des produits de la pêche, 20-24 mai, 2002, Casablanca, Maroc, Edité par Insamak, pp:99-125.

- Boudroua, K., Benmehdi-Tabet -Aoul, F., Mourat, J. (2008) .Caractéristiques nutritionnelles des acides gras des lipides de sardines (*Sardina pilchardus*) pêchées dans les côtes algériennes .*Nutri. Cli.*, 22(1):56-57.
- Bougis. P.(1952). Rapport hépatosomatique et rapport gonadosomatique chez *Mullus barbatus* L. *Bull. oc. Zool. France.*, 74(6): 326-330.
- Bouhadiba-Chenait, S.(2011).Évaluation des concentrations des quatre métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn) chez le Mulet (*Mugil cephalus* ,Linné 1758) pêché dans les baies d'Oran et de Béni Saf. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, Algérie, 144 p.
- Bouhali, F.(2016).Étude de la biologie de la sardine *S. pilchardus*(Walbaum, 1792) des côtes Est-Algérienne. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, 142p.
- Boumehres, A.(2010).Etude comparative des techniques d'extraction des éléments traces métalliques dans le foie, le rein et le lait et leur détermination par spectrométrie d'absorption atomique (flamme et four graphite). Mémoire de Magister en médecine vétérinaire.
- Bouslaha, Y., Larbi doukarab, K, Bouderbala, M., Merzoug, D., Boutiba, Z. (2016).First record and trace element concentration in Humpback whale (*Megaptera Novaeangliae*) stranding on the coast of Algeria (Southwestern Mediterranean Sea).*International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR).*, 26(1): 405-414.
- Boutiba, Z.(2004). Guide de l'environnement marin Edit: DAR EL GHARB, 273p.
- Brahmi, B., Bennoui, A. et Oualiken A.(1998). Estimation de la croissance de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) dans la région centre de la côte Algérienne. *Marine populations dynamics* n° 35.
- Bremner, I.(1979).Mammalian absorption transport and excretion of cadmium (in Webb M Ed: *The Chemistry, Biochemistry and Biology of cadmium*). *Topics in Environmental Health*. Elsevier, Amsterdam: 175-193.
- Burton, R.S.(1996).Molecular tools in marine ecology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.*, 200: 85-101.
- Butler, P.A., Andren ,L., Bonde ,G.J., Jernelev ,A et Reisch ,D.J.(1971). Monitoring organisms. FAO conférence on marine pollution and its effect on living resources and fishing, Rome. FAO fisheries reports. n°99: pp101-112.

C

- Callender, E.(2003).Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), *Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry*. Elsevier-Pergamon. Oxford., 67-105.
- Campbell, P., O. Erréalde, C. Fortin, V. P. Hiriart-Baer and B. Vigneault (2002).Metal bioavailability to phytoplankton—applicability of the biotic ligand model. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology.*, 133(1–2): 189-206.
- Campbell, P.G.C.(1995).Interactions between trace metals and organisms: critique of the free-ion activity model. *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems*. Tessier et D. R. Turner, J. Wiley & Sons, Chichester, UK: pp45-97.
- Candelone, J.P., Hong, S., Pellone, C. et Boutron, C.F.(1995).Post-Industrial Revolution changes in large-scale atmospheric pollution of the northern

- hemisphere by heavy metals as documented in central Greenland snow and ice. *Journal of Geophysical Research.*,100(8): 605-616.
- Canli ,M., Atli, G.(2002). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb et Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental pollution.*, 121: 129-136.
 - Cardinale, M., Casini,M. & Arrhenius,F.(2002). The influence of biotic and abiotic factors on the growth of sprat (*Sprattus sprattus*) in the Baltic Sea. *Aquat. Living Ressour.*,15: 273-281.
 - Carrera, P. & Porteiro,C.(2003). Stock dynamic of the Iberian sardine (*Sardina pilchardus*, W.) and its implication on the fishery off Galicia (NW Spain). *Scientia Marina.*, 67 (1): 245-258.
 - Casas, S.(2005).Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces(Hg, Cd, Pb,Zn et Cu) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* en milieu Méditerranéen. Thèse de Doctorat, 356p.
 - CEE.(1982).Communication de la commission au conseil relative aux substances dangereuses susceptibles de figurer sur la liste I de la directive 76/464/CCE du conseil. J.O.n°C176: pp3-10.
 - Chapman, P.M.(2001). How toxic is toxic? *Mar Pollut Bull.*, 42(12):1279-1280.
 - Chavez, F.P., Ryan, J., Lluch-Cota, S.E., Ñiquen, N.(2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science.*, 299: 217-221.
 - Cheftel, J.C.(1977).Introduction à la biochimie et la technologie des aliments. Vol II .Ed Entreprise moderne,pp137-160.
 - Chlada, M.(2009).Variabilité allozymique associée au flux migratoire des populations de sardine, *Sadina pilchardus*, le long de la côte nord-ouest africaine. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V- Agdal faculté des sciences Rabat,117p.
 - Clofman(1984). Poisson de l'atlantique Nord-est et de la Méditerranée. In; WHITE 6 HEAD P.G.P. BAUCHOT M.L.NIELSON J & TORTONESE (Ebs).
 - CNRS.(2005).Centre Nationale de la Recherche Scientifique. Principaux rejets industriels.
 - Connolly,J.P.& Glaser,D.(2002). DDE bioaccumulation in female sea lions of the California Channe Islands. *Continental Shelf Res.*22(6-7):1059-1078.
 - Conway, D.V.P., Tranter, P.R.G., Puelles ,M.L.F et Coombs ,S.H.(1991). Feedings of larval sprat (*Sprattus sprattus* L.) and Sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792). ICES CM Biuol. *Oceanog. Committes.*, 76: 7.
 - Coombs, S.H., Smyth, T.J., Conway, D.V.P., Halliday, N.C., Bernal, M., Stratoudakis, Y., Alvarez, P.(2006).Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic .*J.Mar.Biol.Ass.*, 86:1245-1252.
 - Copat, C., Bella, M., Castaing, R., Fallico, S., Sciacca, S., Ferrante, M.(2012). Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.*, 88: 78-83.
 - Corten, A., Van -Kamp, G.(1996).Variation in the abundance of southern fish species in the southernNorth Sea in relation to hydrography and wind. ICES, *Journal of Marine Science.*, 53: 1113-1119.

- Cossa, D., ET Lassus, P.(1989). Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie, Editions Ifremer, Plouzané. France,16: 111.
- Cossa,D.,Augier,D.,Averty,B.,Luçon,M.,Masselin,P.,Noel,J.&Sanjuans,J.(1990).Niveaux de concentration en métaux, métalloïdes et composés organochlorés dans les produits de la pêche côtière Française. IFREMER. Service de la documentation et des publications. Centre de Brest.
- Cotran, R.S., Kumar, V. et Robbins, S.L.(1990). Patologia ambiental, Patologia Estructural y Funcional. Interamericana-Mc Graw-Hill, Madrid, pp 499-546.
- Craig J.F.(1987). The biology of perch and related fish, Croom Helm, London. 333 p.
- Cressey, R.F.(1983). Crustaceans as parasites of other organisms. *The biology of Crustacea.*, 6: 251-273.
- Cunha, E.M., Figueiredo, I., Farinha, A., Santos, M.(1992).Estimation of sardine spawning biomass off Portugal by the daily egg production method. *Bol Inst Esp Oceanogr.*, 8:139–153.
- Cury ,P., Bakun, A.,Crawford, R.J.M., Jarre, A.,Quinones ,R.A.,Shannon ,L.J., Verheye, H.M.(2000).Small pelagics in upwellings systems: patterns of interaction and structural,changes in waspwaist Ecosystems. *Ices journal of Marine Science.*, 57:603-618.
- Cury, P., Roy, C.(1989). Optimal environmental window and pelagic Fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian journal of Fisheries and aquatic sciences (CAN)*, 46: 670-680.
- Cushing,D.H.(1975).Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, Cambridge, 278p.
- Cýnahgýr, B.(1996). Reproduction of Euopean pilchard, *Sardina pilchardus* (Walbaum,1792) in the Aegean sea. *Turk. J. Zool.*,20: 33-50.

D

- Daby, D.(2006). Coastal pollution and potential biomonitors of metals in Mauritius. *Water,Air and soil pollution* .,174: 63-91.
- Dallongeville, J., Yarnell, J., Ducimetriere, P.,Arveiler ,D., Ferrieres,J., Montaye , M., Luc, G., Evans, A., Bingham, A., Hass, B., Ruidavets, J.B., Amouyel, P.(2003). Fish consumption is associated with lower heart eats .*Circulation* .108:820-825.,01: www.fishbase.com
- Darley, B.(1992). Poissons des côtes algériennes .OPU.Collection de cours d'agronomie.
- Demirhindi,U.(1961). Nutrition of the Sardine (*Sardina pilchardus* walb.). Proceedings and Technical papers of the general Fisheries council for the Mediterranean., 6: 253-259.
- DET.(2006). Rapport de Présentation Sur L'état de l'environnement de la zone côtière du golfe de Ghazaouet, 11p.
- Di Toro, D.M., Allen, H.E., Bergman, H.L., Meyer, J.S.,Paquin, P.R.,Santore, R.C.(2001).Biotic ligand model of the acute toxicity of metals. 1. Technical basis. *Environ. Toxicol. Chem.*, 20(10): 2383-2396.
- Djabali, F.et Mouhoub , R.(1989).Reproduction de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbum, 1792) de la région d'Alger. Pélagos. *Bull. Inst. Scient. de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.*, 7 (1): 29-31.

- Djabali,F.,Brahmi, B et Mammasse, M.(1993). Poissons des côtes Algériennes I.S.M.A.L. Alger 58p.
- Dob, M.(1988).Approche de quelque paramètre de la biologie et de la dynamique de population exploitée de la sardine .Mémoire d'ingénieur en océanographie, Mostaganem,33p.
- DPRHT (direction de la pêche et des ressources halieutiques de la wilaya de Tlemcen) .(2004). Le secteur de la pêche et de l'état environnemental du littoral de la Wilaya de Tlemcen, 41p.
- Du Bray, E.(1995). Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposits models. United States Geological Survey, Denver, 272 pp.
- DUC(Direction d'Urbanisme et de Construction de la wilaya de Tlemcen)., (2005). Révision du plan directeur d'aménagements urbains de la zone de Ghazaouet (P.D.A.U).
- Duchaufour, Ph.(1977).Pédologie tome I pédogénèse et classification. Masson Paris,477.p 89.
- Dumay, J., Donnay-Moréno, C., Barnathan, G., Jaouen, P et Bergé, J.P. (2006). Improvement of lipid and phospholipid recoveries from sardine (*Sardina pilchardus*) viscera using industrial protases.*Process Biochem.*,41(11):2327-2332.
- Durand, J.H.(1954).Les sols d'Algérie. Ed . Sci. Gouv, Pédologie. Alger, pp : 1-244.

E

- El Bouhali, B., Bennasser, L., Nasri, I., Gloaguen, V., Mouradi, A. (2008). Contamination métallique de *Gambusia hoibrooki* au niveau du lac Fouarat et de l'estuaire Sebou dans la région du Gharb (Maroc).*Afrique science* :410-425.
- El Morhit, M.(2009). Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). Thèse Univ. Mohamed V, FS. Rabat,260p.
- El Morhit, M., Belghity ,D., El Morhit, A.(2013).Contamination métallique de *Pagellus acarne*, *Sardina piichardus* et *Diplodus vulgaris* de la côte atlantique sud (maroc). *Larhyss Journal*, JSSNJJJ2-3680, 14: 131-148.
- Ennourri,R.,Chouba,L., Kraiem, M.(2008).Evaluation de la contamination chimique par les métaux traces (Cd, Pb, Hg, Zn) du zooplancton et la sardinelle (*Sardinella auritia*) dans le golfe de Tunis. *Bull. Inst. Natio. Scien. Tech. Mer de salamambo.*, Vol. 35.
- Essedaoui, A. Sif, J.(2000). Variation des activités estérasiques sous l'effet de la pollution métallique chez *Mytilus galloprovincialis* de la région de Jorf-Lasfar (Maroc). *J. Rech. Océanogr.*, 25(3/4) : 34-42.
- Ettahiri, O., Berraho, A., Vidy,G., Ramdany, M., Do-Chi, T.(2003). Observation on the spawning of European Atlantic coast: Characterization of spatio-temporal variability in spawning.234 p.

F

- Fairbrother, A., Wenstel, R., Sappington, K. & Wood, W. (2007). Framework for Metals Risk Assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68 :145-227.
- FAO. (1977). Manuel des méthodes de recherche sur l'environnement aquatique 3eme partie : échantillonnage et analyse du matériel biologique. Doc. Tech. Pêches, 113p.
- FAO. (2001 a). Sardine otolith workshop. FAO Fisheries Report. 685, 49pp.
- FAO. (2007). Report of the working Group on the assessment of small-pelagic fish off northwest Africa. FAO Fisheries Report. 849, 3pp.
- FAO. (2005). Review of the state of world marine fishery resources., FAO Fisheries Technical Paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, p. 457.
- FAO. (2011). FAO yearbook, Fishery and Aquaculture Statistics 2009. FAO, Roma.
- Fergusson, J.E. (1990). The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects, 1. Pergamon Press. Oxford, 614p.
- Fischer, W., Bauchot, M.L. et Schneider, M. (1987). Fiches F.A.O. d'identification des espèces méditerranée et Mer noire (zone de pêche 37)" Révision 1 tome II : Vertébrés. FAO, Rome. pp761-1530.
- Forest, A. (2001). Ressources halieutiques hors quotas du Nord Est Atlantique : bilan des connaissances et analyse de scénarios d'évolution de la gestion. Ifremer Eds. tome 2, 215 p.
- Fréon, P. (1988). Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. Inst. Française de Recherche. Scipour le développement en Coopération. Collection Etudes et Thèses, Paris 1988 ORSTOM (Ed), 287p.
- Fréon, P., Stequert, B. (1979). Note sur la présence de *Sardina pilchardus* (Walb.) au Sénégal : Etude de la biométrie et interprétation. *Cybiuim.*, 6: 65-90.
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., Roy, C. (2005). Sustainable Exploitation of Small Pelagic Fish Stocks Challenged by Environmental and Ecosystem Changes. *Bulletin of Marine Science.*, 76(2):385-462.
- Freyssinet, P., Piantone, P., Azaroual, M., Itard, Y., Clozel-Leloup, B., Guyonnet, D. et Baubron, J.C. (2002). Chemical changes and leachate mass balance of municipal solid waste bottom ash submitted to weathering. *Waste Management.*, 22(2): 159-172.
- Froese, R., Thorson, J.T. & Reyes, R.B. (2014). A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes. *Journal of Applied Ichthyology.*, 30:78-85.
- Furnestin, J. (1945). Contribution à l'étude biologique de la Sardine atlantique *Sardina pilchardus* : W/B, Tran. Off. Sci. Tech. Peche, 51p.
- Furnestin, A. (1943). Contribution à l'étude biologique de la sardine atlantique *Sardina pilchardus*. *Rev. Trav. Off. Pêche Maritime.*, 13 :221-386.

G

- Gagneux-Moreaux, S. (2006). Les métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la production des micro algues sur différents milieux de culture: biodisponibilité-bioaccumulation et impact physiologique. Thèse de Doctorat en biologie marine, Université de Nantes, 257p.
- Ganias, K., Somarakis, S., Koutsijopoulo, C., Machias, A. (2007). Factors affecting the spawning period of sardines in tow highly oligotrophic Seas. *Mar. Biol.*, 4:1559-1569.
- Ganias, K., Somarakis, S., Koutsijopoulo, C., Machias, A., Theodorou, A. (2004). Identifying newly spawned female sardines by means of common fisheries data. *Cybium*, 28(1): 43-46.
- Garcia, A., Perez, N., Porteiro, C., and Carrera, P. (1991). Estimates of the sardine spawning-stock biomass of the Galician and Cantabrian coast. ICES CM, H: pp.35-20.
- Garrido, S., Cunha, M.E., Oliveira, P.B., Van-der-lingen, C.D. (2006). Diet composition and feeding behaviour of Iberian Sardine (*Sardina pilchardus*). ICES Document C.M.2006/f: 17, 33 pp.
- Gary, J., Atchison Mary, G., Henry Mark, B., Sandheinrich. (1987). Effects of metals on fish behavior: a review. *Environmental Biology of Fishes.*, 18(1):11-25.
- Gaspic, Z.K., Zvonaric, T., Vrgoco, N., Odzak, N., Baric, A. (2002). Cadmium and lead in selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic sea. *Water Res.*, 36(20):5023-5028.
- Gaujous, D. (1995). La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire. Lavoisier. Paris: 26-34.
- Gavilán García, I., Gavilán García, A. et Castro Díaz, J. (2004). Organometales. In: A. Fernandez Bremauntz, M., Yarto Ramirez et J. Castro Díaz (Eds.), Las sustancias tóxicas persistentes. Instituto Nacional de Ecología. México, pp.1-64.
- George, S.G. (1980). Correlation of metal accumulation in mussels with the mechanisms of uptake, metabolism and detoxification: A review. *Thalassia Jugoslavica.*, 16 (2-4): pp.347-365.
- Ghali, S. (2008). Étude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olives. Utilisations dans le traitement des eaux. Mémoire de Magister, Université de 20 août 55-SKIKDA.
- Gibson, R.N. (1994). Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes. Netherlands. *Journal of Sea Research.*, 32:191-206.
- Gillis, H. (2011). Changement global et dynamique de sélection d'habitat de reproduction d'un oiseau nichant au sol cas du busard cendré en milieu agricole intensif. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00660268/>.
- Glasby, G.P., Szefer, P., Geldon, J., Warzocha, J. (2004). Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland. *Science of the Total Environment.*, 330: 249-269.
- Goetz, F.W., Berndtson, A.K., RaDjan, M. (1991). Ovulation: mediators at the ovarian levels. In: Pang P.K.T. and Schreibman M.P. (Eds). *Vertebrate*

Endocrinology : Fundamentals and Biochemical Implications, Vol. 4A. New York: Academic Press, pp. 127-203.

- Grimes, S.(2003). Bilan et Diagnostic National de la pollution marine de la côte algérienne liée à des activités menées à terre. Programme d'actions stratégiques (PAS) destiné à combattre la pollution due à des activités menées à terre et de sa stratégie opérationnelle. Final Report PAM/PAS MED/MEDPOL, 119 p.
- Grimes, S., Boutiba, Z., Bakalem, A., Bouderbala, M., Boudjellal, B., Boumaza, S., Boutiba, M., Guedioura, A., Hafferssas, A., Hemida, F., Kaidi, N., Khelifi, H., Kersabi, F., Merzoug, A., Nouar, A., Sellali, B., Sellalimerabtine, H., Semroud, R., Seridi, H., Taleb, M.Z., Touabria, T.(2004). Biodiversité marine et littorale-Ed.SONATRACH-Ed.DIWAN.Alger,362p.
- Grimes, S., Ruellet, T., Dauvin, J.C.(2010). Ecological Quality Status of the soft-bottom communities from the Algeria coast: general patterns and diagnostic. *Marine Pollution Bulletin.*, 60:1969-1977.
- Guisande, C., Cabanas, J.M., Vergara, A.R. & Riveiro, A.(2001). Effect of climate on recruitment success of Atlantic Iberian sardine, *Sardina pilchardus*. *Mar. Ecol. Prog. Series.*, 223: 243-250
- Gunnar, F., Nodberg-Bruce, A., Nodberf, F.W., Friberg, L.(2007). Handbook on the toxicologie of metals. 3^{ème} Edition. Academic, Press, 25 juin 2007. 1024 p. ISBN: 978-0123694133.

H

- Hamida, S., Ouabdesslam, L., Ladjel, A.F., Escudero, M & Anzano, J.(2018). Determination of Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in Pilchard Sardines from the Bay of Boumerdés by Atomic Absorption Spectrometry. *Analytical Letters.*, 51(3):1-8
- Hong, S., Candelone, J.P., Patterson, C.C. et Boutron, C.F.(1994). Greenland ice evidence of Hemispheric Lead Pollution two millennia ago by Greek and Roman civilizations. *Science.*, 265 :1841-1843.
- Hossain, M.Y, Ahmed, Z.F, Leunda, P.M, Jasmine, S., Oscoz, J., Miranda R. & Ohtomi, J.(2006). Condition, length-weight and length-length relationships of the Asian striped catfish *Mystus vittatus*(Bloch, 1794)(Siluriformes: Bagridae) in the Mathabhanganga River, Southwestern Bangladesh. *Journal of Applied Ichthyology.*, 22 : 304-307.

I

- IAEA.(2003). International Atomic Energy Agency. Reference sheet IAEA-407, Trace elements and methylmercury in Fish tissue. Vienna, Austria, pp.1-4

J

- Johnson, M.S., Cooke, J.A. & Stevenson, J.K.(1994). Revegetation of metaliferous wastes and land after metal mining. In Mining and its Environmental Impact. Edited by R.E.Hester and R.M. Harrison. Issues Environmental Science and Technology, Royal Society of Chemistry, Letchworth, England, pp.31-48.

K

- Kaddour, A., Belhoucine, F. et Alioua, A. (2021). Integrated use of condition indexes, genotoxic and cytotoxic biomarkers for assessing pollution effects in fish (*Mullus barbatus* L., 1758) on the West coast of Algeria. *South Asian Journal of Experimental Biology* (SAJEB), 11(3):287-299.
- Kadik, B. (1987). Contribution à l'étude du pin d'Alep en Algérie : Ecologie, dendrométrie, morphologie. O.P.U. 580p.
- Kadik, (1987) in Benmehdi. (2003). Etude écologiques de deux espèces caractéristiques des matorrales de la région de Tlemcen. Mém d'Ing, Université de Tlemcen, 156p.
- Kaimoussi, A., Chafik, A., Cheggour, M., Mouzdahir, A. & Bakkas, S. (2000). Seasonal variations of metal concentrations (Cd, Cu, Zn, Fe and Mn) in mussel *Mytilus galloprovincialis* from Eljadida coastline (Morocco). *Mar. Life.*, 10(1-2):77-85
- Kartas, F. (1981). Les Clupéidés de Tunisie. Caractéristiques biométriques et biologiques. Etude comparée des populations de l'Atlantique-Est et de la Méditerranée». Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tunis, 608 p.
- Kartas, F., Quignard, J.P. (1984). La fécondité des poissons téléostéens, Coll. Biol. Milieux Marins. Masson (éd). Paris, 121p.
- Kaschner, K., Rius-Barile J., Kesner-Reyes K., Garilao C., Kullander S.O., Rees T., & Froese R. (2013). AquaMaps: Predicted range maps for aquatic species. *World Wide Web electronic publication*, www.aquamaps.org, Version 08/2013.
- Kerckhove, O. (2012). Espèces ou association d'espèces de poissons en tant que bioindicateur de l'état de santé des récifs coralliens. Essai présenté au Département de biologie en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale. Université de Sherbrooke, Canada, 149 p.
- Khemiri, S. (2006). Reproduction, âge et croissance des trois espèces de téléostéens pélagiques des côtes Tunisiennes: *Engraulis encrasicolus*, *Sardina pilchardus* et *Boops boops*. Thèse Doctorat de l'ENSAR, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes Spécialité Halieutique.
- Kingston, H.M., Jassie, L.B. (1988). Introduction to microwave sample preparation. Washington, D.C: American Chemical Society p 263.
- Knaepkens, G., Knapen, D., Bervoets, L., Hanfling, B., Verheyen, E. & Eens, M. (2002). Genetic diversity and condition factor: a significant relationship in Flemish but not in German populations of the European bullhead (*Cottus gobio* L.). *Heredity.*, 89:280-7
- Kushner, D.J. (1993). Effects of speciation of toxic metals on their biological activity. *Water Pollution Research Journal of Canada.*, 28 (1):111-28.

L

- Lagadic, L., Craquet, T., Amiard, J.C. & Ramade, F. (1997). Biomarqueurs en ecotoxicologie. Edition Masson. Paris, 419 p.
- Lahaye, J. (1980). Les cycles sexuels chez les poissons marins. *Oceanis.*, 6 (7): 637-654.

- Lahaye, J. (1972). Cycles sexuels de quelques poissons plats des côtes de Bretagne. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 36:191-207.
- Lalami, Y. (1979). Etude biologique et Halieutique du Rouget de vase (*Mullus barbatus*) des côtes Algériennes. Mémoire de Magister, Université de Montpellier, 510p.
- Lambert, Y. and Dutil, J. (1997). Can simple condition indices be used to monitor and quantify seasonal changes in the energy reserves of cod (*Gadus morhua*)? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54(S1).
- Landrum, P.F. (1988). Toxicokinetics of organic xenobiotics in the amphipod *Pontoporeia hoyi*. Role of physiological and environmental variables. *Aquat. Toxicol.*, 12:245-271.
- Langston, W.J. & Spence, S.K. (1995). Biological factors involved in metal concentration observed in aquatic organisms. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. John Wiley & Sons. 407-478.
- Lanno, R., Wejls, L., Conder, L., Bradham, K. & Basta, N. (2004). The bioavailability of chemicals in soil for earthworms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 57:39-47.
- Larraneta, M.G. (1960). Synopsis of biological data on *Sardina pilchardus* of the Mediterranean and adjacent seas. FAO Species Synopsis., 4-26 p.
- Lavoué, S., Miya, M., Saitoh, K., Ishiguro, N.B., Nishida, M. (2007). Phylogenetic relationships among anchovies, sardines, herring and their relatives (Clupeiformes), inferred from whole mitogenome sequences. *Molecular phylogenetic and evolution.*, 43:1096-1105.
- Le Claire, L. (1972). La sédimentation Holocène sur le versant méridional du bassin Algero Baléares (précontinent Algérie). Mémoire Muséum histoire naturelle. Paris, série C Tome. 24p.
- Le Goff, F. & Bonnomet, V. (2004). Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable Direction de l'Eau. France, 86p.
- Leamon, J.H., Schultz, E.T. & Crivello, J.F. (2000). Variation among four health indices in natural populations of the estuarine fish, *Fundulus heteroclitus* (Pisces, Cyprinodontidae), from five geographically proximate estuaries. *Environmental Biology of Fishes.*, 451-458.
- Leblanc, J.C., Guerin, T., Verger, P., Volatier, J.L. (2004). Etude de l'alimentation totale française. Mycotoxines minérales et éléments traces. INRA. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation de la pêche et des affaires rurales. 72p
- Lee, J.Y. (1961). Note complémentaire sur les sardinelles *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847) du golfe du Lion». *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 16 (2) : 335-339.
- Lee, J.Y. (1961). La sardine du Golf du Lion (*Sardina pilchardus sardina* Regan). *Revue des travaux de l'institut de pêches maritimes.*, 25(4).
- Lévesque, B., Ayotte, P., Tardif, R., Ferron, L., Gingras, S., Schlouch, E., Gingras, G., Levallois, P. & Dewailly, E. (2002). Cancer risk associated with household exposure to chloroform. *J. Toxicol Environ Health A.*, 65(7):489-502.
- Leonart, J., Maynou, F., Recasens, L. and Franquesa, R. (2003). Abioeconomic model for Mediterranean Fisheries. the hake off Catalonia (Western Mediterranean) as a case study. *Sci. Mar.*, 67(1): 337- 351

- Lluch-Belda, D., Crawford, R.J.M., Kawasaki, T., McCall, A.D., Parrish, R.H., Scharflose, R.A., Smith, P.E.(1989).World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. *South African Journal of Marine Sciences.*, 33: 195-205.
- Loring, D.H., Rantala R.T.T.(1992). Manual for the Geochemical Analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Sci. Rev.*, 32: 235-283.
- Lowe-McConnell, R.H.(1987).Ecological studies in tropical fish communities. University Press, Cambridge,382p.
- Luoma, S.N.(1983).Bioavailability of trace metals to aquatic organisms-a review. *Sci. Total. Environ.*,28:1-22.

M

- Maanan, M., Zourarah, B., Carruesco, C., Aajjane, A., Naud, J.(2004). The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). *Journal of African Earth Sciences.*, 39 :473-483.
- Mahé, K., Destombes, A., Coppin, F., Koubbi, P., Vaz, S., le Roy, D., Carpentier.(2005).Le rouget barbet de roche *Mullus surmuletus* (L. 1758) en Manche orientale et mer du Nord. Rapport de contrat IFREMER/CRPMEM Nord-pas-de calais, 187 p.
- Majori, L., Nedoclan, G., Modonutti,G.B.& Daris, F.(1978). Study of the seasonal variations of some trace elements in the tissues of *Mytilus galloprovincialis* taken in the Gulf of Trieste. *Rev.Int.Océanogr. Méd.*, 39:37-50.
- Makaoui, A. A., Orbi, K., Hilmi, S., Zizah, J., Larissi. & Talbi, M.(2005). L'upwelling de la côte atlantique du Maroc entre 1994et 1998. *C. R. Geoscience.*, 337 :1518-1524.
- Malquiou et Bertolini. (2000). Encyclopédie de l'environnement et du développement durable,1100mots.Ed,Mecy consult,192p.
- Mann, R.H.K., Mills, C.A. and Crisp, D.T.(1983). Geographical variation in the life-history tactics of some species of freshwater fish, in *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*, Potts, G. W. and Wootton, R. J., Eds., Academic Press, Orlando, FL, 1983.
- Marchand,J.,Tanguy,A.,Laroche,J.,Quiniou,L.& Moraga,D.(2003). Responses of European flounder *Plastichthys flesus* populations to contamination in different estuaries along the Atlantic coast of France. *Marine Ecology Progress Series.*,260:273-284
- Markert,B.A., Breure, A.M. and Zechmeister, H.G.(2003). Bioindicators and Biomonitoring. Elsevier, Oxford, 977p.
- MATE (Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement)., (2006).Etude de pré-investissement pour le HOT SPOT de Ghazaouet (Algérie).Rapport de Phase I,67p.
- MATE.(2007).Etude de pré investissement pour le HOT SPOT de Ghazaouet(Algérie).Rapport de Phase II,217p.
- MATE.(2007).Etude de pré investissement pour le HOT SPOT de Ghazaouet (Algérie). Rapport de Phase II, 217p.

- Mater, S. and Bayhan B. (1999) .Growth of the sardine (*Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) distributing in Izmir Bay. Aegean Sea. *J. Fish. Aquat. Sci.*, 16(3-4): 257-267.
- Matias, M.S.A.(2008).Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Doctorat Sciences de la Terre et Environnement. Université de Toulouse: pp11-25.
- Maurin,C.(1968).Ecologie et ichtyologie des fonds chalutables atlantiques et de la Méditerranée Occidentale.Rev.Trav.Inst.Pêches marit.,32(1) .
- Mc Cave, I.N.(1975).Vertical flux of particules in the ocean. *Deep-Sea, Res.*, 22: 491-502.
- Médale, F et Kaushik,S. (2009). Les sources protéiques dans les aliments pour les poissons d'élevage .*Cah.Agric.*,18 :103-111.
- Mendes, B., Fonseca, P. and Campos, A.(2004). Weightlength relationships for 46 fish species of the Portuguese west coast. *J. of Applied Icht.*, 20: 355-361.
- Mendez-Vilamil Mata, M., Lorenzo-Nespereira, J. M., Gonzalez Pajuelo, J.M. and Soto-Aguilera, R.(1997). Periodo reproductor y madurez sexual de la sardina *Sardinapilchardus* (Walbaum, 1792) en aguas de Gran Canaria (islas Canarias).*Bol. Inst.Esp. Oceanogr.*, 13 (1 et 2): 47-55.
- Merbouh,N. (1998).Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds(Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) d'un poisson pélagique, la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792), pêché dans la baie d'Oran. Thèse de Magister. I.S.M.A.L. (Alger), 139p.
- METAP.(1994). Etude de protection contre la pollution des ports et du littoral Algérien. Rapport final. Banque Européenne d'Investissement ,Ministère du transport ,Direction des ports. Algérie ,170 p.
- Meyer,J.S., Adams,W.J., Brix, K.V., Luoma, S.N., Mount, D.R. ,Stubblefield, W.A., Wood, C.M.(2005).Toxicity of Dietborne Metals to Aquatic Biota.Ed.Society of Environmental Toxicology and Chemistry .USA,303p.
- Milhaud, G.,Vassal ,L., Federspiel,B., Delacoroix- Buchet ,A., Mehennaoui ,S.,Charles, E., Enriquez, B. ,Colf-Clauw, M.(1998).Devenir du cadmium du lait de brebis dans la crème et les caillés présure ou lactique. *Le Lait.*,78 : 689-698.
- Millot, C.& Taupier-Letage,I.(2005).Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian Basin by mesoscale eddies and not by a permanent westward-flowing vein. Elseiver.Progress in oceanography.
- Millot,C.(1987). La circulation générale en méditerranée occidentale. Annale de géographie n°549. Marseille, pp 497-515.
- Miramand, P., Fichet, D., Bentley,D., Guary, J-C., Caurant, F.(1998). Concentrations en métaux lourds (Cd, Cu, Pb, Zn) observées le long du gradient de salinité dans le réseau trophique pélagique de l'estuaire de la Seine. C.R. Acad. Sci.paris, Sciences de la terre et des planetes. *Earth & Planetary Sciences.*,327,259-264.
- Mohammed F.,Bchitou,R.,Nachid, N.,Bouhaouss,A.(2011).Effects of phosphoric acid, cadmium and chromium on the growth of argan trees.*Phys. Chem. News.*, 57:128-134.

- Monna, F.(2008).Cycles biogéochimiques des éléments traces métalliques aux interfaces de l'environnement. Thèse de doctorat, Sciences de la terre et de l'environnement, Université de Bourgogne, 181p.
- Monteiro,C.,Jorge, I.M.(1982) Age and growth of Sardine pilchardus (Walb.)From the Portuguese coast (ICES Div.IXa). ICES Document C.M. 1982/H: 19.
- Mortet, Y.(1989). Contribution à l'étude du cycle sexuel et de la fécondité des sardinelles *Sardinella aurita*, dans la baie d'Oran. Diplôme d'études supérieures (DES), Université d'Oran, 80p.
- Mouhoub, R.(1986).Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique de la population exploitée de la sardine *Sardina pilchardus*(Walbaum, 1792) des côtes Algéroises. Thèse de Magistère, USTHB, Alger,163 p.
- Munro, A.D., Lack of influence of photoperiod on the brood interval of the guppy (*Poecilia reticulata*).*Zool. Sci.*, 6:191-1989.
- Muus, B.J., Neilson, J.C., Dahbstrom, P et Olecen-Nystrom, B.(1998).Guide des poissons de mer et pêche .5ème édition Delachaux et Neislé .Paris,335p.

N

- Nahal,I.(1962).Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. Ecole eaux et forêts. *Sta. Rech. Exp.*,19(4) :208.
- Neathery, M. & Miller, W.J.(1975). Metabolism and toxicity of cadmium , mercury and lead in animals. *Journal of Dairy Science.*, 58: 1767-1781.
- Niencheski, L.F et Baumgarten, M.G.Z.(2000). Distribution of particulate trace metal in the southern part of the patos lagoon estuary. *Aquatic Ecosystem Health and Management.*, 3(4):515-520.
- Nikolsky ,G.V. (1963).The ecology of fishes. Academic Press. 352 p.
- Nolan, A.L., Lombi,E., McLaughlin,M.J.(2003). Metal bioaccumulation and toxicity in soils – Why bother with speciation? *Aust J Chem.*, 56(2-3):77-91.
- Norwood, W.P., Borgmann, U.,Dixon, D.G., Wallace, A.(2003).Effects of metal mixtures on aquatic biota: A review of observations and methods. *Human and Ecological Risk Assessment.*, 9(4):795-811.

O

- Ogindo,B.A.(2001).Heavy metal pollutants and their concentrations in fish (Barbus Species) in Sosiani River, Kenya. *Discov. Innov.*, 13(3/4): 178-183.
- Olivar,M.P., Salat,J., Palomera,I.(2001).Comparative study of spatial distribution patterns of the early stages of anchovy and pilchard in the NW Mediterranean SEA. *Marine Ecology Progress.*,217: 111-120.
- Orban,E.,DiLena,G.,Nevigato,T.,Casini,I.,Marzetti,A.&Caproni,R.(2002). Seasonal changes in meat content, condition indexand chemical composition of mussels (*Mytilusgalloprovincialis*) cultured in two different Italiansites. *FoodChemistry.*,77:57-65.
- Ouabdesselam, L., Kechidi, S., Aoulmi, F., Boudriche, L. (2017). Search for heavy trace metals in species *Sardina pilchardus* at the bay of Algiers. *World Journal of Engineering Research and Technology.*, 3(3): 1-11.

P

- Pagotto,C. (1999). Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols les éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier.Thèse de Doctorat,Université de Poitier.
- Palomera, I., Olivar, M.P., Salat, J.(2007). Small Pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: an ecological review. *Progress in Oceanography*,74: 377-396.
- Parrish, R.H., Serra,R., et Grant,W.S.(1989). The monotypic sardines, sardina and sardinops: their taxonomy, istribution, stock structure and zoogeography. *Canandian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.*, 46 : 2019-2036.
- PDAU.(1996).Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme in BELHAADL (2008) :Evaluation de la pollution métalliques dans l'eau, les sédiments et organismes vivants du littoral de Ghazaouet (Extrême Ouest Algérien). Thèse Magistère, Université de Tlemcen, 246p.
- PDAU.(1996).Rapport d'orientation et règlements. Phase 3.U.R.S.A. Saïda,pp :1-27.
- Pérez, N., Porteiro, C. and Alvarez,F. (1985). Contribución al conocimiento de la biología de la sardina de Galicia. *Bol. Inst.Esp. Oceanogr.*, 2 : (3) 27-37.
- Philips, D.J.H.(1980). Quantitative aquatic biological indicators: Their use to monitor trace metal and organochlorine pollution. Applied Science Publishers, London. 120 p.
- Phillips, D.J.H.(1977).The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. *Environmental Pollution.*,13:281-317.
- Pichard, A., Bisson, M., Hulot - Lacroix,C.,. Lefevre J.P.,Magaud,h.,Obersongeneste, D., Morin, A. G.(2003) . Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Plomb et ses dérivés. INERIS-DRC-01-25590-ETSC-API/SD -N°00df257,90p.
- Pinnegar, J.K., Polunin, N.V.C., Badalament, F.(2003). Long term changes in the trophic level of western Mediterranean Fishery and aquaculture landing .*Con.J.Fish.Aquat.Sci.*, 60:222-235.
- Pinnegar,J.K., Trenkel, V.M., Dawson, W.A., du Buit, M.H., Tidd, A.N.(2003). Does diet in Celtic Sea fishes reflect prey availability? *Journal of Fish Biology*, 23:197-212.
- Pinta, M., Baudin,G et Bourdon, R.(1980). Spectrophotométrie d'absorption atomique.Tome.1.problème général. 2^{ème} édition Ed .Masson ORSTOM,259p.
- Pivnicka ., Cenry,K.(1996).Poissons .pp:80.
- Planes,A., Obradó,E., González-Comas,A and Mañosa, L.(1997). Premartensitic Transition Driven by Magnetoelastic Interaction in bcc Ferromagnetic Ni₂MnGa. *Phys. Rev. Lett.*, 79 :3926.
- Plumlee, G.S et Ziegler, T.L.(2003). The medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. In:B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon. Oxford, pp264-310.
- PNUE.(2004). Programme des nations unies pour l'environnement.Mers et océans-morts ou vivants ? la mer méditerranée . publié par PNUE. Bruxelles. Edit. Spéciale. 16p.
- PNUE.(2005). Réglementation des métaux lourds parmi les décisions clefs du conseil d'administration du PNUE .CP25/272 du 02.2005, Nairobi.

- Potts, G.W.(1984). Parental behaviour in temperate marine teleosts with special reference to the development of nest structures, in Fish Reproduction: Strategies and Tactics, Potts, G. W. and Wootton, R. J., Eds., Academic Press, Orlando, FL, 1984.
- Prankel, S.H.,Nixon, R.H., Philips,C. J. C.(2004). Méta-analysis of feeding trials investigating cadmium accumulation in the livers and kindeys of sheep. *Environnemental Research.*, 94:171-183.
- Prasad, A. (1991). Discovery of human zinc deficiency and studies in an experimental human model. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53: 403-412.
- Price, P.W.(1980). Evolutionary biology of parasites. Princeton University press, Princeton, 254 p.

Q

- Quéro,J.C.,Vayne,J.J.(1997).Les poisons de mer des pêches Françaises .Les encyclopédies du naturaliste.Ed.Delachaux and Nistle,304p.

R

- Rainbow, P.S.(1990).Heavy metal levels in marine environment. Heavy metals in the marine environments. R. W. Furness, P. S. Rainbow et C. Press, CRC Press,Boca Raton:pp 68-79.
- Rajotte, J.W. & Couture,P.(2002).Effects of environmental metal contamination on the condition, swimming performance, and tissue metabolic capacities of wild yellow perch (*Percaflavescens*). *Can.J.Fish. Aquat.Sci.*, 59: 1296-1304.
- Ramade, F.(1993). Environmental and ecotoxicological problems in the Mediterranean countries. The Science of the Total Environment. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Ramade, F.(2000). Dictionnaire encyclopédique des pollutions -les polluants de l'environnement à l'homme .Edt. Edi science international. Paris,690 p.
- Ramdane, Z.(2009). Identification et écologie des ectoparasites Crustacés des poissons Téléostéens de la côte Est algérienne.Thèse de Doctorat, Université Badji Moktar Annaba (Algérie), 235p.
- Ramirez, T., Cortés, D., Garcia, A.(2001).Growth of North Alboran sea sardine larvae estimated by otolith microstructure, nucleic acids and protein content. *Journal of Fish Biology.*, 59 :403-415.
- Ramon, M.M., Castro, J.A. (1997).Genetic variation in natural stocks of *Sardina pilchardus* (sardines) from the western Mediterranean Sea. *Heredity* .,78: 520-528.
- Ramousse, R., Le Berre,M.,Le Guelte,L.(1996). Introduction aux statistiques.<http://www.cons-dev.org/elearning/stat/parametriques/5-3/5-3.html>
- Regoli, F.et Orlando ,E.(1993). *Mytilus galloprovincialis* as a bioindicator of lead pollution: biological variables and cellular responses' the Total Environment, Supplement. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Riveiro, I., Guisande,C., Lioves, M., Maneiro, I., Cabanas, J.M.(2000). Importance of parental effects on larval survival in *Sardina Pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series.*,205: 249-258.
- RNO.,(2004).Surveillance du milieu marin. Bulletins annuels édités par l'Ifremer et le Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement.

- Rochet, M.J.(2000). A comparative approach to life- history strategies and tactics among four orders of teleost fish. *ICES. J.Mar.Sci.*, 57:228-239.
- Roff , D.A.(1983). An allocation model of growth and reproduction in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40 :1395-1404.
- Rooney, C.P., McLaren R.G. and Crosswell R.J.(1999). Distribution and phytoavailability of lead in a sail contaminated with lead shot. *Water, air and soil pollution.*, 116: 535-548.
- Rose, K.A., Cowan, Jr., J.H., Winemiller, K.O., Myers, R.A., Hilborn, R. (2001).Compensatory density dependence in fish populations: importance, controversy, understanding and prognosis.*Fish Fis.*, 2:293-327.
- Rouabhi, Y. L.(2020). Étude comparative de la biologie et de la bioaccumulation des métaux traces chez deux Mytilidae: *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819 et *Perna perna* (Linnaeus, 1758) de la côte ouest algérienne. Thèse de doctorat. Université de Mons, Belgique.
- Rouane-Hacene, O., Boutiba, Z., Benaissa, M., Belhouari, B., Francour, P., Guibbolini, S. M., Faverney, C. R. (2018). Seasonal assessment of biological indices, bioaccumulation, and bioavailability of heavy metals in sea urchins *Paracentrotus lividus* from Algerian west coast, applied to environmental monitoring. *Environmental Science and Pollution Research.*, 25(12): 11238-11251.

S

- Saidini, K.(1994). Présence des métaux lourds (Fe, Zn,Pb, Cd) chez quelques espèces de poissons et d'algues au niveau du littoral Ouest Algérien. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État.
- SARDYN Project: Sardine dynamique and stock structure in the north-eastern Atlantic, Q5 RS-2002-000818.2002-2006.
- Satoh, M., Koyama, H., Kaji, T., Kito, H., Tohyama,C.(2002). Perspectives on cadmium toxicity research,Tohoku. *Journal of Experimental Medicine.*,196 :23-32.
- Schwartzlose, R.A., Alheit, J., Bakun, A., Baumgardtner ,T.R., Cloete, R., Carwford, R.J.M., Fletcher,W.J., Green- ruiz, Y., Hagen, E., Kawasaki ,T., Lluch-Belda ,D., Lluch-Cota S.E., Mac -Calla.D., Matsuura,Y., Nevarez-Martinez,M.O., Parrish ,R.H., Roy ,C., Serra ,R., Shust ,K.V.,Ward ,M.N., Zuzunaga, J.Z.(1999). Worldwide large- scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Sciences.*, 21: 289-347.
- Selman ,K. & R.A. Wallace.(1986). Gametogenesis of *Fundulus heteroclitus*. *Am. Zool.*, 26:173-192.
- Selman, K. & Wallace, R.A.(1986). Gametogenesis of *Fundulus heteroclitus*. *Am. Zool.*,26: 173-192.
- Semple, KT., Doick, K.J., Jones, K.C., Burauel, P., Craven,A., et . Harms,H. (2004). Defining bioavailability and bioaccessibility of contaminated soil and sediment is complicated. *Environmental Science and Technology.*, 38: 228A-231 A.
- Sidoumou, Z.(1991). Qualité des eaux du littoral mauritanien : etude des metaux traces chez deux mollusques bivalves *Venusverrucosa* et *Donaxrugosus*. Thèse de doctorat, Sciences biologiques et fondamentales appliquées. Psychologie : Nice, 184 p.

- Silva, A.(2003). Morphometric variation among sardine (*Sardina pilchardus*) populations from the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science.*, 60: 1352-1360.
- Simkiss, K., Taylor, M. et Mason, A.Z.(1982). Metal detoxification and bioaccumulation in molluscs. *Mar. Biol. Letters.*, 3: 197-201.
- Singh, R.K., Sugandha, L.C., Sapkale, H.P.(2007). Heavy metal concentrations in water, sediments and body tissues of red worm (*Tubifex* spp.) collected from natural habitats in Mumbai, India. *Environ Monit. Assess.*, 129: 471-481.
- Sinovčić, G., Franicevic, M., Zorica, B. and Cikes-kec, V.(2004). Length-weight and length-length relationships for 10 pelagic fish species from the Adriatic Sea. *Croatia. J. Appl. Ichthyol.*, 20: 156-158.
- Sinovčić, G., Kec, V.C. & Zorica, B.(2008). Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, 76:739-744
- Smith, A., Brown, C., Bulman, C., Fulton, E., Johnson, P., Kaplan, I., Lozano-Montes, H., Mackinson, S., Marzloff, M., Shannon, L., Shin, Y., Tam, J.(2011). Impacts of fishing low-trophic level species on marine ecosystems. *Science.*, 333:1147-1150.
- Somoue, L.(2004). Structure des communautés planctoniques de l'écosystème pélagique de l'Atlantique sud marocain entre cap Boujdor et cap Blanc. Thèse de Doctorat National Spécial. Océanog. Université Hassan II Ain Chok Casablanca, 300 p.
- Souaili, S.(1997). Exploitation de la sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) pêchée au chalut dans la Baie de Bousmail par l'analyse des cohortes. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie Marine. ISMAL, Alger, 64p.
- Stratoudakis, Y., Coombs, S., Lago de Lanzos, A., Halliday, N., Costas, G., Caneco, B., Franco-Conway, D., Satos, M., Silva, A., Berna, M.(2007). Sardine (*Sardina pilchardus*) Spawning Seasonality in european Waters of the northeast Atlantic. *Mar SardBio.*, 152: 201-212.
- Sukandar, S., Yasuda, K., Tanaka, M. et Aoyama, I.(2006). Metals leach ability from medical waste incinerator fly ash: A case study on particle size comparison. *Environmental Pollution.*, 144(3): 726-735.
- Sumpter, J.P.(1984). The seasonal reproductive cycle of the rainbow trout, in *Endocrinology*, Labrie, F. and Proulx, L., Eds., Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 793.
- Sunda, W.G.(1989). Trace metal interactions with marine phytoplankton. *Biol. Oceanogr.*, 6: 411-442.
- Sutton, S.G., Bult, T.P. et Hedrich, R.(2000). Relationships among fat weight, body weight, water weight and condition factors in wild Atlantic Salmon Parr. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129: 527-538.

T

- Tabinda, AB., Hussain, M., Ahmed, I., Yassar, A.(2010). Accumulation of toxic and essential trace metals in fish and prawns from Keti Bunder Thatter District, Sindh. Pakistan. *J. Zool.*, 42(5): 631-638.
- Tahiri, L., Bennasser, L., Idrissi, L., Fekhaoui, M., El Abidi, A., Mouradi, A. (2005). Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des

- sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water Qual. Res. J. Canada.*, 40(1) : 111-119.
- Tanasichuk, R.W.(1997). Influence of biomass and ocean climate on the growth of Pacific herring (*Clupea pallasii*) from the southwest coast of Vancouver Island. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.*, 54(12) : 2782-2788.
 - Taylor, C.C.(1979). Temperature, growth and mortality the Pacific cockle. *J. Cons. CIEM.*, 26:117-124.
 - Tedesco, P.(2000). Implications des facteurs environnementaux et génétiques sur la croissance du chevaine (*Leuciscus cephalus*, Linné, 1766) dans le Rhône (ed. Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Fluviaux U.C.B. L.I.), 18p.
 - Templeton, D.M., Ariese, F., Cornelis, R., Danielsson, L.G., Muntau, H., Van Leeuwen, H.P., Lobinski, R.(2000). Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements. Definitions, structural aspects, and methodological approaches (IUPAC Recommendations 2000). *Pure Appl Chem.*, 72(8): 1453-1470.
 - Thomazeau, R.(1981). Station d'épuration, eaux potables-eaux usées. Précis théorique et technique et documentation : 08.
 - Thriot, A.(1976). Les remontées d'eaux (upwelling) et leur influence sur la production pélagique des côtes atlantiques du Maroc. *Bull. Inst. Scient. Pêch. Mart.*, 22 :5-12.
 - Tomasini, J.A., Bouchereau, J.L et Ben Sahala Talet, A.(1989). Reproduction et condition chez la sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) des côtes oranaises (Algérie). *Cybiuim.*, 13 (1) 37-50.
 - Toro, B., Navarro, J.M. and Palma-Fleming, H.(2003). Relationship between bioenergetics responses and organic pollutants in the giant mussel, *Choromytilus chorus* (Mollusca: Mytilidae). *Aquatic Toxicology* 63(3):257-269.

V

- Varela, M., Larranga, A., Costas, E., Rodriguez, B.(1988). Contenido estomacal de la Sardine (*Sardina pilchardus*) (Walbaum, 1792) durant la campana Scarus 871 en las plataformas cantabrica y de Galicia em Febrero de 1987. *bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 5 :17-28.
- Vasquez G., Antorrena G., Gonzalez J., Doval, M.D.(1994). Adsorption of heavy metal ions by chemically modified *Pinus pinaster* bark. *Bioresource Technol.*, 48:251-255.
- Vasseur, J.L., Morel, J.L.(2000). Conséquences de la contamination de sols par les éléments traces sur les plantes. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France*, 86 :39-48.
- Vogt, W.P.(1993). Dictionary of statistics and methodology. Kindle Edition, p177-201.
- Volle, M.(1985). Analyse des données. 3ème Edition. Collection «économie et statistiques avancées. *Economica*, pp. 108-129.
- Voulgaridou P. and Stergiou K.I. (2003). Trends in various parameters of sardine. *Sci. Mar.*, 67(Suppl. 1): 269-280.

W

- Wang, W.X.et Fisher, N.S.(1997). Modeling metal bioavailability for marine mussels. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 151:39-65.
- Wang, W.X.et Fisher, N.S.(1998). Accumulation of trace elements in a marine copepod. *Limnol. Oceanogr.*, 43: 273-283.
- Webb.(1997).The metallothioneins. The chemistry, Biochemistry and Biology of cadmium Topics in Environmental Health. Elsevier, Amsterdaml: 195-26.
- Weber,D.N.(1993).Exposure to sublethal levels of water borne lead alters reproductive behavior patterns in fathead minnows(*Pimephales promelas*). *Neurotoxicology.*,14(2-3):347-358.
- Wedemeyer, G., Barton, B., McLeay, D.(1990). Stress and acclimation. In: Schreck, C.B., Moyle, P.B. (Eds.), *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, MD., 451-489.
- Weis, J.S., Mogue, N. & Weis, P.(1999). Mercury tolerance,population effects,and population genetics in the mummichog,*Fundulus heteroclitus*.In: *Genetics and Ecotoxicology* (ed.ForbesV.E.) ,pp. 31 - 54.Taylor&Francis,Philadelphia.
- Whitehead, P.J.P. (1985). *FAO species catalogue. Vol 7. Clupeoid fishes of the world(Suborder Clupeoidei). Part 1. Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae.* United Nations Development Program, Rome. -X-Y-Z-Bibliographie 210.
- Whitfield, A.K. and Elliott, M. (2002) Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: A review of progress and some suggestions for the future. *Journal of Fish Biology.*, 61, 220-250.
- WHO. (2001). Evaluation of certain food additives and contaminants. 55th report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives and Contaminants. Geneva, Switzerland: WHO.
- Wilkinson, K.J. and Buffle,J. (2004). Critical evaluation of physicochemical parameters and processes for modelling the biological uptake of trace metals in environmental (aquatic) systems. *Physicochemical Kinetics and Transport at Biointerfaces.* H. P. v. Leeuwen and W. Köster. Chichester, UK, Wiley Online Library. 9.
- Winters, G.H. & J.P. Wheeler.(1994). Length-specific weight as a measure of growth success of adult Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51:1169-1179.
- Wootton, R.J. (1979). Energy costs of eggs production and environmental determinants of fecundity in teleost fishes. IN: *Symposia of zoological society of London*, Academic Press. N° 44: 133-155.
- Wootton, R.J.(1990). *Ecology of teleost fishes.* Chapman and Hall, Londres, 404 p.
- Worms, B., Barbier, E. ,Beaumont, N., Duffy, J., Folke, C., Halpern, B., Jackson, J., Lotze, H., Micheli, F., Palumbi, S., Sala, E., Selkoe, K., Stachowics, J.&Watson, R. (2006).Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services *.Science.*,314 :787-790.
- Wright,D.A.(1995).Trace metal and major ion interactions in aquatic animals. *Mar. Pollut.Bull.*,31(1-3):8-18.

X

- XiaY,M. (1996). Trace Elements in Health and Diseases. *Biomed Environ Sci.*, 9:130-136.

Y

- Yokel, R. A., Lasley, S. M. and Dorman, D. C. (2006). The speciation of metals in mammals influences their toxicokinetics and toxicodynamics and therefore human health risk assessment. *J. Toxicol. Environ. Health - Part B Crit. Rev.* 9 : 63-85.

Z

- Zhang,L.&Wang,W.X.(2007). Waterborne cadmium and zinc uptake in a euryhaline teleost *Acanthopagrus schlegelia* climated to different salinities. *Aquatic Toxicology.*, 84(2): 173-181.
- Zielhuis, S.W.(2006). Lanthanide bearing radioactive particles for cancer therapy and multimodality imaging, Utrecht University.
- Zimmermann, M.(2004). Maturity and fecundity of arrowtooth flounder, *Atheresthes stomias*, from the gulf of Alaska. *Fish. Bull.*, 95:598-611.
- Zwolinski , J .Y. Stratooudakis, E. Soares.(2001). Intra-annual variation in the batch fecundity of sardine of Portugal . *J. Fish Biol* .,58: 1633-1645.

ANNEXES

Annexe 1

Tableau 1: Modèle de la fiche d'échantillonnage

	Echantillonnage N° :			Date :	
Individu	Paramètres biométriques		Organes ciblés		
	Poids (g)	Taille (cm)	Gonades		Branchies
	Pt	Lt	PG(g)	Sexe (♂/♀)	PB(g)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Total : 30 individus

Les remarques :

Annexe 2

Tableau1 : Variations saisonnières de la sex-ratio chez *S. pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet(N: effectif; %: fréquence ;SR :sex-ratio).

Saisons	Femelles ♀		Mâles ♂		Indéterminés		Total	SR
	N	%	N	%	N	%		
Hiver	29	32,22	42	46,66	19	21,11	90	0,69
Printemps	29	32,22	20	22,22	41	45,55	90	1,45
Eté	23	25,55	13	14,44	54	60	90	1,76
Automne	51	56,66	36	40	3	3,33	90	1,41
Total	132	37%	111	31%	117	32%	360	

Tableau 2 : Variations mensuelles de la sex-ratio chez *S. pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet(N: effectif; %: fréquence ;SR :sex-ratio).

Mois	Femelles ♀		Mâles ♂		Indéterminés		SR
	N	%	N	%	N	%	
Janvier	10	33,33	6	20	14	46,66	1,66
Février	12	40	14	46,66	4	13,33	0,85
Mars	7	23,33	22	73,33	1	3,33	0,31
Avril	10	33,33	14	46,66	6	20	0,71
Mai	7	23,33	3	10	20	66,66	2,33
Juin	12	40	3	10	15	50	4
Juillet	/	0	/	0	30	100	/
Août	2	6,66	4	13,33	24	80	0,5
Septembre	21	70	9	30	0	0	2,33
Octobre	14	46,66	16	53,33	0	0	0,87
Novembre	22	73,33	8	26,66	0	0	2,75
Décembre	15	50	12	40	3	10	1,25

Tableau3: Variations de la sex-ratio en fonction de la taille chez *S. pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet (♀: femelles; ♂: mâles; N: effectif; %: fréquence ;SR :sex-ratio).

Classes de taille (cm)	N(♀)	N(♂)	%♀	%♂	Total	SR
[11-13 [	24	14	63,15	36,84	38	0,63
[13-15 [	16	11	59,253	40,74	27	0,59
[15-17 [	49	44	52,68	47,31	93	0,52
[17-19 [	35	34	50,72	49,27	69	0,50
[19-21 [	8	8	50	50	16	0,50

Tableau 4 : Résultats du test de comparaison (t : test de Student au seuil de 5 %) des teneurs métalliques (ppm/PF) en fonction du sexe chez la population de *Sardina pilchardus* au niveau des gonades.

Métaux	Sexe	Moyenne ± Ecart-type	P-value
Zinc	Femelles ♀	1,101±0,747	0,001
	Mâle ♂	1,51±1,07	
Plomb	Femelles ♀	0,038±0,017	0,943
	Mâle ♂	0,038±0,019	
Cuivre	Femelles ♀	0,015±0,011	0,002
	Mâle ♂	0,021±0,014	
Cadmium	Femelles ♀	0,021±0,019	0,001
	Mâle ♂	0,032±0,026	
Fer	Femelles ♀	0,585±0,294	0,439
	Mâle ♂	0,555±0,311	

Tableau 5 : Résultats du test de comparaison (t : test de Student au seuil de 5 %) des teneurs métalliques (ppm/PF) en fonction du sexe chez la population de *Sardina pilchardus* au niveau des branchies.

Métaux	Sexe	Moyenne ±Ecart-type	P-value
Zinc	Femelles ♀	0,656±0,318	0,011
	Mâle ♂	0,780±0,420	
Plomb	Femelles ♀	0,057±0,019	0,990
	Mâle ♂	0,057±0,019	
Cuivre	Femelles ♀	0,016±0,011	0,510
	Mâle ♂	0,017±0,010	
Cadmium	Femelles ♀	0,018±0,021	0,017
	Mâle ♂	0,026±0,027	
Fer	Femelles ♀	0,967±0,402	0,955
	Mâle ♂	0,971±0,446	

Tableau 6 : Résultats du test de comparaison (t : test de Student au seuil de 5 %) des teneurs métalliques (ppm/PF) en fonction des organes chez la population de *Sardina pilchardus*.

Métaux	Organes	Moyenne ± Ecart-type	P-value
Zinc	Gonades	1,287±0,929	3,5e ⁻¹⁷
	Branchies	0,713±0,373	
Plomb	Gonades	0,038±0,018	9,5e ⁻¹⁵
	Branchies	0,057±0,018	
Cuivre	Gonades	0,018±0,013	0,470
	Branchies	0,017±0,011	
Cadmium	Gonades	0,037±0,022	1,8e ^{-0,8}
	Branchies	0,022±0,024	
Fer	Gonades	0,572±0,301	1,2e ⁻²⁸
	Branchies	0,969±0,422	

Tableau 7 : Résultats de test de comparaison des teneurs métalliques (ppm/PF) entre les classes de taille (cm) chez *Sardina pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet par une analyse de la variance (ANOVA au seuil de 5%).

Gonades					
Classes de taille	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
[11-13 [	0,552±0,378	0±0	0,006±0,006	0,002±0,006	0,529±0,190
[13-15 [	1,011±0,644	0,010±0,023	0,017±0,013	0,015±0,019	0,557±0,305
[15-17 [	1,362±1,034	0,025± 0,023	0,020±0,014	0,027±0,027	0,590±0,308
[17-19 [	1,602±0,917	0,030± 0,022	0,016±0,012	0,027±0,021	0,597±0,346
[19-21 [	1,616±0,644	0,031±0,018	0,019±0,012	0,027±0,025	0,474±0,253
P-value	6,521E ⁻⁰⁸	1,39E ⁻¹¹	7,63E ⁻⁰⁶	1,039E ⁻⁰⁷	0,503
Branchies					
Classes de taille	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
[11-13 [	0,495±0,226	0±0	0,004±0,005	0,002±0,002	0,720±0,378
[13-15 [	0,677±0,407	0,011±0,019	0,015±0,012	0,012±0,020	0,883±0,463
[15-17 [	0,711±0,400	0,035±0,033	0,016±0,011	0,022±0,026	1,024±0,418
[17-19 [	0,827±0,347	0,046±0,027	0,019±0,010	0,026±0,023	1,068±0,367
[19-21 [	0,801±0,319	0,050±0,027	0,025±0,009	0,031±0,027	0,894±0,441
P-value	0,0002	1,39E ⁻¹⁶	1,94E ⁻¹²	5,013E ⁻⁰⁷	0,0003

Tableau 8 : Résultats de test de comparaison des teneurs métalliques (ppm/PF) entre les saisons chez *Sardina pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet par une analyse de la variance (ANOVA au seuil de 5%).

Gonades					
Saisons	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
Hiver	2,018±1,014	0,0344±0,014	0,029±0,013	0,042±0,025	0,381±0,191
Printemps	1,566±0,795	0,0457±0,023	0,016±0,010	0,030±0,017	0,795±0,352
Eté	0,668±0,415	0,0148±0,018	0,014±0,008	0,017±0,019	0,4661±0,14
Automne	0,774±0,514	0±0	0,007±0,007	0,003±0,003	0,644±0,282
P-value	3,753E ⁻²⁴	5,780E ⁻⁴⁸	3,795E ⁻²⁷	4,624E ⁻³²	4,518E ⁻¹⁶
Branchies					
Saisons					
Hiver	0,964±0,964	0,056±0,018	0,0272±0,011	0,0356±0,025	0,803±0,314
Printemps	0,707±0,707	0,0581±0,019	0,016±0,004	0,034±0,028	1,0921±0,338
Eté	0,53±0,53	0,021±0,033	0,011±0,007	0,007±0,011	1,033±0,470
Automne	0,585±0,585	0±0	0,008±0,008	0,004±0,004	1,006±0,481
P-value	2,661E ⁻¹²	8,832E ⁻⁵⁸	6,290E ⁻³¹	2,274E ⁻²⁴	0,0006

Tableau 9 : Résultats du test de comparaison des teneurs métalliques (ppm/PF) en fonction des mois chez *Sardina pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet par une analyse de la variance (ANOVA au seuil de 5%).

		Gonades				
Mois	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe	
Janvier	1,211±0,351	0,045±0,006	0,021±0,012	0,014±0,007	0,406±0,224	
Février	2,401±0,927	0,033±0,017	0,032±0,015	0,045±0,021	0,370±0,162	
Mars	2,118±1,103	0,029±0,013	0,031±0,011	0,054±0,023	0,377±0,201	
Avril	1,927±0,896	0,057±0,016	0,022±0,011	0,037±0,020	0,757±0,361	
Mai	1,69±0,396	0,046±0,029	0,008±0,003	0,021±0,009	0,867±0,445	
Juin	0,908±0,223	0,025±0,016	0,011±0,007	0,025±0,012	0,806±0,281	
Août	1,033±0,389	/	0,014±0,001	0,019±0,013	0,386±0,207	
Septembre	0,616±0,376	0,017±0,018	0,014±0,009	0,015±0,020	0,482±0,122	
Octobre	0,415±0,256	/	0,006±0,006	0,0007±0,001	0,551±0,172	
Novembre	0,675±0,318	/	0,002±0,003	0,002±0,001	0,493±0,213	
Décembre	1,282±0,512	/	0,020±0,044	0,007±0,002	0,917±0,258	
P-value	1,91E ⁻³⁴	1,8E ⁻⁵⁵	2,75E ⁻¹⁰	3,020E ⁻⁴²	8,460E ⁻²²	
		Branchies				
Mois	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe	
Janvier	0,806±0,325	0,057±0,019	0,035±0,011	0,017±0,011	1,047±0,390	
Février	1,048±0,362	0,056±0,014	0,026±0,014	0,039±0,020	0,866±0,235	
Mars	0,975±0,505	0,054±0,021	0,023±0,003	0,042±0,029	0,613±0,203	
Avril	0,886±0,190	0,057±0,022	0,018±0,002	0,044±0,035	1,038±0,376	
Mai	0,454±0,192	0,049±0,017	0,012±0,003	0,018±0,011	1,222±0,410	
Juin	0,588±0,229	0,065±0,011	0,015±0,006	0,029±0,015	1,094±0,190	
Août	0,778±0,379	/	0,016±0,011	0,009±0,004	1,146±0,480	
Septembre	0,480±0,170	0,014±0,030	0,010±0,005	0,006±0,012	1,011±0,473	
Octobre	0,369±0,140	/	0,006±0,006	0,0009±0,0008	0,916±0,464	
Novembre	0,538±0,242	/	0,001±0,001	0,003±0,001	0,987±0,534	
Décembre	0,879±0,294	/	0,018±0,006	0,009±0,002	1,128±0,427	
P-value	2,02E ⁻²¹	6,10E ⁻⁶⁰	9,49E ⁻⁴⁶	2,132E ⁻²⁷	9,434E ⁻⁰⁵	

Tableau 10 : Résultats du test de comparaison (t : test de Student au seuil de 5 %) du coefficient de condition K entre les deux sexes durant chaque saison de la période d'étude.

		P-value			
		Hiver	Printemps	Eté	Automne
Sexe	Saisons				
	Femelles ♀	0,472	0,549	0,218	0,392
Mâle ♂					

Tableau 11 : Corrélation de Pearson de k-moy et les différents métaux étudiés.

		Gonades				
Saison	K - moy	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
Hiver	0,79	2,018±1,014	0,0344±0,014	0,029±0,013	0,042±0,025	0,381±0,191
Printemps	0,82	1,566±0,795	0,0457±0,023	0,012±0,010	0,030±0,017	0,795±0,352
Eté	0,85	0,668±0,415	0,0148±0,018	0,014±0,008	0,017±0,019	0,4661±0,14
Automne	0,81	0,774±0,514	0	0,007±0,007	0,003±0,003	0,644±0,282
<i>r</i>		-0,776	-0,306	-0,542	-0,468	0,067
<i>p</i>		0,224	0,694	0,458	0,532	0,933
		Branchies				
Saison	K - moy	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
Hiver	0,79	0,964±0,964	0,056±0,018	0,0272±0,011	0,0356±0,025	0,803±0,314
Printemps	0,82	0,707±0,707	0,058±0,019	0,016±0,004	0,034±0,028	1,0921±0,338
Eté	0,85	0,53±0,53	0,021±0,033	0,011±0,007	0,007±0,011	1,033±0,470
Automne	0,81	0,585±0,585	0	0,008±0,008	0,004±0,004	1,006±0,481
<i>r</i>		-0,837	-0,396	-0,670	-0,600	0,665
<i>p</i>		0,163	0,604	0,330	0,400	0,335

Tableau 12 : Résultats de test de comparaison des teneurs métalliques (ppm/PF) en fonction des périodes de reproduction chez *Sardina pilchardus* pêchée au large de Ghazaouet par une analyse de la variance (ANOVA au seuil de 5%).

		Gonades				
Périodes	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe	
Prés-ponte	0,553±0,37 2	0,008±0,01 5	0,010±0,00 8	0,009±0,01 6	0,504±0,16 0	
Ponte	1,608±0,97 5	0,025±0,02 4	0,021±0,02 3	0,027±0,02 6	0,558±0,31 9	
Post-ponte	1,220±0,49 0	0,034±0,02 4	0,01±0,006	0,024±0,01 0	0,830±0,34 8	
P-value	2,37E ⁻¹⁵	4,14E ⁻⁰⁸	0,0002	9,3414E ⁻⁰⁷	1,05998E ⁻⁰⁵	
		Branchies				
Périodes	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe	
Prés-ponte	0,456±0,21 5	0,011±0,02 6	0,008±0,00 7	0,004±0,00 9	0,980±0,46 7	
Ponte	0,852±0,37 5	0,035±0,031	0,018±0,01 2	0,025±0,02 6	0,934±0,41 3	
Post-ponte	0,534±0,22 1	0,059±0,01 5	0,014±0,00 5	0,025±0,01 4	1,14±0,297	
P-value	4,12E ⁻¹⁵	1,55E ⁻¹¹	1,6216E ⁻⁰⁸	2,266E ⁻⁰⁹	0,066	

Annexe 3 : Communications





ATTESTATION

LE COMITE D'ORGANISATION ATTESTE PAR LA PRESENTE QUE

Nabila KALAKHI

a participé au 2ème Congrès international Biotechnologies au Service de la Société "Biotech2017", par une Communication Affichée intitulée :

« Bioremediation des sols contaminés par le plomb à l'aide des vers de terre (Sp) »

Co-auteur: Mohamed El Amine BENDIMERAD

Pr. Saad Ibsouda Koraichi



VALOIRE
BIO

CERTIFICATE OF ATTENDANCE



The CIBSDD 2017 organizing committee confirms the participation

of KALAKH N.

Co-authors : BENDIMERAD M.A.

With Poster Communication: BIOREMEDIATION DES SOLS CONTAMINES PAR LE PLOMB A L'AIDE
DES VERS DE TERRE (Sp).

At The First International Congress On Biotechnologies For Sustainable Development

CIBSDD 2017 BOUMERDES ALGERIA 24-25 OCTOBER

Organizing Committee Chair

Pr. SAHRI HADJOUANE

Pr. SAHRI HADJOUANE

Présidente
CIBSDD 2017





République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers



LABORATOIRE DE RECHERCHE : VALORISATION DES ACTIONS DE L'HOMME
POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET APPLICATION EN SANTÉ PUBLIQUE

ATTESTATION DE PARTICIPATION

Le Comité Scientifique du Séminaire International sur la Biodiversité, Environnement
et Santé organisé, les 21 et 22 Septembre 2021

Atteste que **KALAKHI Nabila**, a présenté une communication affichée intitulée :

«**Bio-remédiation des sols contaminés par le plomb à l'aide des vers de terre (sp).**»

Co-auteur : BENDIMERAD Mohammed EL Amine



Le Président du Comité Scientifique
Dr. BOUCHIKHI TANI Zohair

Dr. BOUCHIKHI TANI Zohair
Faculté SNV - STU
Univ. Tlemcen



Heavy metals (Zn, Cd, Cu, Pb, and Fe) assessment in sardines, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) from the Algerian west coast

Kalakhi N.¹; Bendimerad M.A.¹; Kerfouf A.^{2*}

Received: 11-09-2022

Accepted: 16-11-2022

Abstract

The sardine (*Sardina pilchardus*) is the most popular species for fishing of the Algerian coast. Five toxic metals zinc (Zn), cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb), and iron (Fe) that can affect human health are studied in this fish. Samples are collected monthly between January and December 2019 in the Ghazaouet bay. The collected samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry by sex and for two organs (gonads and gills). For all the male and female samples, Zn and Fe showed the highest values, respectively (1.00 ± 0.406 mg/kg.FW and 0.770 ± 0.28 mg/kg.FW), however the low values concern Cu (0.017 mg/kg.FW). Zn and Cd contents are higher in the gonads, and those of Fe and Pb are higher in the gills. However, Cu concentrations are similar in both organs (gonads and gills). Statistical analysis recorded a significant difference ($p < 0.05$) for all metals (Zn, Pb, Fe and Cd) except for Cu ($p > 0.05$) between the two organs. *S. pilchardus* may represent a hazard for consumers. *S. pilchardus* may represent a hazard for consumers, but a continuous monitoring of heavy metals is necessary to insure the prescribed worldwide limit.

Keywords: *Sardina pilchardus*, heavy metals, atomic absorption spectrophotometry, Ghazaouet bay, Algerian West Coast.

1-Laboratory of Valorization of Human Actions for the Environment, Protection and Application in Public Health. Abou Bakr Belkaid University, SNV / STU Faculty, B.P.119 - 13000 Tlemcen, Algeria.

2-Laboratory of Eco-development of Space. University Djillali Liabes, Sidi Bel Abbès, 22000, Algeria

*Corresponding author's E-mail: kerfoufahmed@yahoo.fr

Introduction

Coastal areas are under intense stress from toxic contaminants, anthropogenic as well as industrial (Benallal *et al.*, 2020; Kaddour *et al.*, 2021). The Algerian West Coast receives significant inputs of anthropogenic pollutants (Remili and Kerfouf, 2013; Dilem *et al.*, 2014; Guendouzi *et al.*, 2021). Few studies have been conducted on this area so far, and most of them showed contamination sediments and plants with heavy metals (Dali-youcef *et al.*, 2005; Benguedda-Rahal *et al.*, 2011). The selected locality as its proximity to Ghazaouet harbor is exposed to chemicals coming mainly from industrial activities (Benguendouz, 2017). The toxicity persistence and bioaccumulation of heavy metals have resulted in the deterioration of aquatic ecosystems (Aissaoui *et al.*, 2022). These heavy metals are concentrated in water and aquatic microorganisms, resulting in their bioaccumulation in all aquatic biological resources. The degree of accumulation in fish tissues is influenced by factors such as habitat, chemical elements present in the water, water conditions (temperature, transparency, pH and dissolved oxygen), age of fish, genus, body mass, and physiological conditions (Copat *et al.*, 2012). Contamination by heavy metals represents one of the most direct impacts on biota out of the multitude of anthropogenic disturbances in coastal and estuarine systems (Vasconcelos *et al.*, 2007).

The sardine (*Sardina pilchardus*) is the most popular species for fishing and the most consumed species by the local population. Seafood products are part of the animal protein resources and a wide variety of mineral salts, among which is sardine (*Sardina pilchardus*). This fish has a very important commercial and economic interest in Algeria (Hattab and Gaouar, 2018). The study of the discharge of metallic pollutants into the marine environment through biological material such as sardines makes it possible to evaluate the quality of the biological resources and of the marine environment. Therefore, this study aims to determine the concentrations of heavy metals in marine fish, which are common along the Algerian west coast. To assess the accumulation of heavy metals (Zn, Cd, Cu, Pb and Fe), by Clupeidae specimens (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) were sampled. These pelagic species are chosen due to their socioeconomic importance and abundance along the Algerian coastline to reflect the status of its habitat (Mehouel *et al.*, 2019).

Materials and Methods

Presentation of the study area

The Ghazaouet Bay is located in northwestern Algeria at approximately 10 km from the Moroccan border (Fig. 1). The Ghazaouet town hosts an important harbor on the coast for the entire northwestern region of Algeria. Coastal seawaters are continuously exposed to industrial, urban, and agricultural wastes, releasing huge quantities of contaminants and trace metals, especially Zn and Cd, originating from a large industrial complex of zinc electrolysis, near the harbor of Ghazaouet (Benguedda *et al.*, 2011; Belhadj *et al.*, 2017).

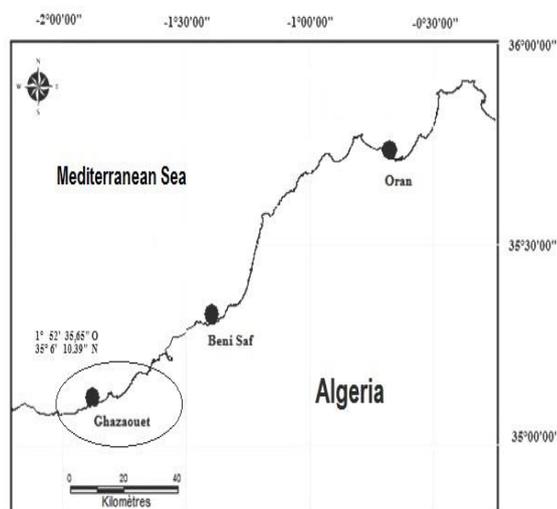


Fig. 1: Geographical location of the bay of Ghazaouet

Sampling

The sardine studied in this work comes from commercial fishing carried out at the port of Ghazaouet (N 35° 06' 00"W, 01° 52' 21"). Sampling was carried out (30 individuals/month) between January and December 2019. Due to their importance, the gonads and gills were targeted to analyze the desired metals and to determine the sex macroscopically. Out of 360 fish collected, 132 females and 111 males were macroscopically identified, however, the 117 were considered indeterminate. In order to assess the metal contents (Zn, Cd, Cu, Pb and Fe), we opted for wet mineralization because it allows us to minimize the loss of volatile organometallic compounds during drying. The method adopted is that of Amiard (1987), It

consists of depositing 1g of fresh weight of each sample in a measurement glass to which is added 1 ml of nitric acid (HNO₃) at 65% purity, then closed with help refrigerants. The apparatus is brought to a temperature of 95°C for one hour. After cooling, the mineralized is recovered in test tubes and the content is then adjusted up to 4 ml of double-distilled water. This solution is ready for assay Flame AAS Perkin Elmer: AANALYST 100 – version 1.10 5s70, fitted with H.C.L. Hollow Cathode Lamp (hollow cathode lamp), specific for each element: 0.05ppm (Zn), 0.10ppm (Pb), 0.05ppm (Cu), 0.03ppm (Cd) et 0.20ppm (Fe).

Data analysis

To compare the means of the heavy metals concentrations according to sex and organs, the Student test was used to estimate the significance of the differences between the concentrations of metal pollutants. A probability level <0.05 was considered significant. All statistical analyzes were performed with the software MINITAB for analysis and statistical treatment of the data, version 16 for Windows (2010).

Results

Overall, the study of the variation in the heavy metal contents accumulated by this species showd that their classification is presented respectively in the following order: Zn> Fe> Pb> Cd> Cu. The average concentrations were calculated relative to the fresh weight (FW) of gonads and gills, expressed in (mg/kg.W) (Tables 1, 2-3).

Table 1: Comparison of trace metals contents in the gonads by sex.

Metals	Sex	N	Mean±SD	P
Zn	♂	131	1,101±0,747	0,001*
	♀	111	1,51±1,07	
Pb	♂	66	0,038±0,017	0,943 ⁿ
	♀	69	0,038±0,019	

Cu	♀	119	0,015±0,011	0,002*
	♂	105	0,021±0,014	
Cd	♀	110	0,021±0,019	0,001*
	♂	94	0,032±0,026	
Fe	♀	132	0,585±0,294	0,439 ⁿ
	♂	111	0,555±0,311	

N: Number; M: Mean; SD: Standard Deviation; P:p-value; n: Non-significant difference; *significant difference.

Table 2: Comparison of trace metals contents in the gills by sex.

Metals	Sex	N	Mean±SD	P
Zn	♀	132	0,656±0,318	0,011*
	♂	111	0,780±0,420	
Pb	♀	64	0,057±0,019	0,990 ⁿ
	♂	62	0,057±0,019	
Cu	♀	117	0,016±0,011	0,510 ⁿ
	♂	106	0,017±0,010	
Cd	♀	114	0,018±0,021	0,017*
	♂	103	0,026±0,027	
Fe	♀	132	0,967±0,402	0,955 ⁿ
	♂	111	0,971±0,446	

N: Number; M: Mean; SD: Standard Deviation; P:p-value; n: Non-significant difference; *significant difference.

Table 3: Comparison of heavy metals contents according to the organs of all combined sexes

Metals	Organs	N	Mean±SD	P
Zn	Gonads	242	1,287±0,929	3,5e ^{-17*}
	Gills	243	0,713±0,373	
Pb	Gonads	135	0,038±0,018	9,5e ^{-15*}
	Gills	126	0,057±0,018	
Cu	Gonads	224	0,018±0,013	0,470 ⁿ
	Gills	223	0,017±0,011	
Cd	Gonads	138	0,037±0,022	1,8e ^{-0,8*}
	Gills	217	0,022±0,024	
Fe	Gonads	243	0,572±0,301	1,2e ^{-28*}
	Gills	243	0,969±0,422	

N: Number; M: Mean; SD: Standard Deviation; P:p-value; n: Non-significant difference; *significant difference.

Two factors (sex and organ) were taken into consideration to reveal their influence on the phenomenon of metallic bioaccumulation in *S. pilchardus* from Ghazaouet Bay. Zinc in male gonads present higher concentrations (1.51±1.07 mg/kg.FW) than those in females (1.1±0.74 mg/kg.FW), this metal is more

accumulated by male gills (0.78±0.42 mg/kg.FW) than in females (0.65±0.31 mg/kg.FW). Cadmium tends to accumulate in the gonads and gills of male individuals (0.032±0.026 mg/kg.FW; 0.026±0.027ppm/FW) compared to female gonads and gills (0.021±0.019; 0.018±0.021 mg/kg.FW). Iron and lead show almost identical levels in both sexes at the level of all

organs. Both sexes mark a similar value of lead for gonads (0.057 ± 0.019). The concentrations of Cu measured in the gonads show that males (0.021 ± 0.014 mg/kg.FW) are more contaminated than females (0.015 ± 0.011 mg/kg.FW). The Zn and Cd contents are higher in the gonads, but those of Fe and Pb are higher in the gills. However, Cu concentrations are similar in both organs (gonads and gills) Noting that

statistical analysis reveals a significant difference ($p < 0.05$) between the two sexes. Except in the case of lead and iron in both organs and Cu in the gills ($p > 0.05$).

The samples show that the content of the heavy metals changes by season (Figs 2, 3). The results show that the Zn contents are highest in winter (2.018 ± 1.014) and in spring (1.567 ± 0.796), in the gonads. In the gills, iron has the highest content levels in springer (1.093 ± 0.339) and summer (1.034 ± 0.470).

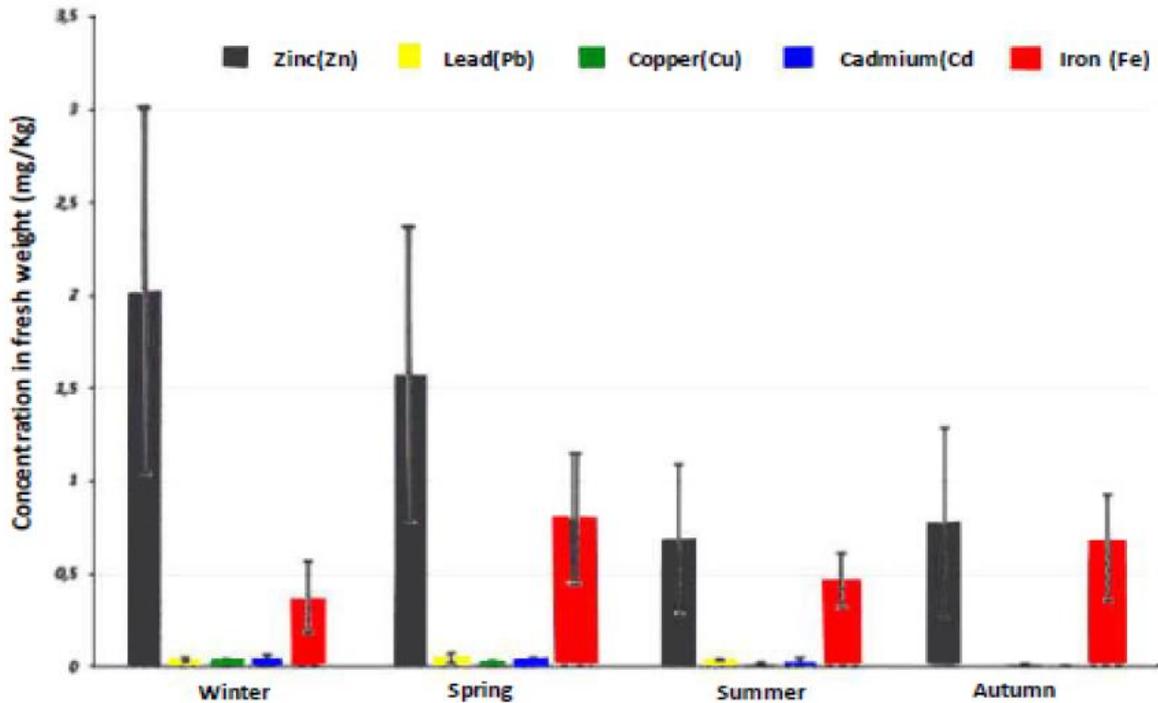


Fig. 2: Comparison by season of heavy metals levels in the gonads

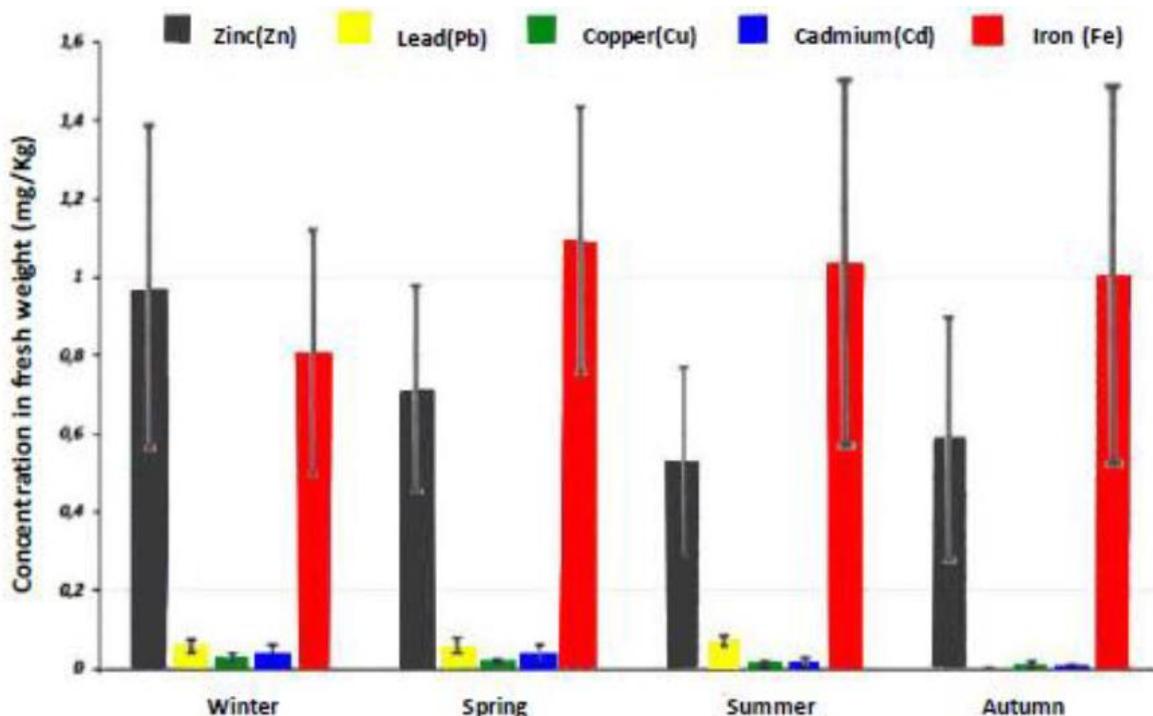


Fig. 3: Comparison by season of heavy metals levels in the gills

Discussion

The comparative analysis of the average concentrations of heavy metals in the two sexes shows that Zinc and Cadmium are bioaccumulated by male individuals than by females in all organs. Nevertheless, Iron and Lead present identical contents in both sexes at the level of all biological matrices. For Copper, the concentrations measured at the gonadal level show that males are more affected than females. On the other hand, at the level of the gills, these contents do not seem to be influenced by the sex factor. The female gonads concentrate more zinc and copper than male gonads in Flathead

grey mullet *Mugil cephalus* (Bouhadiba, 2011). Females are more infected than males, this may be due to their migration to the polluted coast compared to spawning which explains the high contamination with heavy metals via the various sources of pollution (Sidoumou *et al.*, 1991). This is probably due to the phenomenon of accumulation of nutrient reserves during vitellogenesis (Mortet, 1989). Gender is one of the predominant biological factors, partly due to the difference in growth between males and females, and partly due to the loss of contaminants caused by reproduction. Spawning leads to significant decontamination in females since from their first reproduction, a marked decrease in metal concentrations is observed (Bodiguel, 2008).

Table 4: The Mean concentration of heavy metals of different pelagic fishes (Clupeidae) from Algerian coast, Morocco and Tunisia (mean \pm standard deviation).

Zn	Cd	Cu	Pb	Fe	Organs	Authors	Area	Date
1.00 \pm 0.406	0.048 \pm 0.006	0.017 \pm 0.007	0.029 \pm 0.001	0.770 \pm 0.28	Gonads/gills <i>Sardina pilchardus</i>	Kalakhi et al.,	Bay of Ghazaouet	Present Study
/	/	/	0.21 \pm 0.45 (mg/l)	/	Flesh <i>Sardina pilchardus</i>	Merbouh	Bay of Oran	1998
/	0.019 (mg/kg fresh wt)	/	/	/	Flesh <i>Sardinella aurtia</i>	Benamar et al.,	Bay of Oran	2011
42.70 \pm 29.54 (mg.kg/g/ FW)	0.0 (mg.kg/ FW)	0.130 \pm 0.12 (mg.kg/ FW)	0.30 \pm 0.27 (mg.kg/ FW)	/	head / skeleton <i>Sardina pilchardus</i>	Ouabdesselam et al.,	Bay of Algiers	2017
19.79 \pm 4.35 (mg.kg /FW)	0.03 \pm 0.02 (mg.kg /FW)	1.31 \pm 0.40 (mg.kg/ FW)	0.05 \pm 0.02 (mg.kg/ FW)	/	Flesh <i>Sardina pilchardus</i>	Hamida et al.,	Algeria (Zemouri)	2018
35.6 \pm 4.22 (mg.kg/ WF)	0.17 \pm 0.06 (mg.kg/WF)	0.56 \pm 0.25 (mg.kg /WF)	0.16 \pm 0.25 (mg.kg /WF)	/	Flesh <i>Sardina pilchardus</i>	Ouabdesselam et al.,	Algeria (Corso)	2020
77.46 (μ g .g/DW)	0.03 (μ g. g/DW)	/	0.98 (μ g.g/DW)	/	Gills <i>Sardinella aurtia</i>	Ennourri et al.,	Gulf of Tunis	2008
97.33 \pm 28.3 (mg.kg/ DW)	0.13 \pm 0.03 (mg/kg dray wt)	0.93 \pm 0.55 (mg.kg/DW)	0.09 \pm 0.02 (mg.kg/DW)	33.91 \pm 3.26 (mg/kg dray wt)	Gills <i>Sardina pilchardus</i>	El mohrit et al.,	The southern Atlantic coast (Morocco)	2013

Similar results have already been mentioned from *Sardina pilchardus* in Algerian coast (Merbouh, 1998; Banamar et al., 2010; El mohrit et al., 2013; Hamida et al., 2018; Ouabdesselam et al., 2017 and 2020) (Table 4). Wu et al. (2007), suggest that metals are first accumulated by target provisional organs such as gills and then transferred to digestive organs such as liver, kidneys and intestines. Zinc and Copper are essential trace elements for the metabolism of fish. They can induce toxic effects by exceeding the lethal dose. Iron (Fe) is essential for cellular respiration in

animals. It is also a powerful catalyst for certain biochemical reactions, however it is toxic in high doses (Crichton et al., 2002). Lead (Pb) is classified among the most toxic metals for humans and animals (Roony and McLaren, 1999). It has no known role in biological systems (Kalay and Kanli, 2000). Cadmium has no known metabolic role and does not appear to be biologically essential or beneficial to the metabolism of living beings (Price and Morel, 1990). Metallic elements do not appear to have a single mechanism, in fact the quantity of metals transferred depends both on the irrigation of the organ considered and on the intracellular binding capacities (Boudou,

1982). According to this author the relative importance between these two parameters determine the target organs of metallic bioaccumulation.

The evaluation of metal concentrations in *Sardina pilchardus* proves the certain

presence of these pollutants in the bay of Ghazaouet. However, the sardine studied, therefore, appears to be a more or less contaminated product which could reflect the quality of the waters of the bay of Ghazaouet (Table 5).

Table 5: Comparison of heavy metal contents in *S. pilchardus* (mg/kg.F.W) compared to Maximum Admissible Doses (M.A.D).

Metals	Zn	Pb	Cu	Cd	Fe
[C] (mg/kg.FW)	1.00±0.406	0.048±0.006	0.017±0.0007	0.029±0.001	0,770±28
M.A.D. fish	30 mg/kg.FW (b)	0.5 mg/Kg FW(a)	0.5 mg/kg FW(a)	0.1 mg/kg/FW (a)	146 mg/kg FW(c)

Conclusion

The evaluation of metal concentrations in *Sardina pilchardus* shows the certain presence of these pollutants in the bay of Ghazaouet. However, gender and organ could influence metal accumulation. The sardine studied therefore appears to be a contaminated product, but the concentrations of heavy metals obtained are below compared to Maximum Admissible Doses (M.A.D). It is desirable that this study can be repeated with the study of several parameters that can influence the mechanism of bioaccumulation such as (season, growth, reproduction, etc.).

Acknowledgments

The authors would like to present their thanks to all staff of the laboratory of Valorization of Human Actions for the Environment Protection and Application in Public Health of the University of Tlemcen for their help in carrying out this study.

References

Adelakun, K.M., Ibrahim, A.O., Joshua, D.A., Adedeji, A.S., Sulyman, A. and

Ojo, S.B., 2021. Distribution of metals in *Labeo coubie* (Ruppel, 1832) from a National Park river in Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*, 25(3): 319-326. DOI:

<https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v25i3.3>

Aissioui, S, Poirier, L., Amara, R. and Ramdane, Z., 2022. Concentrations of lead, cadmium and mercury in sardines, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) from the Algerian coast and health risks for consumers. *Journal of Food Composition and Analysis*. Volume109. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104490>.
Amiard, J.C., Amiard, Triquet, J.C. and Metayer, C., 1987. Application of Zeeman Atomic Absorption Spectrophotometry to the determination of 8 trace elements (Hg, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se) in solid biological materials. *Water. Ressources.*, 21(6): 693-697.

Belhadj, H., Aubert, D. and Dali Youcef, N., 2017. Geochemistry of major and trace elements in sediments of Ghazaouet Bay (western Algeria): An assessment of metal pollution. *Comptes Rendus Geoscience*, 349 : 412–421

- Benallal, A.M., A. Baaloudj, A. Kerfouf, M.A. Bouzidi & K. Belhadj Tahar, 2020. Natural diet of deep-water rose shrimp in the Beni-Saf Bay (Western Algeria). *Ukrainian J. Ecol.*, 10 : 109-115.
- Benamar, N., 2011. Study of the biology, exploitation and contamination by toxic heavy metals of round sardinella aurita caught in the Bay of Oran. Doctorat thesis University of Oran, Faculty of Sciences, 153 p.
- Benguedda, W., Dali youcef, N. and Amara, R., 2011. Trace metals in sediments, macroalgae and benthic species from the Western part of Algerian coast. *J. Environ. Sci. Eng.* 5, 947–954.
- Benguendouz, A., Bouderouna, K., Bouterfa, A., Belabes, M., Bekada, A., Sioriki, E. and Zabetakis, I. 2017. Fatty acid profile and assessment of heavy metals content of *Sardina pilchardus* captured in the Algerian coast. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(3): 1201-1029.
- Bodiguel, X., Tronczynski, J., Loizeau, V., Munsch, C., Guiot, N., Le Guellec, A.M., Oliver, N., Roupsard, F., and Mellon, C., 2008. Classical and novel organohalogen compounds (PCBs and PBDEs) in hake (*M. merluccius*, L) from Mediterranean and Atlantic coasts (France). *Environement Toxicology*. Witt Press ; 57-167.
- Boudou, A., 1982. Research in experimental eco-toxicology on the processes of bioaccumulation and transfer of mercury derivatives. PhD thesis, University of Bordeaux 1, 297 p.
- Bouhadiba, Chenait, S., 2011. Assessment of the concentrations of the four heavy metals (Pb, Cd, Cu, Zn) in the Flathead grey mullet (*Mugil cephalus*, Linné 1758) caught in the bays of Oran and Béni Saf. PhD thesis, Oran University, Algeria, 144 p.
- Copat, C., Bella, M., Castaing, R., Fallico, S., Sciacca, S. and Ferrante, M. 2012. Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.*, 88: 78-83. DOI :10.1007/s00128-011-0433-6
- Crichton, R.R., Wilmet, S., Legseyer, R. and Ward, R.J. 2002. Molecular and cellular mechanisms of iron. Homeostasis and toxicity in mammalian cells. *Journal of Inorganic Biochemistry.*, 91(1): 9-18. DOI : 10.1016/S0162-0134(02)00461-0
- Dali-youcef, N., Ouddane, B. and Derriche, Z. 2005. Metals found in superficial sediments of the Tafna River and its estuary in north-western Algeria. *Fresenius Environ. Bull.* 14, 753–763.
- Dilem, Y., Bendraoua, A. and Kerfouf, A. 2014. Assessment of the Physico-Chemical Quality and the Level of Metallic Contamination of the Dismissals of Sloppy Waters of Oran (Algerian West Coastline). *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 124-130.
- El Mohrit, M. 2009. Hydrochemistry, trace metal elements and ecotoxicological impacts on the different components of an estuarine ecosystem (Bas Loukkos). PhD thesis, V-Agdal University, Rabat, 260 p.
- El Morhit, M., Belghity, D., and El Morhit, A. 2013. Metallic contamination of *Pagellus acarne*, *Sardina piichardus* and *Diplodus vulgaris* from the south Atlantic coast (Morocco). *Larhyss Journal.*, 14: 131-148.
- Ennourri, R., Chouba, L., and Kraiem,

- M.M., 2008. Evaluation de la contamination chimique par les métaux traces (Cd, Pb, Hg, Zn) du zooplancton et la sardinelle (*Sardinella aurita*) dans le golfe de Tunis. Bull. Inst. Natio. Scien. Tech. Mer de salammbo, Vol. 35.
- Guendouzi Y., Boulahdid M., Rouane Hacene O., Inal A., Boudjellal B., and Fowler S.W. 2021. Contamination level and ecological risk assessment of particulate trace metals in SouthwesternSouthwestern Mediterranean Sea. *Regional Studies in Marine Science* 46, 101876.
- Gure, A., Kedir, K., and Abduro, F. 2019. Heavy metal concentrations in fish tissues from Gilgel Gibe (I) Hydroelectric Dam Reservoir, Ethiopia. *Journal Applied Sciences Environment Management.*, 23(8): 1411-1416. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v23i8.1>
- Hattab, M., and Gaouar, S.B.S. 2018. Morphometric characterization and identification of sardines at the Ghazaouet station and Béni-Saf bay. *Genetics and Biodiversity Journal*, 2(2); 33-40
- Hamida, S., Ouabdesslam, L., Ladjel, A. F., Escudero M., and Anzano, J., 2018. Determination of Cadmium, Copper, Lead, and Zinc in *Sardina pilchardus* from the Bay of Boumerdés by Atomic Absorption Spectrometry, *Analytical Letters*. DOI: 10.1080/00032719.2018.1434537
- Hussein Kehinde, O., Oluyinka Ajibola, I., Isaac, S., and Segun, O. 2019. Determination of heavy metal genotoxicity and their accumulation pattern in different fish organs of delected fish species collected from the Asa River, Ilorin, Kwara State, Nigeria. *Journal Applied Sciences Environmental Management*, 20(3): 735-745. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v20i3.28>
- Kaddour, A., Belhoucine, F. and Alioua A. 2021. Integrated use of condition indexes, genotoxic and cytotoxic biomarkers for assessing pollution effects in fish (*Mullus barbatus* L., 1758) on the West coast of Algeria. *South Asian J Exp Biol*, 11(3): 287-299; DOI: 10.38150/sajeb.11(3).
- Kalay, M., and Kanli, M. 2000. Elimination of essential (Cu, Zn) and nonessential (Cd, Pb) metals from tissues of a freshwater fish *Tilapia zillii* following an uptake protocol. *Turkish. Journal of Biology.*, 24: 429-436.
- Mehouel, F., Bouayad, L., Hammoudi, A.H., Ayadi, O., and Regad, F. 2019. Evaluation of the heavy metals (mercury, lead, and cadmium) contamination of Sardine (*Sardina pilchardus*) and Swordfish (*Xiphias gladius*) fished in three Algerian coasts. *Veterinary World.*, 12(1): 7-11. DOI : 10.14202/vetworld.2019.7-11
- Merbouh, N., 1988. Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn) d'un poisson pélagique, la sardine (*Sardina pichardus*, Walbaum, 1792), pêché dans la baie d'Oran. Thesis of Magister, ISMAL (Algiers): 139p.
- Mortet, Y., 1989. Contribution to the study of the sexual cycle and fecundity of sardinella *Sardinella aurita*, in the bay of Oran. Graduate Diploma (DES), University of Oran, 80p.
- Ouabdesselam, L., Kechidi, S., Aoulmi, F., and Boudriche, L. 2017. Search for heavy trace metals in species *Sardina pilchardus* at the bay of Algiers. *World Journal of Engineering Research and Technology.*, 3(3): 1-11.

- Ouabdesselam, L., Sayad, A., Dilmi, R., and Boudriche, L. 2020. Assessment of Heavy Metal Contamination levels in fishes from the Mediterranean Sea. *EC Nutrition.*, 15(12): 30-39.
- Price, N.M., and Morel, F.M.N. 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature.*, 344(6267): 658-660 . DOI : 10.1038/344658a0
- Remili, S., and Kerfouf, A. 2013. Evaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral ouest algérien). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, volume VII:165 -182.
- Roony, C.P., and McLaren, R.G. 1999. Distribution and phytoavailability of lead in soil contaminated with lead shot. *Water, Air and Soil.*, 11: 535-548.
- Vasconcelos, R.P., Reis-Santos, P., Fonseca, V., Maia, A., Ruano, M., França, S., Vinagre, C., Costa, M.J., and Cabral, H. 2007. Assessing anthropogenic pressures on estuarine fish nurseries along the Portuguese coast: a multi-metric index and conceptual approach. *Sci. Total Environ.*, 374(2-3): 199-215.
- Wu, S.M., Shih, M.J., Ho, Y.C. 2007. Toxicological response and cadmium distribution in Hybrid tilapia (*Oreochromis* spp.) on cadmium exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C.*, 145: 218-226. DOI: 10.1016/j.cbpc.2006.12.0

Résumé

En raison de la complexité de leurs impacts sur la vie aquatique en général, l'étude de la pollution métallique a fait l'objet de nombreux travaux dans le monde. L'objectif de cette étude est d'évaluer les concentrations des métaux dosés chez la Sardine dans les organes accumulateurs ciblés (Gonades et branchies) et voir la possibilité de l'utilisation de cette espèce comme bio-indicatrice. La Sardine étudiée provient des débarquements commerciaux du port de pêche de la ville de Ghazaouet. L'échantillonnage mensuel s'est étalé sur une période d'une année (de janvier à décembre 2017). Pour chaque spécimen, des mensurations (taille /poids) ont été réalisées. Les concentrations métalliques déterminées après une minéralisation (Voie humide) et par la suite Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme indiquent une contamination certaine de la baie de Ghazaouet par ces xénobiotiques. Les plus fortes valeurs sont celles du Zinc, du Fer suivi du Plomb, du Cadmium et du Cuivre qui sont des concentrations moins importantes. Les résultats obtenus témoignent l'accumulation des métaux étudiés chez la sardine reste avec un taux tolérable. Après traitement statistique, il apparaît que Cette bioaccumulation peut être influencée par plusieurs facteurs pris en considération (Sexe, organe, taille, saison, condition et cycle reproductif).

Mots clés: *Saridna pilchardus*, Pollution , Métaux lourds , Baie de Ghazaouet.

Abstract

Due to the complexity of their impacts on aquatic life in general, the study of metal pollution has been the subject of much work worldwide. The objective of this study is to assess the concentrations of measured metals in Sardine in the target accumulating organs (Gonads and gills) and see the possibility of the use of this species as a bio-indicator. The Sardine studied comes from commercial landings at the fishing port of the city of Ghazaouet. Monthly sampling took place over a one-year period (January to December 2017). For each specimen, measurements (size/weight) were made. The metal concentrations determined after mineralization (Wet) and subsequently Flame Atomic Absorption Spectrophotometry indicate certain contamination of Ghazaouet Bay by these xenobiotics. The highest values are Zinc, Iron followed by Lead, Cadmium and Copper, which are lower concentrations. The results obtained show that the accumulation of the metals studied in sardines remains at a tolerable rate. After statistical treatment, it appears that this bioaccumulation may be influenced by several factors taken into account (sex, size, organ, season, condition, and reproductive cycle).

Keywords: *Saridna pilchardus*, Pollution, Heavy metals, Bay of Ghazaouet.

المخلص

الكثير من الدراسات عبر العالم تناولت التلوث البحري بالمعادن كموضوع نظرا لتأثيراته على الحياة في الوسط المائي بصفة عامة. وعليه فان الهدف من هذه الدراسة هو اولا تقييم تركيزات المعادن الثقيلة في سمك السردين المجمعة في الاعضاء المستهدفة (الغدد التناسلية والخياشيم) و ثانيا تحديد إمكانية استخدام هذا النوع كمؤشر حيوي. تم أخذ عينات شهرية على مدى سنة واحدة (من يناير إلى ديسمبر 2017) من ميناء الصيد في مدينة غزاوات. وبالنسبة لكل عينة، تم قياس مختلف الاوزان و الأطوال.

تشير التركيزات المعدنية التي تم تحديدها إلى تلوث المؤكد لخليج غزاوات بهذه المواد و تبين النتائج المحصل عليها ان التركيز العلى يخص الزنك و الحديد اما المعادن الثلاث الرصاص الكاديوم و النحاس فان نسبة تركيزها ضئيلة. بعد التحليل الإحصائي، يبدو أن هذا التراكم الأحيائي يتأثر بعدة عوامل تؤخذ في الاعتبار و أن المعادن التي تمت دراستها في السردين يظل بمعدل يمكن تحمله (الجنس، العضو، الطول، الفصل، دورة التكاثر).

الكلمات الرئيسية: *Saridna pilchardus*، التلوث ، المعادن الثقيلة ، خليج الغزاوات .

