

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID, TLEMCEM.
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE et ENVIRONNEMENT



Laboratoire de recherche : « Valorisation des actions de l'Homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique (VAHPEASP) »



THESE

*En vue de l'obtention du diplôme de **Doctorat LMD***

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Ecologie animale

Présentée par : Mr CHERIF Mohamed

THEME

Evaluation de l'accumulation métallique du Pb, Zn, Cu et Cd chez un carangidé *Trachurus trachurus* (Linné, 1758) sur le littoral extrême ouest algérien

Soutenue le :

Mr BOUCHIKHI TANI ZOHEIR
Mme BENGUEDDA-RAHAL Wacila
Mr BENDIMERAD Mohamed EL Amine
Mme BELHOUCINE Fatma
Mme HADDOU Aouicha

devant le jury composé de :

Pr (Univ.Tlemcen)	Président
MCA (Univ.Tlemcen)	Directrice de thèse
MCA (Univ.Tlemcen)	Examineur
Pr (Univ.USTO/MB-Oran)	Examinatrice
Pr (Univ.Oran1)	Examinatrice

Année Universitaire 2023/2024

Tout d'abord, je tiens à remercier le Bon Dieu le tout Puissant de m'avoir donné la force et le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

À mes chers grands- parents qui nous ont quittés mais qui sont toujours présents dans nos cœurs, que Dieu le Tout Puissant leur accorde Son infinie Miséricorde et les accueille dans Son vaste Paradis,

À ma chère sœur Amina et à mon cher frère Mohamed pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,

À mon grand amour, ma chère épouse Sanaa pour son soutien indéfectible et qui par sa présence j'acquière une force et un amour sans limites

À la prunelle de mes yeux, mon adorable fille Leila,

À mes chers neveux Mohamed Ilyes et Lilya

À toute ma famille, mes amis et à toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Mohamed

Remerciements

La thèse, tel un long voyage est une expérience de plusieurs années avec des hauts et des bas, de riches relations humaines et surtout des moments de satisfaction. À travers ces lignes, je souhaite remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont aidé pendant l'élaboration de ma thèse.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de Laboratoire de recherche : « Valorisation des actions de l'Homme pour la protection de l'environnement et application en santé publique (VAHPEASP)

Je tiens à remercier vivement les Professeurs K. Abdellaoui et Z. Bouchikfi respectivement ancien et nouveau Directeurs du (VAHPEASP) pour m'avoir accueilli au sein de ce laboratoire,

J'exprime ma profonde gratitude à Madame W. Bengueda, Maître de Conférences A à l'Université de Tlemcen, pour son encadrement, son soutien, sa gentillesse, sa grande disponibilité et pour les nombreux conseils qu'elle m'a donnés. Je tiens également à la remercier pour la confiance qu'elle m'a témoignée en me donnant une liberté d'action dans la réalisation de ce travail. Merci pour tout,

Je suis extrêmement honoré que Monsieur Z. bouchikfi, Professeur à l'Université de Tlemcen, ait accepté de présider le jury de cette thèse,

Mes plus vifs remerciements vont à Monsieur M. Bendimerad Maître de conférence à l'Université de Tlemcen qui a bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail,

Je tiens à remercier vivement Madame F. Belhoucine Professeur à l'université USTO et Madame A. Haddou Maître de conférence à l'université d'Oran, qui ont bien voulu me faire l'honneur de juger ce travail,

Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers pour leurs encouragements qui m'ont accompagné tout au long de ces années. Je suis redevable à ma famille, pour leur soutien moral et matériel, leurs encouragements et pour leur confiance indéfectible dans mes choix,

Sommaire

I -Introduction générale	1
II -Synthèse Bibliographique	5
Partie I : Généralités sur la pollution marine.....	6
1-Pollution marine	6
2-Pollution par les métaux lourds.....	7
3-Bioaccumulation des métaux lourds.....	7
4-Métaux en milieu marin.....	8
5-Métaux lourds étudiés	10
5-1-Le Cuivre.....	10
a-Sources naturelle et anthropique	10
b-Comportement dans l'eau.....	10
c-Bioaccumulation.....	11
d-Toxicité.....	11
5-2-Le Cadmium.....	11
a-Sources naturelle et anthropique.....	11
b-Comportement dans l'eau.....	12
c-Bioaccumulation.....	12
d-Toxicité.....	13
5-3-Zinc.....	13
a-Sources naturelle et anthropique.....	13
b-Comportement dans l'eau.....	14
c-Bioaccumulation.....	14
d-Toxicité.....	15
5-1-Plomb.....	15
a-Sources naturelle et anthropique	16
b-Comportement dans l'eau.....	16
c-Bioaccumulation.....	17
d-Toxicité.....	18
Partie II : Présentation du modèle biologique.....	19
1-Morphologie externe de l'espèce.....	19
2-Position systématique du <i>Trachurus trachurus</i>	23
3-Biologie de l'espèce.....	23
3-1-Cycle de vie.....	23
3-2-Appareil reproducteur gonade.....	24
3-3-La Spermatogénèse.....	24
3-4-La Spermiation.....	27
3-5-Ovogenèse.....	27
a-Prévitellogenèse.....	27

b-Vitellogenèse.....	27
c-Ponte.....	28
d-Post ponte.....	28
3-6-Fécondité.....	29
3-7-Respiration.....	30
3-8-Anatomie interne.....	30
a- Squelette.....	32
4-Ecologie de l'espèce.....	34
4-1-Répartition et écologie.....	34
4-2- Migration.....	35
5- Régime alimentaire.....	37
6- Pêche de la saurel.....	38
Partie III : Description et caractérisation des sites d'étude.....	39
1- La méditerranée.....	39
2- Site de Ghazaouet.....	41
2-1-Hydrologie.....	42
2-2-Climatologie.....	42
2-3-Sédimentologie.....	42
2-4-Courantologie.....	43
2-5-Rejets urbains et leurs apports au milieu marin.....	44
2-6-Rejets atmosphériques.....	45
2-7-Chronologie des pratiques à ALZINC.....	46
3-Site de Béni Saf.....	46
III- Matériel et méthode.....	48
1-Intérêt du matériel biologique choisi.....	49
2-Echantillonnage.....	49
3-Mensuration et pesées.....	49
4-Dissection et conservation des organes cibles.....	49
5-Méthode de minéralisation.....	50
5-1 Minéralisation par voie humide.....	50
6-Analyse chimique par la Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) à Flamme.....	53
6-1-Principe de la SAA.....	53
6-2-Etalonnage.....	55
IV- Résultats et discussion.....	57
1-Analyse biométrique.....	58
2- Rapport gonado somatique.....	61
3-Contamination par les métaux lourds.....	63
4-Variations mensuelles des concentrations moyennes en métaux lourds.....	67
4-1-Zinc.....	67

4-2-Cuivre.....	70
4-3-Plomb.....	72
4-4-Cadmium.....	75
5- Variations des concentrations moyennes en métaux lourds en fonction des saisons.....	77
5-1-Zinc.....	77
5-1-1-Ghazaouet.....	77
5-1-2-Beni Saf.....	79
5-2-Cuivre.....	81
5-2-1-Ghazaouet.....	81
5-2-2-Beni Saf.....	82
5-3-Plomb.....	84
5-3-1-Ghazaouet.....	84
5-3-2-Bénisaf.....	86
5-4- Cadmium.....	87
5-4-1-Ghazaouet.....	87
5-4-2 Beni Saf.....	89
6-Variations des concentrations moyennes en métaux lourds en fonction des classes de taille.....	91
6-1-Ghazaouet.....	91
6-1-1-Zinc.....	91
a-Filet.....	92
b-Gonades.....	92
6-1-2-Cuivre.....	92
a-Filet.....	93
b-Gonades.....	93
6-1-3- Plomb.....	94
a-Filet.....	94
b-Gonades.....	94
6-1-4-Cadmium.....	94
a-Filet.....	95
b-Gonades.....	95
6-2-Bénisaf.....	96
6-2-1-Zinc.....	96
a-Filet.....	97
b-Gonades.....	97
6-2-2-Cuivre.....	97
a-Filet.....	98
b-Gonades.....	98
6-2-3-Plomb.....	99
a-Filet.....	99
b-Gonades.....	99
6-2-4-Cadmium.....	100
a-Filet.....	100
b-Gonades.....	100

7-Situation du niveau de la contamination métallique de Trachurus trachurus par rapport aux doses maximales admissibles(D.M.A).....	101
8-Comparaison des résultats avec ceux de la littérature.....	102
V- Conclusion générale et recommandations	105
VI- Références bibliographiques	110

Liste des Figures

Figure 01: Origine de la pollution littorale (Cedre 2008)	6
Figure 02 : Circulation des polluants dans la chaîne trophique.....	8
Figure 03 : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds (Miquel, 2001).....	9
Figure 04: Bouche protractile protractée (F.A.O., 1988).....	19
Figure 05 : Photographies de trois espèces du genre <i>Trachurus</i> en Méditerranée. (PATZNER, 1999)....	22
Figure 06 : Caractères distinctifs du <i>Trachurus trachurus</i> (Ouali et Rahal, 2013).....	23
Figure 07 : Anatomie interne de <i>Trachurus trachurus</i> (Letaconnoux, 1951).....	31
Figure 08 : Aspect de la vessie natatoire artificiellement gonflée (Letaconnoux, 1951).....	32
Figure 09 : Crane du chinchard, (a) : vue latérale, (b) : vue dorsale (Letaconnoux, 1951).....	33
Figure 10 : Schéma montrant les différentes strates de la colonne d'eau (source : Ifremer).....	34
Figure 11 : Carte montrant la répartition géographique du Saurel <i>T.trachurus</i> (FAO 2019).....	35
Figure 12 : Capture et production globale en tonne de <i>Trachurus trachurus</i> (FAO,2018).....	39
Figure 13 : Position géographique de Ghazaouet et Bénisaf (Atlas, Encarta 2008)	40
Figure 14 : Nature du sédiment marin. (Leclair 1972).....	43
Figure 15: Circulation générale du courant de la mer Méditerranée(Millot and Taupier-Letage 2005).....	44
Figure. 16 : Localisation géographique de la zone d'étude (Béni saf) (Seddikioui, 2011)	46
Figure 17 : Minéralisation par voie humide	51
Figure18 : Protocole de minéralisation et de dosage en Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (Amiard, Pineau <i>et al.</i> 1987)	52
Figure 19 : Appareil de spectrométrie atomique de Marque : PERKIN ELMER INSTRUMER ANALYST 300	54
Figure 20 : Lampe de type HCL pour le Cr, Zn, Cd, Pb, et le A.....	54
Figure 21 : Courbe d'étalonnage du Zinc	55
Figure 22 : Courbe d'étalonnage du Cadmium.....	55
Figure 23 : Courbe d'étalonnage du Cuivre	56
Figure 24 : Courbe d'étalonnage du Plomb.....	56
Figure 25 : Croissance pondérale des <i>Trachurus trachurus</i> échantillonnés dans la zone de Ghazaouet.....	59
Figure 26 : Croissance pondérale des <i>Trachurus trachurus</i> échantillonnés dans la zone de Bénisaf.....	59

Figure 27 : Variations mensuelles du RGS chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la région de Ghazaouet pendant l'année 2018.....	62
Figure 28 : Variations mensuelles du RGS chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la région de Béni Saf pendant l'année 2018.....	62
Figure 29 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de filet de la station de Ghazaouet.....	65
Figure 30 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de Gonades de la station de Ghazaouet.....	65
Figure 31 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de filet de la station de Béni Saf.....	66
Figure 32 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de Gonades de la station de Béni Saf.....	66
Figure 33 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Zinc en mg/kg de poids frais chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Ghazaouet.....	68
Figure 34 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Zinc en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Béni Saf.....	69
Figure 35 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Cuivre en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Ghazaouet.....	71
Figure 36 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Cuivre en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Béni Saf.....	72
Figure 37 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes du Plomb en mg/kg en poids frais au niveau du filet et les gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Ghazaouet.....	73
Figure 38 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Plomb en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Béni Saf.....	74
Figure 39 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Cadmium en mg/kg de poids frais au niveau du filet et les gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Ghazaouet.....	76
Figure 40 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes du Cadmium en mg/kg chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la station de Béni Saf.....	77
Figure 41 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Ghazaouet.....	78
Figure 42 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Béni Saf.....	80

Figure 43 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Cu en ppm/P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Ghazaouet.....	81
Figure 44 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Cu en ppm/P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Béni Saf.....	83
Figure 45 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Ghazaouet.....	85
Figure 46 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Benisaf.....	86
Figure 47 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Pb en ppm/P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Ghazaouet.....	88
Figure 48 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Cadmium en ppm/P.F chez <i>Trachurus trachurus</i> région de Benisaf.....	90
Figure 49 : Variation des concentrations moyennes en Zn en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Ghazaouet.....	91
Figure 50 : Variation des concentrations moyennes en Cu en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Ghazaouet.....	93
Figure 51 : Variation des concentrations moyennes en Pb en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Ghazaouet.....	94
Figure 52 : Variation des concentrations moyennes en Cd en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Ghazaouet.....	95
Figure 53 : Figure Variation des concentrations moyennes en Zn en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Bénisaf.....	96
Figure 54 : Figure Variation des concentrations moyennes en Cu en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Bénisaf.....	98
Figure 55 : Figure Variation des concentrations moyennes en Pb en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Bénisaf.....	99
Figure 56 : Figure Variation des concentrations moyennes en Cd en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de <i>Trachurus Trachurus</i> région de Bénisaf.....	100

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractères morphologiques des trois espèces du genre <i>Trachurus</i> (FAO, 1987).....	21
Tableau 02 : Echelle macroscopique des stades de maturité sexuelle chez les mâles et femelles chez les petits pélagiques notamment <i>Trachurs trachurus</i> (Handjar, 2019).....	29
Tableau 03 : Composition du régime alimentaire du <i>Trachurus trachurus</i> (RAHMANI and KOUDACHE 2019).....	37
Tableau 04 : Géopolitique de la Méditerranée (RAHMANI et al, 2010).....	40
Tableau 05 : Rejets de métaux lourds d'origine domestique à Ghazaouet (M.A.T.E, 2007).....	45
Tableau 06 : Comparaison des paramètres de la relation taille-poids du <i>Trachurus trachurus</i> avec les résultats d'autres auteurs.....	60
Tableau 07 : Concentrations moyennes annuelles des métaux lourds en mg/Kg de poids frais (PF) dans le Filet et les Gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> pêché dans le golf de Ghazaouet.....	64
Tableau 08 : Concentrations moyennes des métaux lourds en mg/Kg de poids frais dans le Filet et les Gonades chez <i>Trachurus trachurus</i> pêché dans la baie de Beni Saf.....	66
Tableau 09 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Zinc en mg/Kg de poids frais dans les filets et les gonades du <i>Trachurus trachurus</i> dans les deux stations Ghazaouet et BéniSaf.....	67
Tableau 10 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cuivre en mg/Kg de poids frais au niveau du filet et les gonades du <i>Trachurus trachurus</i> dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf.....	70
Tableau 11 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Plomb en mg/Kg de Poids frais dans les filets et les gonades du <i>Trachurus trachurus</i> dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf.....	73
Tableau 12 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cadmium en mg/Kg de poids frais dans les filets et les gonades du <i>Trachurus trachurus</i> dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf.....	75
Tableau 13 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Ghazaouet.....	78
Tableau 14 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Béni Saf.....	79
Tableau 15 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Cu en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Ghazaouet.....	81

Tableau 16 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Cu en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Béni Saf.....	82
Tableau 17 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Ghazaouet.....	84
Tableau 18 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Bénisaf.....	86
Tableau 19 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Ghazaouet.....	88
Tableau 20 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Cadmium en ppm/ P.F dans les organes du <i>Trachurus trachurus</i> Région de Benisaf.....	89
Tableau 21 : Variation des concentrations moyennes en Zinc, Cuivre, Plomb et Cadmium (moyennes \pm écart type ppm P.F) au niveau du filet et les gonades en fonction des classes de taille chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la région de Ghazaouet.....	91
Tableau 22 : Variation des concentrations moyennes en Zinc, Cuivre, Plomb et Cadmium (moyennes \pm écart type ppm P.F) au niveau du filet et les gonades en fonction des classes de taille chez <i>Trachurus trachurus</i> dans la région de Bénisaf.....	96
Tableau 23 : comparaison des concentrations globales de métaux lourds dans les gonades et les filets de <i>Trachurus trachurus</i> collectées dans la baie de Ghazaouet et Bénisaf avec la DMA.....	101
Tableau 24 : La comparaison des concentrations globales de métaux lourds dans les muscles de <i>T. trachurus</i> collectés dans la baie de Ghazaouet et la baie de Beni Saf (côte ouest de la Méditerranée algérienne) avec d'autres études.....	103
Tableau 25 : Comparaison des concentrations globales de métaux lourds dans les gonades de <i>T. trachurus</i> collectées dans la baie de Ghazaouet et la baie de Beni Saf (côte ouest de la Méditerranée algérienne) avec d'autres études.....	105

Résumé

L'objectif de notre étude consiste à procéder à une évaluation de la contamination marine du littoral extrême ouest algérien par des métaux lourds, notamment le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le cadmium (Cd) et le plomb (Pb), en utilisant le poisson osseux *Trachurus trachurus* (L., 1758) comme bioindicateur. Ce dernier est pêché dans les baies de Ghazaouet et de Bénisaf. Cette espèce aquatique est un reflet fidèle de la qualité environnementale de son habitat, étant une espèce répandue dans les eaux côtières algériennes et très prisée par une population importante d'ichtyophages. La collecte d'échantillons a été effectuée mensuellement sur une période d'un an, de janvier à décembre 2018. En raison de leur pertinence, les filets et les gonades ont été sélectionnés comme organes cibles. Les concentrations en métaux ont été évaluées après minéralisation par voie humide, en utilisant la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme, en tenant compte de trois variables : le mois, la saison et la taille des individus échantillonnés. Le suivi mensuel de l'évolution du rapport gonado-somatique (R.G.S), révèle que la période de ponte se situe entre le mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois de Novembre. Les résultats de notre recherche indiquent que le chinchard (*T. trachurus*) est contaminé par les quatre métaux polluants étudiés. Dans la baie de Ghazaouet, les concentrations décroissantes sont les suivantes : dans le filet ; $Zn > Cd > Pb > Cu$, et dans les gonades : $Zn > Cd > Cu > Pb$. En revanche, dans la région de Béni Saf, l'ordre des concentrations est : $Zn > Cd > Pb > Cu$ pour les deux organes (filet et gonades). Les concentrations moyennes des métaux lourds zinc et cuivre dans le filet de *Trachurus trachurus* (L.,1758) dans les deux sites étudiés sont inférieurs à celle rapportées dans la littérature pour les doses maximales admissibles (DMA), tandis que les concentrations moyennes en plomb et en cadmium dépassent celles des DMA. Ces niveaux de concentration des métaux toxiques témoignent d'une pollution avérée dans le littoral extrême-ouest algérien, en particulier aux deux stations étudiées, Ghazaouet et BéniSaf.

Mots clés : *Trachurus trachurus*, pollution marine, littoral extrême ouest algérien, métaux lourds (Cd, Cu, Zn, Pb), filet, gonades, RGS, contamination.

Abstract

The objective of our study is to assess marine contamination along the extreme western Algerian coast by heavy metals, namely zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd), and lead (Pb), using the bony fish *Trachurus trachurus* (L., 1758) as a bioindicator. This species is caught in the bays of Ghazaouet and Bénisaf. This aquatic species serves as a faithful reflection of the environmental quality of its habitat, being a common species in Algerian coastal waters and highly prized by a significant population of fish consumers. Sampling was conducted monthly over a one-year period from January to December 2018. Due to their relevance, fillets and gonads were selected as target organs. Metal concentrations were assessed after wet mineralization, using flame atomic absorption spectrophotometry, considering three variables: month, season, and size of sampled individuals. Monthly monitoring of gonadosomatic index (GSI) evolution revealed that the spawning period occurs between June and continues until November. Our research results indicate that the horse mackerel (*T. trachurus*) is contaminated by the four studied metal pollutants. In the bay of Ghazaouet, the decreasing concentrations are as follows: in the fillet; $Zn > Cd > Pb > Cu$, and in the gonads: $Zn > Cd > Cu > Pb$. Conversely, in the Béni Saf region, the concentration order is: $Zn > Cd > Pb > Cu$ for both organs (fillet and gonads). The average concentrations of the heavy metals zinc and copper in the fillet of *Trachurus trachurus* (L.,1758) in the two study sites are lower than those reported in the literature recommended value (DMA), while the average concentrations of lead and cadmium exceed the recommended value levels (DMA). These levels of toxic metal concentration indicate confirmed pollution in the extreme western Algerian coast, particularly at the two studied stations, Ghazaouet and BéniSaf.

Keywords : *Trachurus trachurus*, marine pollution, extreme western Algerian coast, heavy metals (Cd, Cu, Zn, Pb), fillet, gonads, GSI, contamination.

ملخص

يهدف بحثنا إلى تقييم التلوث البحري على طول الساحل الجنوبي الغربي للجزائر بواسطة المعادن الثقيلة، بما في ذلك الزنك، والنحاس، والكاديوم، والرصاص، باستخدام سمك الشنشور (*Trachurus trachurus* (L., 1758)) كمؤشر حيوي. يتم صيد هذا النوع من الأسماك في خليج غزاوت وخليج بني صاف. يُعتبر هذا النوع المائي مرآة دقيقة للتلوث، حيث يُعتبر من الأنواع الشائعة في المياه الساحلية الجزائرية ومحل تقدير كبير من قبل جماعة كبيرة من مستهلكي الأسماك. تم جمع العينات شهرياً على مدى سنة واحدة من يناير إلى ديسمبر 2018. نظراً لأهميتها، تم اختيار الفيليهات والغدد التناسلية كأعضاء هدف. تم تقييم تراكيز المعادن بعد التعدين الرطب باستخدام طيف الامتصاص الذري اللهي، مع مراعاة ثلاث متغيرات: الشهر، والفصل، وحجم الأفراد المعاينة. أظهر المتابعة الشهرية لتطور معامل النسبة بين الغدد التناسلية والجسم (RGS) أن فترة التعشيش تقع بين يونيو وتستمر حتى نوفمبر. تشير نتائج بحثنا إلى أن سمك الشنشور (*T. trachurus*) ملوث بالمعادن الثقيلة الأربعة المدروسة. في خليج غزاوت، فإن التراكيز المنخفضة هي كما يلي: في الفيليه؛ $Zn > Cd > Pb > Cu$ ، وفي الغدد التناسلية. $Zn > Cd > Cu > Pb$: وعلى الجانب الآخر، في منطقة بني صاف، ترتيب التراكيز هو $Zn > Cd > Pb > Cu$ لكل من الأعضاء (الفيليه والغدد التناسلية). تكون التراكيز المتوسطة للزنك والنحاس من المعادن الثقيلة في الفيليه من سمك الشنشور (*T. trachurus* (L., 1758)) في المواقع الدراسية الاثنتين أقل من تلك التي تم الإبلاغ عنها في الأدبيات للجرعات القصوى المسموح بها (DMA)، بينما تتجاوز التراكيز المتوسطة للرصاص والكاديوم تلك المستويات. تشير هذه المستويات من تركيز المعادن السامة إلى تلوث مؤكد في الساحل الغربي للجزائر، خاصة في الجهتين المدروسين، غزاوت وبني صاف.

كلمات مفتاحية: سمك الشنشور، التلوث البحري، الساحل الجنوبي الغربي للجزائر، المعادن الثقيلة الزنك، والنحاس، والكاديوم، والرصاص، الفيليه، الغدد التناسلية، RGS، التلوث.

I -Introduction générale

Les écosystèmes côtiers du littoral extrême ouest algérien, véritables joyaux de la nature, sont le théâtre d'une interaction complexe entre l'homme et la mer. Ces régions côtières, baignées par les eaux cristallines de la Méditerranée et caractérisées par leur biodiversité exceptionnelle, jouent un rôle vital dans l'équilibre écologique et économique de la région. Cependant, malgré leur apparence idyllique, ces écosystèmes fragiles font face à des menaces croissantes, principalement attribuées à l'impact dévastateur de la pollution d'origine anthropique.

Les écosystèmes côtiers, zones de transition entre les environnements terrestres et marins, sont parmi les plus productifs et les plus diversifiés de la planète. Cependant, ils sont également parmi les plus vulnérables aux pressions exercées par les activités humaines. L'urbanisation galopante, l'industrialisation rapide et les pratiques agricoles intensives contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau, à la destruction des habitats côtiers et à la fragmentation des écosystèmes. Cette section examinera en détail les différentes formes de pollution qui affectent les milieux côtiers, mettant en évidence leurs origines, leurs conséquences et leurs implications pour la santé des écosystèmes marins.

La pollution résultant des activités humaines menace la biodiversité marine, la productivité des écosystèmes côtiers et la santé des communautés côtières qui en dépendent. L'accumulation de déchets plastiques, les rejets industriels, les eaux usées non traitées et les marées noires sont autant de sources de pollution qui compromettent l'équilibre écologique des milieux côtiers. Les écosystèmes fragiles tels que les mangroves, les récifs coralliens et les zones humides sont particulièrement vulnérables à ces pressions, ce qui entraîne une perte de biodiversité et une détérioration des services écosystémiques essentiels. Les oiseaux marins, les poissons, les mammifères marins et d'autres organismes marins souffrent également des effets néfastes de la pollution, ce qui entraîne des perturbations dans les chaînes alimentaires et des impacts à long terme sur la santé des écosystèmes.

Parmi les diverses formes de pollution qui menacent les écosystèmes côtiers, la pollution métallique occupe une place prépondérante en raison de sa toxicité persistante et de ses effets dévastateurs sur la biodiversité marine. Les métaux lourds, tels que le plomb, le zinc, le cuivre et le cadmium, sont largement utilisés dans diverses industries et sont souvent rejetés dans l'environnement sous forme de déchets industriels, de rejets urbains et de polluants atmosphériques. Cette section se penchera sur les sources de pollution métallique dans la région, ainsi que sur les voies de contamination et les effets sur les écosystèmes marins.

La pollution métallique constitue une menace sérieuse pour les écosystèmes côtiers en raison de la persistance et de l'accumulation de métaux lourds dans les environnements marins. Ces contaminants peuvent être introduits dans les écosystèmes par le biais de diverses activités industrielles, minières, agricoles et domestiques, et peuvent avoir des effets délétères sur la santé des organismes marins, y compris les poissons, les crustacés, les mollusques et les algues. Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans les tissus biologiques des organismes marins, perturbant les processus physiologiques, biochimiques et comportementaux, et entraînant des effets toxiques, notamment des altérations du développement, des malformations, des troubles de la reproduction et des impacts sur le système immunitaire. De plus, les métaux lourds peuvent être bioaccumulés et biomagnifiés le long des chaînes alimentaires marines, ce qui entraîne une amplification des concentrations et des effets toxiques dans les prédateurs supérieurs et les organismes humains qui consomment des fruits de mer contaminés.

Outre ses répercussions environnementales, la pollution métallique présente également des risques pour la santé humaine, en particulier pour les populations côtières qui dépendent des ressources marines pour leur alimentation et leur subsistance. La consommation de poissons et de fruits de mer contaminés par des métaux lourds peut entraîner une variété de problèmes de santé, allant des troubles gastro-intestinaux aux maladies neurologiques et cardiovasculaires. Cet chapitre examinera les impacts de la pollution métallique sur la santé publique, ainsi que les mesures de prévention et de gestion nécessaires pour protéger la santé des communautés côtières.

La contamination métallique des produits de la mer constitue une préoccupation majeure pour la santé publique dans les régions côtières, où la consommation de poissons et de fruits de mer est une composante essentielle de l'alimentation locale. Les métaux lourds, tels que le mercure, le plomb, le cadmium et le zinc, peuvent s'accumuler dans les tissus des poissons et des crustacés, et être transférés aux humains par le biais de la chaîne alimentaire marine. Une exposition chronique à des niveaux élevés de métaux lourds peut entraîner une variété de problèmes de santé, notamment des troubles neurologiques, des troubles du développement, des atteintes rénales et hépatiques, et des effets sur la fertilité et le développement infantile. Les populations côtières, en particulier les communautés vivant de la pêche artisanale, sont particulièrement vulnérables à ces risques, étant donné leur dépendance étroite à la mer pour leur subsistance et leur sécurité alimentaire. Afin de protéger la santé des populations locales, il est impératif de mettre en œuvre des stratégies de surveillance et de gestion efficaces pour réduire les niveaux de contamination métallique dans les produits de la mer et limiter l'exposition humaine à ces substances toxiques.

Dans le cadre de cette étude, le *Trachurus trachurus* sera utilisé comme bioindicateur de la pollution métallique dans le littoral extrême ouest algérien. En tant que prédateur de niveau trophique moyen, ce poisson est susceptible d'accumuler des métaux lourds dans ses tissus, fournissant ainsi des informations précieuses sur les niveaux de contamination environnementale. Cette partie mettra en avant l'importance de cette approche pour évaluer la qualité environnementale des écosystèmes côtiers.

Les bioindicateurs sont des organismes vivants qui réagissent de manière spécifique aux changements environnementaux et qui peuvent être utilisés pour évaluer la qualité écologique d'un habitat. Dans le contexte des écosystèmes côtiers, les poissons et les invertébrés marins sont souvent choisis comme bioindicateurs en raison de leur capacité à accumuler des contaminants dans leurs tissus et de leur large distribution dans les milieux marins. Le *Trachurus trachurus*, également connu sous le nom de chinchard, est un choix judicieux en tant que bioindicateur en raison de sa présence abondante dans les eaux côtières de la région et de sa position trophique intermédiaire dans la chaîne alimentaire marine. Des études antérieures ont montré que le *Trachurus trachurus* est capable d'accumuler des métaux lourds dans ses tissus, ce qui en fait un indicateur sensible de la contamination métallique dans les écosystèmes côtiers. En utilisant le *Trachurus trachurus* comme bioindicateur, cette étude contribuera à mieux comprendre l'ampleur et les impacts de la pollution métallique dans le littoral extrême ouest algérien, et à formuler des recommandations pour la gestion et la conservation des écosystèmes côtiers dans la région.

Cette thèse vise à évaluer l'accumulation de plomb, de zinc, de cuivre et de cadmium chez le carangidé *Trachurus trachurus* dans le littoral extrême ouest algérien, avec pour objectifs spécifiques d'analyser les concentrations de ces métaux dans les tissus du poisson, d'examiner les différentes variations spatiales et temporelles de l'accumulation métallique, et enfin, de contribuer à une meilleure compréhension de l'impact de la pollution métallique sur les écosystèmes marins de la région afin de formuler des recommandations pour leur gestion et leur conservation.

Le travail est réparti en 2 grandes parties comprenant plusieurs chapitres :

Une première partie considérée comme une revue de la littérature concernant les généralités sur la pollution métallique, l'écotoxicologie, les métaux lourds et la présentation de l'espèce étudiée, ainsi que la zone d'étude choisie

Une deuxième partie englobant le travail expérimental, ainsi que les résultats, leur discussion et interprétations (positionnement et comparaison par rapport aux travaux antérieurs). Une conclusion, avec des perspectives et recommandations, clôturant notre travail.

II-Synthèse bibliographique

Partie I : Généralités sur la pollution marine

1-Pollution marine

Le groupe d'experts PNUE, PNUD, FAO et OMS (**GESAMP 1990**) a défini le terme pollution marine comme « l'introduction directe ou indirecte par l'homme de matière ou d'énergie dans le milieu marin ; entraînant des effets nocifs tels que des dangers pour les ressources vivantes, des menaces pour la santé humaine, des entraves aux activités maritimes, y compris la pêche, la détérioration de la qualité de l'eau de mer et la réduction des activités récréatives et des loisirs.

Malgré une perception largement répandue, la pollution n'est en aucun cas un problème récent ou un phénomène épisodique. Son origine remonte aux époques protohistoriques, lorsque les premières villes se sont formées, polluées par le ruissellement des eaux usées domestiques et des ordures ménagères et autres résidus qui s'accumulaient dans les rues. La pollution urbaine fait des ravages depuis ces temps lointains (**Ramade 1979**)

Les principaux polluants de l'eau sont les eaux usées et autres déchets appauvrissant l'oxygène (principalement la matière organique qui se décompose entraînant un appauvrissement en oxygène), les polluants, les engrais, les produits chimiques organiques, en particulier les pesticides, les tensioactifs, et divers produits ou déchets industriels (**Figure.01**), le pétrole, les minéraux et les composés chimiques. Les sédiments sont constitués de particules minérales extraites du sol, substances radioactives produites par les activités nucléaires et industrielles(**Ramade 1982**)

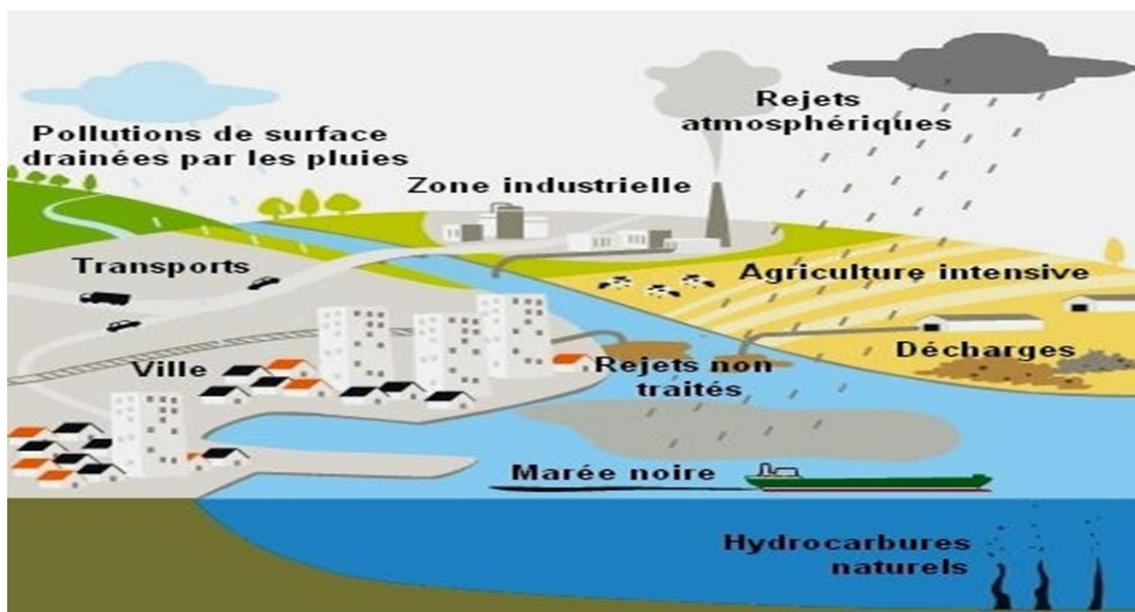


Figure 01 : Origine de la pollution littorale(Cedre 2008)

2-Pollution par les métaux lourds

Le rejet de ces substances toxiques dans les égouts perturbe l'activité bactérienne dans les stations de traitement, mais leurs concentrations affectent indirectement notre organisme via la chaîne alimentaire.

Parmi les métaux lourds hautement toxiques retrouvés accidentellement dans l'eau, on distingue le plomb, le cadmium, le cyanure, l'arsenic, le chrome, le nickel, l'antimoine et le sélénium. **(Renard 2002)**

3-Bioaccumulation des métaux lourds

Le milieu marin est un biome particulièrement riche caractérisé par des propriétés fondamentales remarquablement stables et une grande variabilité de la composition microscopique. L'eau de mer contient toutes les combinaisons d'éléments chimiques en solution, mais seulement certaines d'entre elles (douze au total) à des concentrations égales ou supérieures à 1 mg.l⁻¹. Ces douze éléments principaux représentent 99,4 % de la masse totale de la croûte terrestre (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P, Mn par ordre d'abondance). Le nombre d'oligo-éléments est de 68, représentant seulement 0,6% du total en masse, et la concentration dans l'eau de mer est inférieure à 10⁻⁶ M. **(Miquel 2001)**

Ces éléments participent aux réactions biochimiques et contribuent à l'équilibre du milieu marin. Cependant, les effluents industriels et les polluants métalliques présents dans l'atmosphère, les rivières et leurs estuaires peuvent modifier la composition de l'eau de mer et devenir ainsi toxiques pour les plantes et les animaux. L'étude des interactions entre polluants et barrières biologiques présente un intérêt considérable pour la compréhension des phénomènes écotoxicologiques, notamment la bioaccumulation et le transport à travers les chaînes trophiques **(Figure.02)**. Les processus mis en jeu sont complexes et influencés par les polluants (taille moléculaire, forme chimique, etc.), l'organisme récepteur (propriétés membranaires, composition chimique, processus actifs, etc.) et l'environnement à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule (température, pH, etc.).

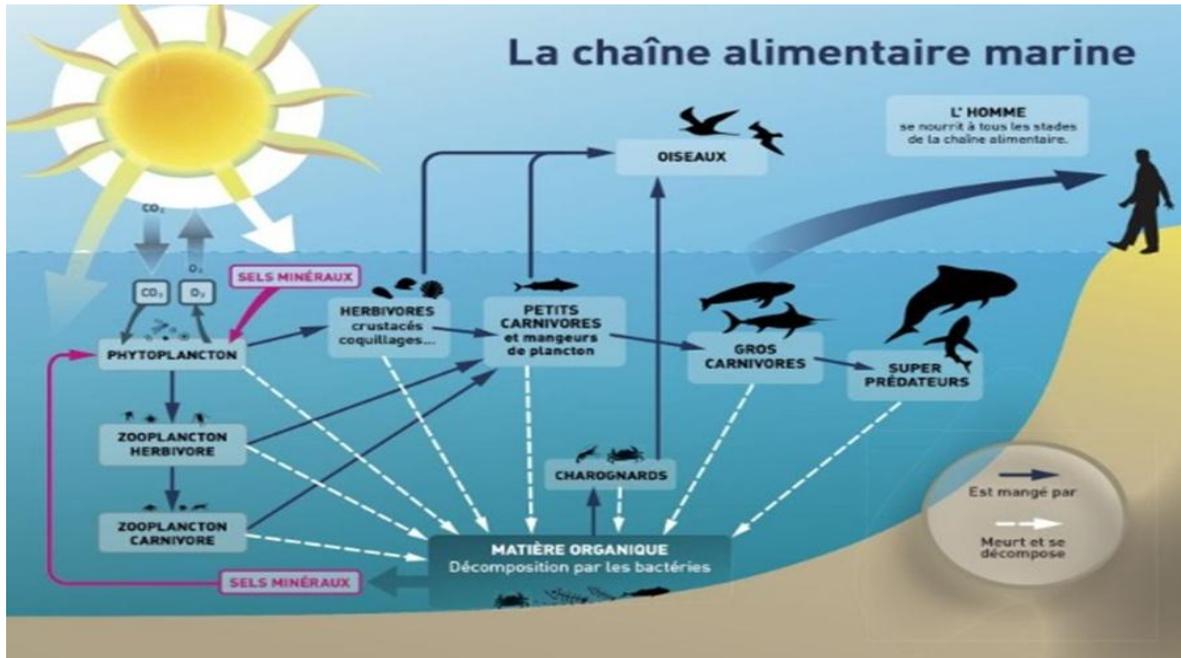


Figure.02 : Circulation des polluants dans la chaîne trophique

4-Métaux en milieu marin

Le métal est un élément chimique, généralement constitué de minerai, doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, caractérisé par sa dureté et sa ductilité, facile à combiner avec d'autres éléments pour former des alliages, et utilisé par l'homme depuis l'Antiquité. Bien que les métaux soient généralement indispensables au développement des processus biologiques (oligo-éléments), nombre d'entre eux peuvent s'avérer polluants de diverses formes de vie lorsque leurs concentrations dépassent une valeur seuil, elle-même fonction de l'état physico-chimique. chimie (spéciation) des éléments considérés. Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Nickel (Ni), Cobalt (Co), Vanadium (V), Sélénium (Se), Molybdène (Mo), Manganèse (Mn), Chrome (Cr), Arsenic (As) et Titane (Ti)(Miquel 2001).

D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et peuvent être même préjudiciables comme le Mercure (Hg), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et l'Antimoine (Sb)(Chiffolleau, Gonzalez *et al.* 1999)

L'appellation « éléments en traces métalliques » (ETM) ou par extension « éléments traces » est communément utilisée pour désigner les éléments métalliques naturels, caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 g.cm^{-3} . (Bliefert and Perraud 2007)

Les métaux sont utilisés de diverses manières, des additifs au plomb dans les carburants aux sels d'argent dans l'industrie photographique, le nickel ou le cadmium dans les batteries, le

zinc dans les gouttières ou le chrome dans l'inox, le cuivre dans l'industrie électrique ou l'arsenic dans les produits phytosanitaires. Les sources de contamination sont donc les métaux rejetés dans l'environnement lors de toutes les étapes de développement, d'utilisation et/ou de recyclage de ces produits, directement dans les eaux continentales ou marines, ou dans l'atmosphère éolienne associés aux aérosols sous forme de voie sèche ou humide avant d'être déposés sur le sol ou à la surface de l'océan. **(Figure.03)**

Les métaux traces sont ainsi présents dans tous les compartiments de l'environnement, à la fois parce qu'ils sont présents naturellement (origine naturelle) et parce que certaines activités humaines favorisent leur diffusion (origine anthropique). Enfin, ils présentent un danger potentiel pour les consommateurs de produits de la mer en raison de leur possible concentration dans les espèces marines, de leur difficulté à s'éradiquer et de leur large diffusion dans le milieu aquatique **(Chiffolleau, Gonzalez *et al.*, 1991).**

Une des principales conséquences de la présence des métaux dans l'eau de mer est leur passage dans la biomasse. Ce transfert peut enchaîner des toxicités qui se manifestent rapidement par une atteinte de la biomasse, ou indirectement qui sont liées à l'accumulation progressive de ces métaux par les organismes **(Ramade 2000)**

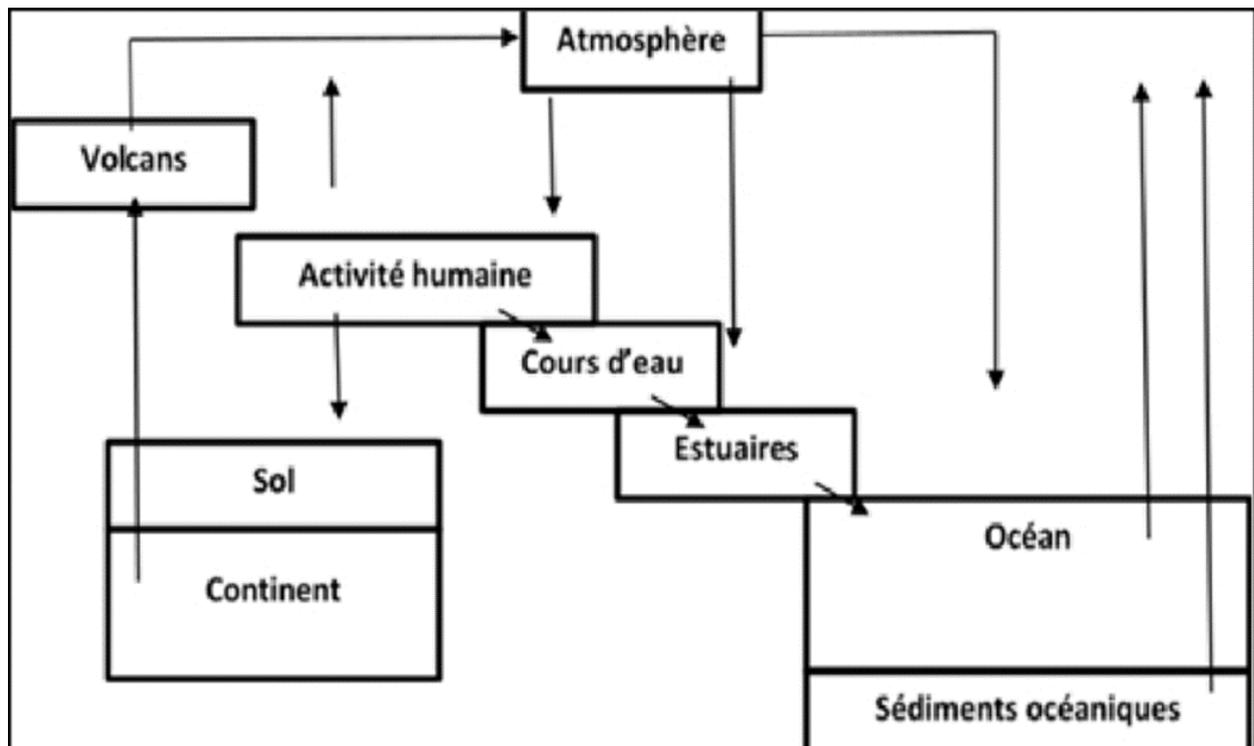


Figure 03 : Cycle géochimique simplifié des métaux lourds **(Miquel, 2001)**

5-Métaux lourds étudiés

Les métaux lourds étudiés lors de notre étude sont le Cuivre (Cu), le Cadmium (Cd), le Plomb (Pb) et le Zinc (Zn).

5-1-Le Cuivre

C'est un métal rouge, marron, malléable et ductile. Il a une conductivité thermique et électrique élevée. Exposé à l'air et à l'eau, le cuivre est recouvert d'une fine couche de carbonate, ce qui lui donne sa couleur verte.(**Lauwerys, Haufroid et al. 2007**)

a-Sources naturelle et anthropique

Le cuivre est présent dans l'environnement de manière omniprésente. Sa concentration dans la croûte terrestre est estimée à environ 70 mg/kg. Le transport éolien de la poussière du sol, les éruptions volcaniques, la décomposition des plantes, les incendies de forêt et les aérosols marins sont les principales sources naturelles d'exposition. Les principales sources anthropiques sont l'industrie du cuivre et des métaux en général, l'industrie du bois, l'incinération des ordures ménagères, la combustion du charbon, du pétrole et de l'essence et la fabrication d'engrais (phosphates)(**Naqib 2010**).la fabrication d'équipements électriques, la plomberie, l'industrie équipement, l'industrie automobile.

Dans l'eau, le cuivre provient principalement de l'érosion des sols par les cours d'eau (68 %), de la pollution au sulfate de cuivre (13 %) et des rejets d'eaux usées qui contiennent du cuivre même après traitement. L'augmentation de la concentration de cuivre dans les écosystèmes marins est principalement due à l'utilisation généralisée du cuivre dans les revêtements antisalissures(**Claisse and Alzieu 1993**). Chaque année, environ 1 192 tonnes de cuivre sont déversées en Méditerranée occidentale.(**UNEP 2003**)

b-Comportement dans l'eau

Le cuivre dans le milieu aquatique existe sous forme particulaire, colloïdale et dissoute. L'oxyde cuivreux Cu_2O est insoluble dans l'eau (**Bisson, Hulot et al. 2003**). En revanche, le cuivre est légèrement soluble dans l'acide dilué et lentement soluble dans l'eau ammoniacquée. Les formes $CuSO_4$, $Cu(OH)_2$ et $CuCl_2$ sont solubles dans l'eau (**Bisson, Hulot et al. 2003**).

Il a tendance à former des complexes avec des bases fortes telles que carbonates, nitrates, sulfates, chlorures. Le cuivre est introduit sous forme particulaire dans les océans.

Etant rapidement adsorbé sur les sédiments riches en ligands, tels qu'hydroxydes de fer et de manganèse, les niveaux de présence peuvent atteindre des valeurs très élevées dans les zones sous influence des apports. (Nakib, 2010).

c-Bioaccumulation

Le cuivre, un élément trace métallique crucial, joue un rôle indispensable au développement et au maintien de la vie de divers organismes, nécessitant cependant une régulation stricte de son accumulation chez de nombreuses espèces aquatiques, telles que les mollusques, les crustacés, les poissons et les mammifères (Chong and Wang 2001). Son absorption s'effectue majoritairement sous la forme ionique (Cu^{2+}) à travers des protéines spécifiques de la membrane cellulaire (Sunda and Huntsman 1998). Chez les bivalves, le cuivre se concentre surtout dans l'hépatopancréas, les gonades et les branchies, comme souligné par (Adami, Barbieri *et al.* 2002)

d-Toxicité

Le cuivre et les composés de cuivre peuvent être toxiques par inhalation, ingestion, par la peau et les yeux. Les sels de cuivre sont des réactifs particulièrement irritants. La principale forme toxique pour l'homme et les animaux est la forme soluble du cuivre, les sels de cuivre II (acétates, carbonates, chlorures, hydroxydes, nitrates, oxydes, oxychlorures et sulfates). (Pichard, Bisson *et al.* 2005)

5-2-Le Cadmium

Le cadmium est un métal blanc, argenté, lourd, mou et tendre. Il est malléable (résistant à l'étirement), malléable (résistant à l'écrasement) et résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui en fait un revêtement protecteur pour les métaux ferreux (Pichard, Bisson *et al.*, 2005). Le cadmium est un élément naturel rare qui se trouve dans une variété de minéraux, mais qui est souvent sous-extrait. La greenockite (CdS) est le seul minerai de cadmium important, presque toujours associé à la sphalérite (ZnS).

a-Sources naturelle et anthropique

Le cadmium se trouve dans la croûte terrestre, dans certains minerais (notamment le zinc), dans les pesticides et les engrais, il peut donc pénétrer dans l'environnement par le sol.

L'adsorption du cadmium se fait essentiellement par la nourriture. Les fumées de tabac transportent le cadmium dans les poumons. Environ 25000 tonnes de cadmium sont libérées par

an, la moitié est libérée dans les rivières lors de l'usure de la roche, une partie est libérée dans les aires lors des feux de forêts et par les volcans et le reste du cadmium relâché provient des activités humaines.

Il est principalement utilisé pour la fabrication de batteries et le traitement de surface des aciers (revêtement anti corrosion), il est également employé pour la décoration, en peinture, en caoutchouterie (**IFRMER 2001**)

b-Comportement dans l'eau

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimique (minérale ou organique).

Un ensemble de variables physicochimiques du milieu (salinité, pH, caractéristique, sédimentologique, concentration en chlorure...) gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement (**Chiffoleau et al., 1999; Chiffoleau et al., 2001**).

Dans l'eau de mer, le cadmium s'associe aux ions chlorures Cl^- , de façon variable selon la salinité. Les acides fluviqes et la matière humique sont de bons chélateurs du cadmium cette fixation du cadmium est surtout importante en eau douce (**Cossa and Lassus 1989**)

c-Bioaccumulation

Au début de la bioaccumulation, l'entrée du cadmium dans les cellules suit une progression linéaire en fonction du temps et est directement liée à sa concentration dans l'environnement aquatique, indépendamment de la température (**George, Carpene et al. 1978**), en utilisant des marqueurs Cd^{109} sur les algues et Cd^{115} dans l'eau, a démontré la dominance de la voie dissoute sur la voie particulaire, révélant que seulement 1% du cadmium présent dans la chair des moules provient de cette dernière. Ainsi, l'absorption principale du cadmium se fait à travers l'eau, particulièrement via les branchies, qui offrent une surface d'échange considérable (**Carpene and George 1981**) De plus, il a été mis en évidence que l'absorption du Cd en solution montre une corrélation linéaire avec la quantité de nourriture consommée, soulignant le rôle central des branchies dans le processus d'entrée du cadmium.

Concernant la biodisponibilité du cadmium dissous, celle-ci est influencée par les mécanismes de capture, où la diffusion, passive ou facilitée par les canaux à Ca^{2+} à travers la membrane lipidique, apparaît comme le mécanisme le plus courant (**Simkiss and Taylor 1995**). Les formes ionisées du cadmium, en association avec des chlorures et des hydroxydes, sont particulièrement à considérer.

d-Toxicité

Contrairement à d'autres métaux, le cadmium ne joue aucun rôle bénéfique ou essentiel dans le métabolisme des organismes vivants. Il peut remplacer le zinc dans certains systèmes enzymatiques déficients en zinc chez le plancton, mais cela ne le rend pas moins risqué pour la santé (**Price and Morel 1990**). Sa toxicité se manifeste par l'inhibition des enzymes contenant des thiols et par son affinité pour les ligands cellulaires tels que les groupes hydroxyle et carboxyle, entraînant des effets délétères (**Chiffoleau et al., 1999**).

Le cadmium possède la capacité de s'accumuler dans les tissus vivants, en partie à cause de sa similarité chimique avec le zinc, un oligo-élément vital, et son rayon atomique proche de celui du calcium. Il ne présente pas de toxicité aiguë aux concentrations normalement rencontrées dans les milieux marins. Toutefois, à des niveaux sublétaux, des concentrations allant de 0,05 à 1,2 µg/L peuvent induire des dysfonctionnements métaboliques ou physiologiques, comme des anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez les mollusques bivalves, et des inhibitions de croissance (**Chiffoleau, Claisse et al. 2001**)

3-Le Zinc

Le zinc est nécessaire au métabolisme des organismes (oligo-élément), notamment en tant que coenzyme. Le zinc existe dans l'eau de mer sous plusieurs formes : ions hydratés ($Zn(H_2O)_{2+n}$), zinc complexé avec des ligands organiques (acides fulviques et humiques), et zinc adsorbé sur matière solide (**Nas/Nrc 1989**)

a-sources naturelles et anthropiques

Le zinc est réparti assez uniformément dans les roches ignées (40 à 120 mg.kg⁻¹), principalement sous forme de sulfure (sphalérite). La concentration est un peu plus élevée (80-120 mg.kg⁻¹) dans les dépôts argileux et les schistes, mais plus faible dans les roches mères sableuses (**Astruc 2001**)

Il pénètre naturellement dans l'atmosphère par les émissions de particules de sol transportées par le vent, les éruptions volcaniques, les incendies de forêt et les aérosols marins

Les apports anthropiques de zinc dans l'environnement proviennent de sources minières industrielles (traitement du minerai, raffinage, galvanisation du fer, gouttières, batteries, pigments, matières plastiques, caoutchouc), de la transmission agricole (alimentation animale, boue) et des activités urbaines (trafic routier, incinération des déchets). Dans les zones portuaires, le zinc est

introduit par dissolution anodique et est utilisé pour protéger les coques des navires de la corrosion et est également présent dans certaines peintures antisalissures. (Astruc 2001)

b-Comportement dans l'eau

L'accumulation de zinc dans l'eau de mer est régulé par diverses espèces aquatiques, incluant les annélides, les mollusques, les crustacés, les poissons et les mammifères (Chong et Wang, 2001). Sous forme hydratée (M^{2+}), le zinc, dont le poids moléculaire est de 65,39 g/mole, se trouve dans l'eau, où il peut former des complexes avec différents ligands (Gilbin 2001)

(Engel 1999) a observé des concentrations de zinc excédant $229 \mu\text{m.Kg}^{-1}$ (P.S). (Asso 1982) indique que des concentrations de zinc entre 10 et $40 \mu\text{g/l}$ peuvent être nuisibles à la vie marine, entravant notamment la croissance de la coquille chez *Mytilus edulis* et affectant la reproduction de l'isopode *Idothea baltica* (Manley, Gruffydd *et al.* 1984)

La toxicité du zinc est également influencée par la présence de cuivre dans l'eau de mer, le cuivre pouvant renforcer la toxicité du zinc. Cependant, le zinc et le cadmium sont généralement considérés comme ayant des effets antagonistes (Asso, 1982) leur présence simultanée peut réduire la toxicité du zinc. Par ailleurs, les sels de zinc se révèlent moins toxiques pour les organismes marins que pour ceux en eau douce, grâce à l'effet protecteur des ions calcium présents en milieu marin.

c-Bioaccumulation

Le zinc est principalement absorbé sous forme ionique (Zn^{2+}) via des protéines spécifiques de transport membranaire (Sunda et Huntsman, 1998). Il se lie aux thiols sans les oxyder, ce qui ne modifie pas leur concentration intracellulaire (Stauber and Florence 1989). (Knauer, Behra *et al.* 1997) ont démontré que l'assimilation du zinc par la cellule est proportionnelle à la concentration en zinc libre, plutôt qu'à la concentration totale du métal, soulignant ainsi l'importance de la capacité d'adsorption du zinc à la surface cellulaire. (Morelli and Scarano 2001) ont observé que le zinc ne stimule pas la synthèse de phytochélatines, contrairement au cadmium ou au plomb.

Dans les organismes bivalves, le zinc est principalement stocké dans l'hépatopancreas, les gonades, et les branchies. Bien que le zinc puisse s'accumuler dans les organismes aquatiques, le facteur de bioconcentration (FBC), qui mesure l'équilibre dynamique entre la concentration du métal dans l'organisme et dans l'eau ($FBC = C_{\text{organisme}} / C_{\text{eau}}$), tend à diminuer au fur et à

mesure que l'on remonte la chaîne alimentaire. Cette tendance pourrait être expliquée par une régulation plus stricte chez les organismes dits « supérieurs » (**Adami et al., 2002**).

d- Toxicité

Comme le cuivre, le zinc est un métal important nécessaire à la vie des organismes. Le zinc est l'un des oligo-éléments les plus abondants dans le corps humain (besoin 15 mg.jour⁻¹). Il est impliqué dans la croissance, le développement des os et du cerveau, la reproduction, le développement du fœtus, le goût et l'odorat, la fonction immunitaire et la cicatrisation des plaies. (**Nas/Nrc 1989**)

Les produits de la pêche sont la principale source de zinc pour les consommateurs. L'inhalation de vapeurs d'oxyde de zinc peut provoquer :

- fièvre.
- Mal de gorge et toux.
- Douleur musculaire.

• Irritation de l'estomac et effets divers sur le foie et les poumons Une relation très forte a été rapportée entre l'eau potable qui circule dans des canalisations galvanisées et la toxicité du zinc (**Cossa and Lassus 1989**)

Le mode d'action du zinc est toxique pour la vie marine à partir de quelques mg/l. En agriculture, le zinc se concentre dans le sol, perturbant la croissance des plantes par la détérioration du système chlorophyllien (**Gaujous 1995**)

Chez l'homme, en revanche, les vapeurs de zinc provoquent (fièvre des fondeurs), se manifestant par : • Fièvre accompagnée d'une fièvre de 40°C. • Douleur musculaire. Les dérivés du chlorure de zinc provoquent souvent un œdème pulmonaire mortel (**Derache 1989**)

4- Le Plomb

Le plomb existe sous trois formes de base : le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire : - Sous forme dissoute, les principales espèces présentes dans l'eau de mer sont $PbCO_3$, $PbCl_2$ ou $PbCl^+$.

Cette répartition ne tient pas compte de la matière organique dissoute et du fait que le plomb dans l'eau de mer existe essentiellement sous forme de complexes organiques instables. Comme

le mercure, le plomb peut être méthylié par les bactéries des sédiments, mais ce phénomène est moins important. – De plus, le plomb a une forte affinité pour les particules fines. Dans l'océan, seulement 10% du plomb existe sous cette forme. L'adsorption du plomb sur les particules est fonction du pH et augmente avec celui-ci.

a-Sources naturelles et anthropiques

La diffusion du Plomb dans le milieu par les humains a commencé depuis plus de cinq mille ans, et les effets toxiques de la substance sur les êtres humains sont devenus perceptibles depuis le début de la civilisation. Le saturnisme chez la classe au pouvoir a même été suggéré comme une des causes de la chute de l'Empire romain. Depuis, le nombre de personnes qui se mobilisent contre la pollution du Plomb a progressé (**Nriagu 1983**)

Dans l'atmosphère, les rejets de Plomb provenant de la poussière du volcan sont considérés comme étant de moindre importance. Les rejets atmosphériques sont principalement causés par l'homme. (**Cossa, Elbaz-Poulichet et al. 1993**)

Plusieurs auteurs ont indiqué que la concentration en plomb avait augmenté de vingt pour cent, au cours des deux derniers siècles, dans les glaces polaires ayant intégré la retombée atmosphérique (**Murozumi, Chow et al. 1969**)

Cette augmentation est en relation avec le increase in anthropic emissions. Les apports de plomb à l'océan sont principalement atmosphériques. La principale source de contamination de ce dernier est encore aujourd'hui la combustion des hydrocarbures automobiles. Les teneurs dans les eaux côtières sont à peine plus élevées qu'en zone océanique à cause de l'ampleur de l'enlèvement dans les zones où les concentrations en matières en suspension sont fortes. Des eaux de mer peu profondes, dont les concentrations sont de l'ordre de **50 ng.l-1**, peuvent être qualifiées de non infectées. Au sein des sédiments, le Plomb est susceptible de pouvoir être réintégré en tant que solution par la voie aérobie de la composition de la matière organique du sédiment (**Marchand and Kantin 1997**)

b-Comportement dans l'eau

Les principales formes chimiques du plomb dans l'environnement marin incluent $PbCO_3$, $PbCl_2$, $PbCl^+$, avec environ 66 % du plomb en mer présent sous forme de complexes organiques instables (**Cossa et al., 1993**). La concentration moyenne de plomb dans l'eau de mer est d'environ 0,03 $\mu g/l$ (**Aubert and Aubert 1987**) . L'utilisation d'alkyl-plomb comme agent anti-détonant

dans les carburants conduit à un apport annuel estimé à 25 000 tonnes de plomb dans les océans (**Ramade, 1982**). Des concentrations supérieures à 0,1 mg/l peuvent perturber la vie aquatique (**Benguedda-Rahal 1993**). Certaines recherches suggèrent que chez certains poissons, les perturbations métaboliques dues au plomb pourraient être liées à des effets sur le système nerveux central plutôt qu'à un impact direct sur le métabolisme enzymatique. D'après (**Luoma and Bryan 1982**), la quantité de plomb retrouvée chez les bivalves est proportionnelle à la concentration de plomb dans les sédiments marins, la forme la plus absorbée par les organismes marins étant le Pb^{2+} . La présence d'hydroxydes ferreux peut augmenter la concentration de plomb dissous, favorisant ainsi son absorption par la faune marine. L'augmentation de la teneur en carbone organique ou en phosphates semble réduire la bioaccumulation du plomb.

Le plomb se bioconcentre dans les organismes marins à un niveau comparable à celui du cadmium, notamment chez les mollusques filtreurs où le facteur de bioconcentration oscille généralement entre 10^5 et 10^6 . La durée de résidence du plomb dans les océans varie considérablement selon la profondeur : de 1 à 3 ans pour les eaux de surface, environ 20 ans dans la zone thermocline, et de 80 à 150 ans pour les eaux profondes (**Schaule et Patterson, 1983**).

c-Bioaccumulation

Similairement au cadmium, l'absorption du plomb par les cellules s'effectue principalement à travers le transport de sa forme dissoute, Pb^{2+} , bien que l'endocytose au sein de l'épithélium branchial soit également suggérée pour ce métal (**Coombs and George 1978**). L'absorption du plomb augmente de manière linéaire avec le temps et est directement corrélée à sa concentration environnementale (**Schulz-Baldes 1974**). Une fois intégré dans l'organisme, les ions Pb^{2+} entrent en compétition avec les ions Ca^{2+} pour l'absorption, et l'excrétion du plomb est proportionnelle à sa concentration interne (**Schulz-Baldes, 1974**). Bien que les modalités précises d'absorption du plomb (ions, agents chélateurs, complexes) soient connues, il est évident que la forme dissoute du contaminant joue un rôle crucial et influence significativement le taux d'absorption (**Mikac, Branica et al. 1996**). Les métallothionéines ne jouent pas de rôle dans la séquestration et la détoxification du plomb (**Cossa et al., 1993**).

Malgré la présence de formes organiques de plomb dans le milieu marin, notamment sous forme de composés méthylés, aucune preuve de bioamplification n'a été clairement établie dans la littérature scientifique (**Riisgård and Hansen 1990**)

d- Toxicité

Les quantités mortelles de Plomb, en tant que sel minéral, sont généralement plus importantes que sa capacité à se dissoudre dans l'eau de mer, qui est de 4 mg.l⁻¹. Le Plomb inorganique peut donc être considéré comme toxique (avec une concentration mortelle de 1 à 10 mg.l⁻¹) ou comme étant modérément toxique (avec une concentration mortelle de 10 à 100 mg.l⁻¹).

Les concentrations létales en Plomb tétralkylé sont, en revanche, très basses : la moyenne des CL50 96 heures est, en effet, de l'ordre de 1 mg.l⁻¹, c'est-à-dire que la forme chimique va de très toxique à extrêmement toxique (**Marchand and Kantin 1997**). Le niveau de qualité sanitaire maximum est de 1,5 mg.kg⁻¹ poids humide (p.h) du décret européen 221/2002.

Des effets sur la croissance de certaines espèces de phytoplancton ont été détectés à partir de 0,5 µg.l⁻¹. Les embryons d'invertébrés marins sont plus sensibles que les adultes. Ainsi, la concentration qui inhibe le développement des embryons de moules est d'environ 500 µg.l⁻¹. De plus, à cette concentration, un grand nombre de larves semblaient anormales. Les effets toxiques du plomb peuvent entraîner une concurrence avec les métaux essentiels. Chez les moules, lorsque le plomb (0,1 mg.l⁻¹) est présent, le métabolisme des autres métaux divalents est perturbé : notamment le calcium, le magnésium et le cuivre. Enfin, le saturnisme désigne toutes les manifestations de l'utilisation du Pb chez l'homme. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. La maladie se caractérise par une anémie et des perturbations métaboliques causées par la compétition avec les ions Ca²⁺. (**Marchand and Kantin 1997**).

Pour les humains, le plomb est un poison cumulatif qui provoque un empoisonnement au plomb, et toutes les formes de plomb sont toxiques pour le corps. En règle générale, le plomb pénètre quotidiennement dans l'organisme par l'air, l'eau, les aliments et les cigarettes.

L'anémie est un symptôme caractéristique de l'empoisonnement au plomb, les enfants sont plus sensibles que les adultes et le système nerveux est également affecté. L'empoisonnement au plomb varie selon la durée et le degré d'exposition (**Cheftel, Cheftel et al. 1977**)

L'Organisation mondiale de la santé **W.H.O (1994)** décrit les principaux symptômes de l'intoxication chronique au plomb comme suit :

- Agitation, irritabilité.
- Le plomb affecte aussi les intestins et l'estomac. Des coliques sont associées à une diminution du fonctionnement de la glande thyroïdienne.

- Anémie et faiblesse.
- Troubles rénaux, cardio-vasculaires, hématopoïétiques (formation de globules du sang).
 - Les atteintes neurophysiologiques sont très fréquentes (fatigue, irritabilité, retard intellectuel chez les enfants).
 - Hallucination et perte de mémoire.
 - Tremblements musculaires.
 - Mal de tête (encéphalopathie).

Pour l'organisme, la toxicité est aiguë à partir de 0,1 mg/l et concentrée le long de la chaîne alimentaire. Le saturnisme des Oiseaux existe chez les spécimens qui ont ingéré des Plombs de chasse. (Gaujous 1995).

La dose létale pour l'homme est de 0,5 gramme. La limite d'utilisation du plomb dans les boues d'épuration agricoles est de 0,8 g/kg de matière sèche (MS) et pour les effluents industriels, la limite est de 0,5 mg/l (Pb et ses composés) (Gaujous 1995).

Partie II : Présentation du modèle biologique

1-Morphologie externe de l'espèce

Le Chinchard est un poisson pélagique osseux de taille moyenne de 21cm qui fait partie de la famille des carangidés, il possède 2 nageoires dorsales épineuses presque continues (Quero 1998), avec un corps allongé, légèrement comprimé, une petite tache noire près de l'angle supérieur du bord de l'opercule, de grands yeux avec une paupière corpulente, et une bouche protractile (figure.04).



Figure 04: Bouche protractile protractée (F.A.O., 1988)

L'extrémité postérieure du maxillaire atteint le bord de l'œil et la mâchoire inférieure dépasse vers l'avant. Le maxillaire est grand et large, les paupières sont épaisses et bien développées et les narines sont petites et étroites, situées des deux côtés. Il y a une encoche claire sur le bord postérieur de l'opercule, et la ligne latérale principale s'incurve au milieu du corps et est couverte de scutelles en forme de losange qui atteignent le diamètre de l'œil. La ligne dorsale

secondaire se termine sous les 23e et 31e rayons mous de la nageoire dorsale. Le premier arc branchial a 41-48 branchiospines inférieures.

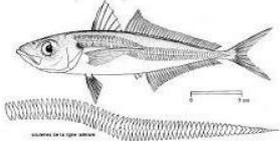
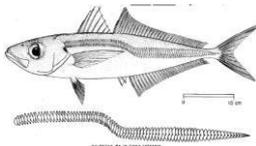
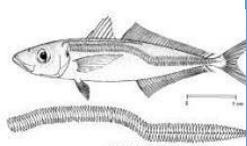
La zone interorbitaire est légèrement en forme d'arc et la largeur est généralement légèrement supérieure au diamètre de l'œil. La première nageoire dorsale a huit épines, la nageoire anale a deux fortes épines et la nageoire pelvienne a L'origine est sous la base de la nageoire pectorale. La moitié supérieure (tiers) du corps et le dessus de la tête sont presque noirs ou gris à bleu-vert. La moitié inférieure (deux tiers) du corps est de couleur plus claire, blanche à argentée. **(FAO, 2010)**

D'après la littérature, les auteurs distinguent trois espèces de saurels existant en mer méditerranée

- *Trachurus trachurus* (Linnée, 1758)
- *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868)
- *Trachurus picturatus* (Bowodich, 1825)

Les principales caractéristiques des trois espèces du genre *Trachurus* sont regroupées dans le **(Tableau.01)**

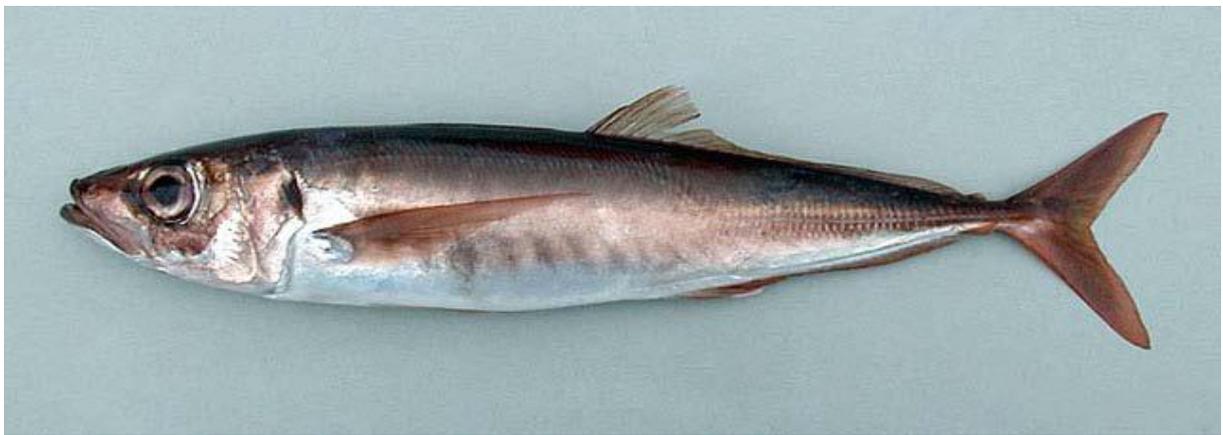
Tableau 0.1 : Caractères morphologiques des trois espèces du genre *Trachurus*

	<i>T. trachurus</i>	<i>T. mediteraneus</i>	<i>T. picturatus</i>	Références
Couleur du corps	Chinchard commun a un dos gris vert bleuâtre, ses flancs ont des reflets violacés et son ventre est argenté, nageoire caudale blanchâtre.	Gris-vert Sombre sur le dos, nageoire caudale jaunâtre.	Un dos Gris-bleu foncé, nageoire caudalerougeâtre.	FAO, 1987 Bauchot et al.,1980 ; Fischer et Bauchot , 1987 ; Quéro <i>etal.</i> , 2003
Taille	La longueur commune est de 15 à 30 cm de longueur peut atteindre maximum 60 cm de longueur à la fourche	La longueur commune est de 10 à 30 cm de longueur peut atteindre maximum 50 cm de longueur à la fourche.	La Longueur maximaleest de 60 cm, avec une longueur commune de 25 cm	
La ligne latérale	S'infléchit à mi-corps, elle est recouverte sur tout son tracé de grandes écailles losangiformes, La pectorale, atteint la ligne latérale	Petites tailles plus nombreuses que chez <i>T.trachurus</i> et moins nombreuses que chez <i>T. picturatus</i> (75-89).	Petites tailles plus nombreuses que chez les deux autres espèces(93-100).	
La ligne latérale accessoire	Se terminant sous les 19èmes à 31ème rayons mous de la dorsale. Les Vertèbres dénombrées de 10 à 14 vertèbres	Ligne latérale accessoire se terminant entre la huitième épine et le troisième rayon mou de la dorsale.	Se terminant au niveau du 5ème rayon de la 2ème dorsale	
Les écailles	Les écailles et scutelles totales de la ligne latérale varient entre 66 et 75 dont 31 à 36 scutelles sont rangées sur la partie rectiligne. La hauteur des scutelles : 6,3 – 8,2%	Les écailles modérément petites et cycloïdes (lisses au toucher) écailles de la partie antérieure de la ligne latérale grandes et semblables aux scutelles de la partie postérieure la hauteur des scutelles :3,3 – 4,3 %	Les écailles et scutelles totales de la ligne latérale varient entre 93 à 100 la hauteur des scutelles est de 3,6 – 5,1%	
				

1



2



3



Figure 05 : Photographies de trois espèces du genre *Trachurus* en Méditerranée. (PATZNER, 1999)

1 : Photographie de *T. trachurus* (PATZNER, 1999) (x 0,5).

2 : Photographie de *T. picturatus* (PATZNER, 1999) (x 0,5).

3 : Photographie de *T. mediterraneus* (PATZNER, 1999) (x 0,5).

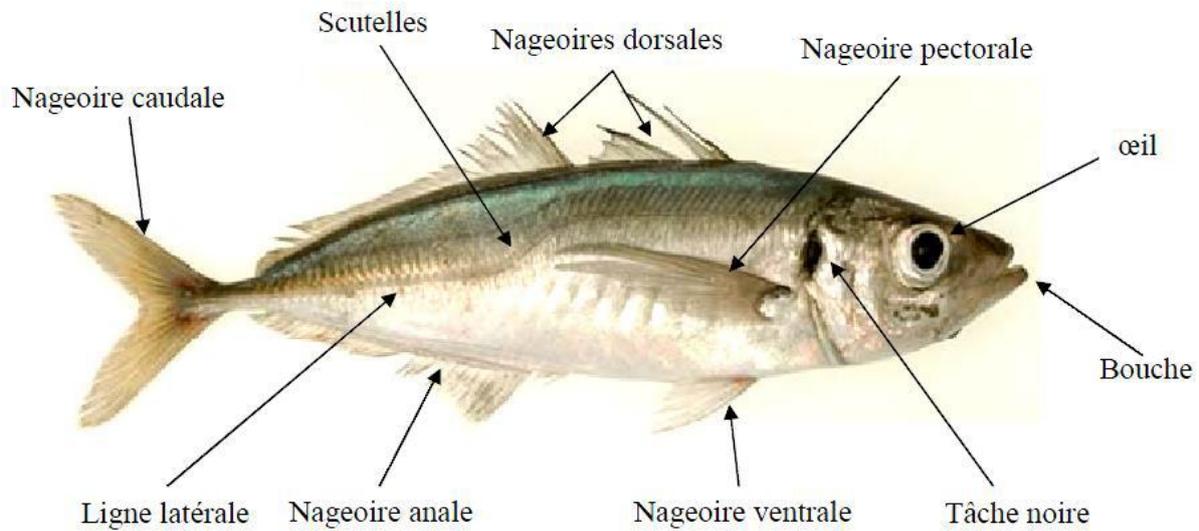


Figure 06 : Caractères distinctifs du *Trachurus trachurus* (Ouali et Rahal, 2013).

2-Position systématique du *Trachurus trachurus* (WoRMS, 2024)

Embranchement : Chordés

Sous- embranchement : Vertébrés

Gigaclasse : Actinoptérygiens

Super-classe : Actinoptères

Classe : Téléostéens

Ordre : Carangiformes

Famille : Carangidés

Genre : *Trachurus*

Espèce : *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758)

3-Biologie de l'espece

3-1-Cycle de vie

Le chinchard (*T. trachurus*) a une large distribution dans les eaux européennes et son cycle de vie dépasse largement le golfe de Gascogne (ICES, 2015). Les trois stocks sont différenciés par leur position géographique : le stock méridional (secteur IX, en Galice), le stock de mer du Nord et le stock Ouest, s'étendant du cap Finistère à la mer de Norvège.

Le chinchard du golfe de Gascogne fait partie du stock Ouest. La durée de vie est très longue (30 ans et plus, taille maximale de 70 cm). La maturité sexuelle est acquise à l'âge de 4-5 ans (> 23 cm).

La fécondité est indéterminée. La ponte est multiple et fractionnée. Le régime alimentaire est principalement composé de mésozooplancton, mais il comprend également des petits poissons et des zoobenthos, le niveau de la trophie augmentant en fonction de la taille. **(Gherram.2019)**

Pendant et après la période de ponte du poisson *Trachurus trachurus*, les individus adultes se déplacent vers le nord en été (migration de nutrition). Un hivernage a lieu dans les eaux profondes des Açores et en particulier au nord de la distribution. Les juvéniles sont largement répandus dans la Gascogne, la mer Celtique et la Manche du nord. La façon dont le stock est connecté à son environnement est inconnue. Le chinchard semble éviter les températures ne dépassant pas Huit degrés Celsius **(ICES. 2015)**.

3-2-Appareil reproducteur gonade

Plusieurs auteurs se sont efforcés de décrire le cycle sexuel, la structure testiculaire et les cellules germinales des téléostéens mâles, soulignant leurs différences et similitudes **(Prolonge-Chevalier 2007)**

La structure gonadique et la gamétogenèse des individus adultes sont décrites en partie ou en totalité dans la littérature, souvent issues du milieu naturel d'espèces d'ordres différents **(Muñoz, Koya et al. 2002)** notamment les Perciformes **(Fishelson, Delarea et al. 2006)**. Le cycle de reproduction est constitué de deux événements principaux, la spermatogenèse et la spermiation, qui apparaissent très différentes sur plusieurs paramètres **(Prolonge-Chevalier 2007)**. Ils diffèrent par leur durée (la première étant plus courte que la seconde), leur saison d'occurrence, leur déterminisme endocrinien et les facteurs environnementaux responsables **(Prolonge-Chevalier 2007)**

3-3-La Spermatogénèse

La spermatogenèse est la division cellulaire continue et la transformation de cellules germinales peu différenciées (spermatogonies) en cellules germinales fonctionnelles (spermatozoïdes) dans le testicule **(Barnabé 1991)**. Les cellules germinales n'évoluent pas seules, elles sont toujours en contact avec des cellules somatiques de support appelées cellules de Sertoli **(Billard, Jalabert et al. 1972)**. Dans les testicules, la spermatogenèse se produit dans des lobules, ou tubules, tapissés d'une couche de cellules de Sertoli qui appuient contre la membrane basale. Cette membrane basale entoure les cellules sexuelles et les cellules de Sertoli du

compartiment germinale du testicule (**Grier 1993**) et le sépare du compartiment interstitiel (stroma). Deux types de structures testiculaires peuvent être identifiés chez les téléostéens en fonction du schéma de spermatogenèse : lobulaire et tubulaire (**Grier 1993**)

Le type lobulaire est ainsi nommé car le corps séminifère a un diamètre variable et un aspect lobé, et il est plus fréquent chez les téléostéens (**Legendre and Jalabert 1988**). La structure lobulaire est typique de certains poissons, en particulier des Perciformes (**Grier 1993**). Les lobules se terminent dans un cul-de-sac juste sous la surface du testicule (**Mellinger 2002**) et s'écoulent dans le tube longitudinal principal (**Grier 1993**) (**Grier, 1993**), souvent appelé canal déférent (**Groman 1982**), voire spermiducte (**Legendre and Jalabert 1988**). Ce conduit axial est entouré de lobules radiaires (**Mellinger 2002**). Au cours de la maturation, les folioles s'allongent et augmentent de diamètre. L'allongement est causé par la prolifération des spermatogonies A et des cellules de Sertoli dans les lobules distaux (**Grier and Nostro 2000**)

Les lobules constituent la partie germinale du testicule et sont séparés les uns des autres par du tissu interstitiel (**Legendre and Jalabert 1988**). Les testicules tubulaires anastomotiques sont présents chez les téléostéens primitifs (Elopiformes, Clupeiformes, Cypriniformes, Characiformes, Siluriformes, Salmoniformes et Esociformes), tandis que les testicules lobulaires sont présents chez les néotéléostéens, en particulier de l'ordre des Perciformes (**Parenti and Grier 2004**). Les tubules communiquent entre eux dans un réseau anastomotique ramifié complexe ou simple. Le type tubulaire a également été rebaptisé tubulaire anastomotique (**Grier 1993**).

Le type lobulaire lui-même se divise en deux sous-types selon le mode de spermatogenèse (**Legendre and Jalabert 1988**). Le type restreint de spermatogenèse est limité au groupe Atherinomorph (**Parenti and Grier 2004**). (**Billard 1979**) a d'abord décrit ce type chez les guppys *Poeciliareticulata* (Poeciliidae) puis chez 79 espèces appartenant aux trois ordres Atheriniformes, Cyprinodontiformes, Beloniformes (**Parenti et Grier, 2004**). Dans ce type, l'emplacement des cellules germinales primordiales ou spermatogonies A (SGA) est limité aux extrémités aveugles des lobules. Au cours de la spermatogenèse, les spermatozoïdes, formés après la division et la différenciation gonies, migrent le long des lobules sans lumière vers la lumière centrale du testicule (**Grier 1993**). Les spermatozoïdes sont ensuite libérés dans les conduits efférents, qui fusionnent ensuite dans le tube principal (**Grier, Linton et al. 1980**).

L'épithélium germinale est composé de trois parties, constituées d'une membrane basale, de cellules de soutien et de cellules germinales.

L'épithélium germinale, qui est considéré comme continu lorsque les spermatogonies ou les spermatocystes entrent en contact, est présent dans le testicule immature et en aval des lobules allongés (**Grier 1993**). L'épithélium germinale discontinu apparaît lorsque les spermatocystes deviennent séparés de leurs voisins par un "épithélium" de cellules de Sertoli (**Grier 1993**) et lorsque le cyste libère du sperme dans la lumière centrale des lobules (**Billard 1986**). Au début du cycle, seules les spermatogonies A (SGA) sont présentes. Chaque SGA est attaché à une ou plusieurs cellules de Sertoli (**Grier, Linton et al. 1980**). Les spermatogonies prolifèrent par mitose, suivie d'une méiose, puis la spermatogenèse se produit dans une enveloppe formée par des extensions de cellules de Sertoli, qui constituent ensemble les spermatocystes ou cyste (**Turner 1919**)

Les cellules d'un même cyste sont toutes au même stade de développement (**Turner, 1919**). (**Mattei, Siau et al. 1993**) l'ont défini comme "cystique" lorsque la spermatogenèse s'est produite entièrement dans les spermatocytes et comme "semi-cystique" lorsque les spermatocystes se sont ouverts avant la spermatogenèse. Dans ce cas, les cellules germinales à différents stades de maturation peuvent résider dans la lumière des lobules où la différenciation est terminée (**Manniand Rasotto, 1997**). Les SGA donnent par mitose SGB, qui sont toujours regroupés par deux puis par quatre, initiant ainsi la formation de cystes (**Pudney 1995**). La division GBS produit des spermatocytes primaires (SPC I) (**Pudney, 1995**). Après la première division méiotique, le SPC I se transformera en spermatocytes secondaires (SPC II) (**Dziewulska and Domagala 2003**).

Les SPC II deviennent des spermatides (SPD) après la seconde méiose (**Dziewulska et Domagala, 2003**). Les spermatides doivent entrer dans une étape de transformation biochimique et morphologique, appelée spermiogenèse, pour produire des cellules germinales hautement différenciées, les spermatozoïdes (**Nagahama 1983**).

Le rapport des différents types de cellules germinales permet de définir les différentes étapes de la maturation testiculaire masculine. Selon les auteurs, les phases définies sont : stade immature où le testicule est au repos, initiation de la spermatogenèse ou prolifération des spermatogonies, spermatogenèse avec apparition de tous les types cellulaires, subdivisée en précoce, métaphase et télophase, initiation, suivie de spermatozoïdes. Fin de libération et enfin le stade de résorption testiculaire après spermiation (**Hojo, Santos et al. 2004**)

3-4-La Spermiation

A la fin de la spermiogenèse la paroi sertolienne des cystes devenus de plus en plus mince s'ouvre et les spermatozoïdes sont libérés dans la lumière du lobule c'est la spermiation (**Pudney, 1995**). Ils se concentrent dans la lumière des lobules séminaires, d'où ils atteignent le système d'évacuation(**Billard, Weil et al. 1992**). La spermiation correspond à l'expulsion des spermatozoïdes au niveau de l'orifice urogénital suite à une pression abdominale. Elle s'accompagne généralement d'une hydratation des gonades et du sperme (**Legendre et Jalabert, 1988**). Les spermatozoïdes présents dans le plasma séminal des espèces fécondées in vitro sont libres lors de leur l'expulsion (**Legendre et Jalabert, 1988**). La période de spermiation peut durer plusieurs mois, mais la qualité de sperme diminue considérablement avec le temps en raison du phénomène de vieillissement des spermatozoïdes (**Billard, 1979**).

3-5-Ovogenèse

L'ovogenèse est composée de six stades successifs. Les ovogonies, dans un premier lot, subissent des transformations progressives, tandis que les autres ovogonies constituent une réserve pour les futures pontes. Ces ovogonies sont caractérisées par des cellules germinales ou de jeunes ovocytes possédant un noyau sphérique renfermant un nucléole basophile, entouré d'un cytoplasme homogène et peu abondant. Ils donnent ensuite naissance à l'ovocyte I, dont le noyau et le cytoplasme augmentent de volume, et des nucléoles multiples apparaissent dans la périphérie, marquant la phase péri-nucléaire. Chaque ovocyte est enveloppé d'une couche épaisse. (**GHERRAM, 2019**)

a-Prévitellogenèse

L'ovogonie subit un accroissement progressif, ce qui permet un développement de sa taille. À cette phase, plusieurs modifications apparaissent : l'apparition des vésicules vitellines colorées en rouge par les deux méthodes de coloration (hématoxyline-éosine), et dans la partie corticale du cytoplasme, marque le début de la vitellogenèse endogène, observée en décembre. Le noyau est volumineux et tous les nucléoles surnuméraires sont répartis à la périphérie. Les enveloppes deviennent bien visibles, la granulosa et la zona radiata se distinguent du cytoplasme elles sont colorées en rouge orangé (HE) (**Bruslé 1982**)

b-Vitellogenèse

Les substances qui constitueront le vitellus commencent à se mettre en place. Quelques globules se regroupent en couronne dans la zone périphérique du cytoplasme en vésicules

vitellines, puis les inclusions apparaissent autour du noyau, en se multipliant et grossissant, elles rempliront progressivement la zone cytoplasmique centrale et repousseront le cytoplasme et les vésicules vitellines à la périphérie contre la paroi du follicule. Le noyau ne s'accroît presque plus. Les enveloppes s'épaississent. À la fin de cette phase, l'ovocyte atteint 440 µm de diamètre, le noyau est toujours central. L'ovocyte a subi un accroissement cytoplasmique très important. Le vitellus protéique et lipidique est d'origine hépatique [Bruslé, 1982]. La membrane ovocytaire est enveloppée par une membrane épaisse (zona radiata) protectrice constituée de mucopolysaccharides d'origine golgienne (**Bruslé, 1982**). La zona radiata sera enveloppée par des cellules folliculaires formant la granulosa et les thèques.

c-Ponte

Au cours du mois de janvier, l'aspect microscopique des gonades montre une maturation des ovocytes mûrs hyalins de diamètre égal à 580 µm, le noyau perd son enveloppe nucléaire et subit sa première division méiotique avec l'expulsion du premier globule polaire (**Bruslé, 1982**). Les vacuoles lipidiques et les plaquettes protéiques fusionnent pour former une lacune hyaline observée chez de nombreux Téléostéens marins [Bruslé, 1982]. C'est l'ovocyte hyalin qui a un cytoplasme homogène.

d-Post ponte

Ce stade est observé en mois de février et avril. Les ovocytes mûrs hyalins sont pondus avec la zona radiata et la granulosa; par contre, la thèque reste dans l'ovaire. Les enveloppes folliculaires prennent l'aspect d'un sac vide plissé, par la suite elles dégénèrent en follicules post-ovulatoires, certains follicules non émis entrent en atrophie post-ovulatoire. Le noyau entre en pycnose et le vitellus se désagrège en formant un amas compact. Le cytoplasme subit une autolyse générale, la dégénérescence affecte aussi les membranes et ne restent dans l'ovaire que les ovogonies de réserve qui seront activées lors de la prochaine saison de ponte. À la fin de la ponte, le poisson rentre en phase de repos sexuel. Ce phénomène ne s'observe qu'à l'intérieur de l'ovaire où le processus de vitellogenèse est interrompu, c'est-à-dire à la fin de la saison de ponte. Les ovocytes en début d'accroissement ne subissent pas l'atrophie, ils sont conservés dans l'ovaire (**Bruslé, 1982**).

Tableau 02 : Echelle macroscopique des stades de maturité sexuelle chez les mâles et femelles chez les petits pélagiques notamment *Trachurus trachurus* (**Handjar, 2019**)

Stade de maturité	Aspect macroscopique	
	Gonades femelles (ovaires)	Gonade mâles (testicules)
Stade I : ♀ et ♂ immatures	Les ovaires sont transparents, légèrement rosâtres filamenteux à membrane fine, la vascularisation est à peine visible.	Les testicules sont blanchâtres, avec une section ronde et quelques rares vaisseaux sanguins.
Stade II : ♀ et ♂ Initiation du cycle	Les ovaires sont moins transparents, mieux vascularisés, de coloration jaunâtre, les ovocytes y sont visibles à l'oeil nu.	Les testicules sont blanc laiteux avec une section aplatie ne laissant écouler aucun liquide à l'incision.
Stade III : ♀ et ♂ Pleine maturation	Les ovaires sont jaune orangés et très gros, les ovocytes sont bien visibles avec une membrane cytoplasmique nette.	Les testicules sont plus volumineux, en lame de couteau, laissant écouler du sperme blanchâtre à l'incision et à la pression sur l'abdomen.
Stade IV : ♀ Ponte ♂ Émission du sperme	Les ovaires sont fortement vascularisés avec des ovules translucides parfaitement individualisés et expulsés à la moindre pression sur l'abdomen.	Les testicules sont gros et mous, libérant de la laitance avec de nombreux grumeaux.
Stade V : ♀ Post ponte ♂ Post émission	Les ovaires sont très vascularisés, vides et flasques, rouge foncé, présentant des tâches marron qui correspondent à des zones de sclérose ou à des ovocytes résiduels atrésiques.	Les testicules sont épuisés, richement vascularisés laissant écouler des traces de sperme donnant à l'organe un aspect de lait caillé.

3-6-Fécondité

La fécondité, définie comme le nombre d'ovocytes destinés à la ponte (**Aboussouan and Lahaye 1979**), est un paramètre essentiel pour évaluer le potentiel de reproduction d'un stock et la survie de l'œuf au recrutement de l'espèce (**Baxter 1963**)

La fécondité absolue, qui représente le nombre d'ovocytes mûrs présents dans l'ovaire juste avant la ponte (**Bagenal, Mackereth et al. 1973**), est un indicateur crucial de la reproduction des poissons. Selon (**Wootton 1973**), la fécondité absolue est définie comme le nombre total d'ovocytes produits par une femelle au cours d'une année. Cependant, déterminer cette valeur peut être difficile lorsque la ponte est fractionnée, c'est-à-dire lorsque les œufs sont libérés en plusieurs

lots successifs au cours d'un même cycle de ponte. Dans de tels cas, l'estimation du nombre d'ovocytes dans le stade le plus avancé juste avant la ponte est prise en considération (**Fontana and Le Guen 1969**)

La fécondité relative est définie comme le nombre d'ovocytes ramené à une unité de poids corporel, généralement exprimé pour 100g ou 1Kg de poids corporel, ou comme le rapport entre la fécondité absolue et le poids du corps (**Oosthuizen and Daan 1974**)

3-7-Respiration

Le saurel utilise l'oxygène dissous dans l'eau pour la respiration, l'eau aspirée par la bouche ressort par des ouvertures situées, sur les côtés de la tête appelées ouïes. (CREAC, 1951).

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 un rôle de réserve d'oxygène (**DOB, 1988**).

3-8-Anatomie interne

L'œsophage se déverse dans un estomac qui présente des plis longitudinaux à l'intérieur. L'estomac, qui est dilatable, varie en taille selon la période de l'année. Durant la période de maturité sexuelle, il est généralement vide et fortement réduit. En revanche, pendant le repos sexuel, il peut s'étendre considérablement, avec le cul-de-sac pointu qui le termine pouvant s'étendre jusqu'à la hauteur de l'anus. À sa partie inférieure et antérieure, il forme une poche qui abrite un nombre variable de coecums pyloriques. **Cuvier et Valenciennes (1833)** mentionnent douze coecums, tandis que **Gunther (1860)** et **Letaconnoux (1951)** évoquent une fourchette allant de douze à vingt, voire vingt-quatre. Ces coecums sont caractérisés par leur longueur pouvant atteindre 6 cm, leur paroi très fine, et ils sont reliés entre eux par un léger mésentère. (**Figure. 07**). (**Letaconnoux, 1951**).

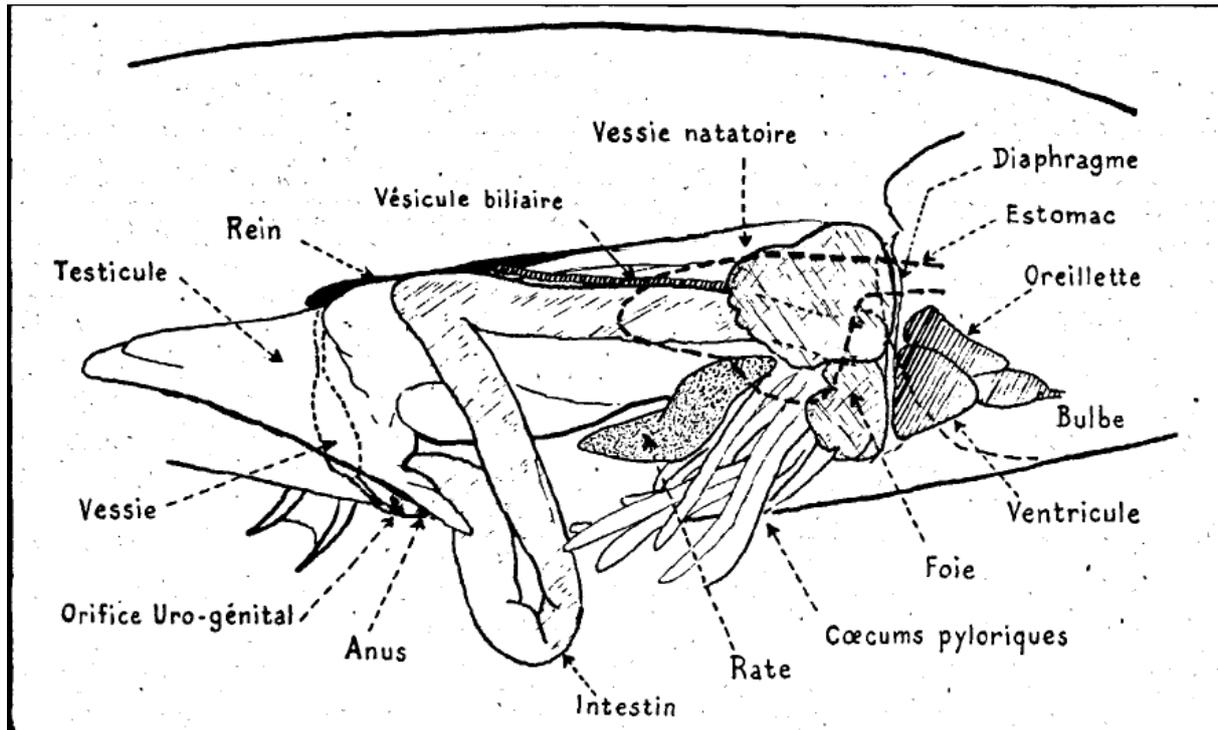


Figure 07 : Anatomie interne de *Trachurus trachurus* (Letaconnoux, 1951)

L'intestin présente deux replis sur lui-même : il quitte l'estomac en formant une boucle vers le fond de la cavité générale, puis revient vers l'estomac avant de se courber à nouveau et de se diriger finalement vers l'anus, positionné sous la première vertèbre caudale. Le foie, de taille réduite, est étroitement apposé contre l'estomac et les coecums pyloriques. Son lobe gauche est massif, sub-triangulaire et plus volumineux que le droit, avec une languette arrondie sur son bord postérieur interne qui débord sur le lobe droit. Il est caractérisé par sa texture molle, sa fragilité et sa teinte brun-jaune. La rate, d'un rouge sombre, est localisée entre les replis de l'intestin et les coecums pyloriques, en arrière du foie. Le pancréas est diffus et partiellement masqué par du tissu adipeux, enveloppant tout le système gastro-intestinal. Les reins, de couleur noirâtre, sont allongés étroitement sous la vessie natatoire, s'étendant de la partie antérieure de la cavité générale jusqu'à la première vertèbre caudale. (Letaconnoux, 1951)

La vessie natatoire est d'ampleur considérable et remplit entièrement la cavité abdominale. Traditionnellement, elle est décrite comme se terminant par deux cornes distinctes séparées par les premières apophyses hiémales du tronc caudal. Dans la figure 16, une vessie natatoire fortement distendue est présentée (**Figure. 08**). Cette dernière semble clairement divisée en deux parties : une partie antérieure légèrement renflée, progressivement affinée, en communication avec la partie

supérieure d'une poche gonflée ressemblant à un ballon et s'étendant jusqu'au contact de l'estomac. (Letaconnoux, 1951)

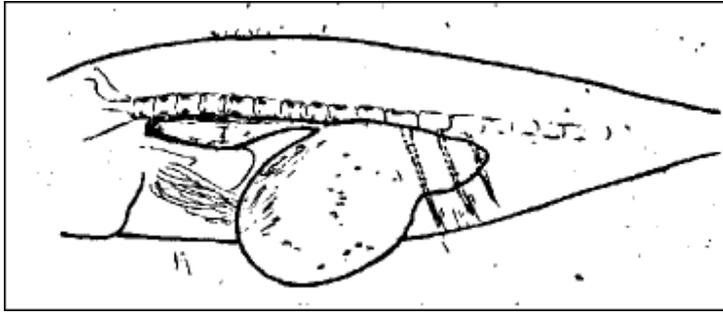


Figure 08 : Aspect de la vessie natatoire artificiellement gonflée (Letaconnoux, 1951).

La partie terminale, plus étroite, occupe la totalité du fond de la cavité abdominale et se termine en un cul-de-sac perforé de trois canaux, légèrement inclinés vers l'arrière, à travers lesquels passent les trois premières apophyses hiémales des vertèbres caudales. Le premier de ces canaux sert également de passage aux uretères, qui relient les reins à la vessie.

Les glandes génitales sont situées sous la vessie natatoire, dans sa région postérieure. Chez les individus prêts à frayer, elles occupent toute la longueur de la cavité générale, débutant en arrière de l'anus et s'étendant jusqu'à la hauteur du foie, à une certaine distance du diaphragme. À ce stade, elles exercent une pression sur tous les organes, et l'estomac est presque systématiquement vide. Leur différenciation sexuelle est aisée grâce à leur coloration ; les testicules présentent une teinte blanc laiteux, tandis que les ovaires affichent une couleur jaune orangé. (Letaconnoux, 1951).

a- Squelette

La mâchoire supérieure est plus courte que la mandibule et est pourvue d'une bande de très fines dents en velours. Sur la mâchoire inférieure, les dents formant la rangée externe sont légèrement plus robustes que les autres, tandis que le chevron, le corps du vomer et les palatins présentent des dents extrêmement petites. Au centre de la langue, on observe une bande assez longue de dents en velours d'une finesse extrême. L'intermaxillaire possède une branche montante développée, lui permettant de se projeter fortement vers l'avant. Le maxillaire supérieur présente à son extrémité postérieure une surface aplatie et élargie, atteignant le niveau du bord antérieur de l'orbite. Son bord supérieur offre un soutien au surmaxillaire, mince mais relativement robuste et allongé, généralement dissimulé par le sous-orbitaire lorsque la bouche est fermée. (Figure. 09)

La partie supérieure du crâne est pourvue de cinq crêtes, sensiblement parallèles mais de longueurs décroissantes, comprenant une crête médiane et deux crêtes latérales. La crête médiane occipitale s'étend du bord antérieur du frontal jusqu'à l'occipital, tandis que la crête interne, plus petite, débute sur le bord supérieur de l'orbite, et la crête externe, encore plus petite, se trouve à l'angle postérieur de l'orbite. (Letaconnoux, 1951).

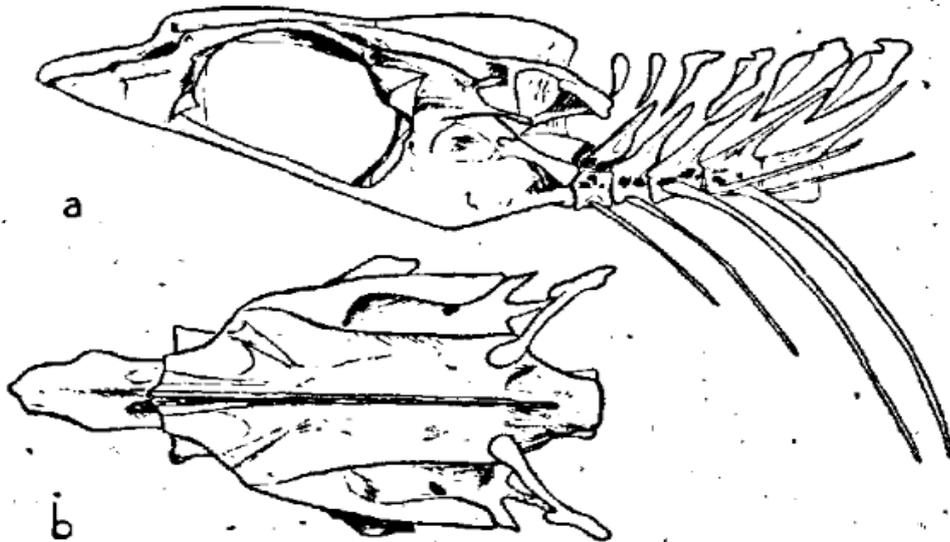


Figure 09 : Crane du chincharid, (a) : vue latérale, (b) : vue dorsale (Letaconnoux, 1951)

Le préopercule est arrondi, avec un espace important entre le bord tranchant et la crête interne aplatie, indiqué par plusieurs pores irréguliers révélant la présence de canaux internes rudimentaires. La branche inférieure est plus courte que la postérieure. L'opercule est environ deux fois plus haut que large, avec une petite entaille postérieure et une autre plus haute. L'interopercule est plus grand que le sub-opercule.

Les os turbinés sont des tubes comprimés de longueur modérée. Le préorbitaire est relativement étroit mais s'élargit en arrière. Le supra-scapulaire et le scapulaire sont peu développés. L'humérus et les os de l'avant-bras forment une cavité profonde dont le fond est presque entièrement osseux, tandis que le radius présente un grand foramen ovale. Le coracoïde est large, s'amincissant vers le bas. Chaque os du pubis se compose de trois lames étroites et se termine postérieurement par un processus court et fin.

Il y a dix vertèbres abdominales et quatorze caudales, avec un rapport de 1,7 entre la première partie de la colonne vertébrale et la seconde. Cependant, certains poissons peuvent présenter un raccourcissement anormal de la région caudale. Les côtes sont munies de fines épines épipleurales et font défaut sur les deux premières vertèbres thoraciques. Les apophyses inférieures des deux dernières vertèbres thoraciques sont reliées par un petit pont osseux. (Letaconnoux, 1951).

4-ÉCOLOGIE DE l'espèce

4-1-Répartition et écologie

Le *Trachurus trachurus* est une espèce pélagique (**Figure.10**) qui se trouve en abondance dans toute la Méditerranée, la mer Noire et les côtes africaines et européennes de l'océan Atlantique. (SMITH-VANIZ, 1986), c'est un excellent nageur et vit dans des bas-fonds, souvent avec des maquereaux, et se trouve généralement sur des fonds sablonneux à des profondeurs de 100 à 200 mètres, parfois en eau profonde jusqu'à 600 mètres de profondeur ou près de la surface. FISHER *et al.* (1987).

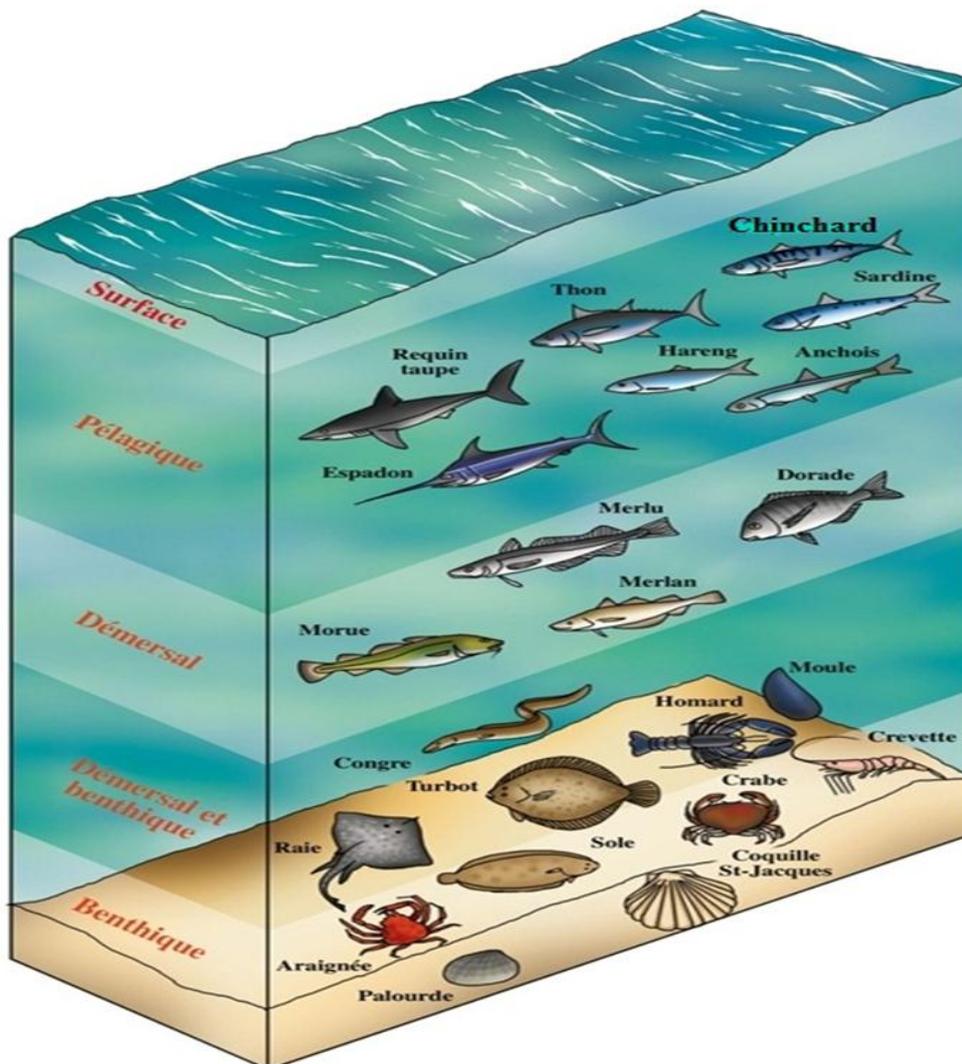


Figure 10 : Schéma montrant les différentes strates de la colonne d'eau (source : Ifremer)

Les pêcheurs distinguent les Saurels de fond qui ont atteint leur première maturité sexuelle et peuvent atteindre une longueur de 60 cm, et les petits Saurels côtiers immatures entre 15 et 30 cm. (Letaconnoux 1951)

Les espèces du genre *Trachurus* sont largement distribuées dans les mers côtières, tempérées, tropicales et subtropicales (Eschmeyer, 2003). Ces poissons peuvent être trouvés dans l'océan Atlantique (Bektas and Belduz 2009) l'Afrique du Sud (Eymard 2003), la mer de Norvège (Campbell 2005), les petites îles, la mer du Nord, la Méditerranée, Marmara et la mer Noire. (Campbell 2005; Bektas 2009). Le chinchard fréquente fréquemment les plateaux continentaux et les bords de talus (-10 à -500 m) (Eymard, 2003 ; Bektas, 2009).

La (Figure. 11) montre la répartition géographique de *Trachurus trachurus*



Figure 11 : Carte montrant la répartition géographique du Saurel *T.trachurus* (FAO 2019)

4-2- Migration

Le Saurel est une espèce de poisson migrateur dont la longévité peut atteindre jusqu'à 9 ans, mais sa mortalité naturelle survient généralement entre 6 et 7 ans. Pour la reproduction, il se rapproche des côtes en hiver, ce qui entraîne une abondance de captures pendant cette période. Cependant, la quantité de captures diminue progressivement à mesure que la saison de reproduction touche à sa fin, car les bancs de poissons, initialement regroupés, se dispersent. Les pêcheurs distinguent deux types de Saurels : les individus de fond, ayant déjà atteint leur première

maturité sexuelle et pouvant mesurer jusqu'à 60 cm de long, et les Saurels des zones côtières, de taille plus réduite, mesurant entre 15 et 30 cm et encore immatures. **(Letaconnoux, 1951)**.

Après avoir frayé, le chinchard migre en direction du nord, le long de la pente du talus continental, pendant les mois de juin et juillet. De juillet à septembre, il demeure au large de la côte norvégienne puis migre jusqu'en mer du Nord centrale en octobre et novembre. Il entame alors une migration du retour vers la zone ouest, en passant par l'Ecosse et les Shetland. Au cours du mois de juin, le chinchard de la mer du Nord migre, depuis la Manche, en direction du nord-est, longe la côte hollandaise où il pond en juillet, puis la côte ouest du Danemark, en août. Aux troisièmes et quatrièmes trimestres, le chinchard abonde dans les parties sud et sud-est de la mer du Nord, mais en octobre, on a pu observer qu'il traversait la Manche en direction de l'ouest et du sud. **(Gherram, 2018)**

Il est possible que les groupes de reproducteurs de l'ouest et ceux de la mer du Nord se mélangent dans la partie centrale de la mer du Nord au cours des troisième et quatrième trimestre, et en Manche occidentale principalement au quatrième trimestre **(Gherram, 2018)**

On dispose de peu d'informations sur le comportement migratoire du chinchard dans le golfe de Gascogne. De plus, la présence de chinchards a été observée, tout au long de l'année, le long des côtes atlantiques de l'Espagne et du Portugal **(Ifremer, 2006)**. Sur les côtes d'Algérie, **(Gruvel, 1923)** les décrit aussi comme arrivant le plus souvent en grandes bandes.

5- Régime alimentaire

Composition du régime alimentaires selon les saisons

Le contenu stomacal de *Trachurus trachurus* a été analysé en fonction de 4 saisons (Tableau03)

Tableau 03: Composition du régime alimentaire du *Trachurus trachurus* (RAHMANI and KOUDACHE 2019)

Cn% Alevin	Classe 01				Classe 02				Classe 03			
	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne	Hiver	Printemps	Été	Automne
AlvindePoisson	0	0	0	0	18,29	13,94	15,56	14,84	53,06	41,61	40,46	71,7
Crevette	12,69	13,11	10,34	20,67	27,26	31	29,05	31,86	11,77	11,69	10,32	9,94
Copépodes	51,11	53,4	49,01	52,04	14,71	13,5	12,56	11,36	4,77	6,59	5,39	2,14
Amphipodes	14,67	8,53	8,34	15,96	12,8	10,75	10,88	11,28	8,7	4,27	5,6	5,02
Naupliures	5,54	6,89	2,94	4,91	3,15	4,38	12,77	10,36	1,22	2,23	2,77	0,26
Œuf	3,16	2,21	2,48	6,42	4,18	7,31	5,66	0,23	0,47	5,8	2,93	3,02
Cumacés	10,64	6,1	15,68	0	5,47	2,5	2,26	2,08	6,51	0,82	5,88	0
Calmars	0	0	0	0	10,12	5,66	7,51	17,99	11,13	13,2	16,98	7,31
Crustacées	1,8	5,25	10,97	0	2,89	0,63	3,5	0	0,3	8,31	8,99	0
Ostracodes	0	1,73	0	0	0	3,44	0	0	0	0,3	0	0
Bran	0	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LarvesE	0	0,54	0	0	0,05	0,28	0	0	0	0,18	0	0
Bivalves	0	0,09	0	0	0,1	1,66	0	0	1,1	0,96	0	0
Rotifères	0	1,49	0	0	0	1,66	0	0	0	0,3	0	0
Ours	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stomapodes	0	0	0	0	0,88	0	0	0	0	1,56	0	0
Crabes	0	0	0	0	0,1	0,81	0	0	0,43	0,42	0	0,61
Mollusques	0,11	0,03	0	0	0	0,22	0,1	0	0,06	0,72	0	0
Echinodermes	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0
Poly	0	0	0	0	0	0,28	0	0	0	0	0	0
Cténaires	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0
Algues	0	0	0	0	0	0,88	0	0	0	0,14	0	0
Annélides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,18	0	0
Nématodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,66	0	0
Cnidaires	0	0	0	0	0	0,03	0,15	0	0	0,06	0,05	0
Proie	0,28	0,45	0,24	0	0	0,88	0	0	0,18	0	0,63	0

Les différentes classes mentionnées dans le tableau sont :

Classe 01 : longueur totale \leq 12 mm..... Petit.

Classe 02 : 12 cm < longueur totale < 20 cm..... Moyen.

Classe 03 : longueur totale \geq 20 cm..... Gros.

Le Pourcentage en nombre d'une proie (Cn %)

C'est le rapport (en pourcentage) du nombre total d'individus d'une proie p sur le nombre total des diverses proies ingérées par lot de n poissons.

$$Cn \% = 100 * Pi / P$$

Pi : nombre total d'individus d'une proie p, P : le nombre total des diverses proies.

D'après ce pourcentage (Cn), les types de proies ont été classés en quatre catégories :

Cn > 50 %, proies préférentielles qui sont à la base du régime.

10 % < Cn < 50 %, proies secondaires qui constituent la nourriture d'appoint.

1 % < Cn < 10 %, proies complémentaires.

Cn < 1 %, proies accidentelles

Les résultats obtenus dans le tableau ont montré que le Chinchard commun (*Trachurus trachurus*, L 1758) est une espèce omnivore (benthopélagique), dont le spectre alimentaire se compose essentiellement de Crustacés (Copépodes, Crevettes, Amphipodes, Cumacés), Céphalopodes (Calmars) et les vertèbres (Alevins de poissons). Chez les deux premières classes de taille (1 et 2 : Lt < 20 cm) les Crustacés constituent le groupe de proies le plus important, pour la classe 03 (Lt > 20 cm) les Alevins de poissons (anchois, sardine) constituent le groupe de proies le plus préférables. Nous concluons que le régime alimentaire de ce poisson est très flexible car il change de proie proportionnellement à la capacité de prédation et aux conditions environnementales. (RAHMANI and KOUDACHE 2019)

6-Pêche du Saurel

La pêche du Saurel peut se faire avec plusieurs moyens de pêche comme la senne coulissante et de plage, filets lamparos, chaluts de fond et pélagiques, filets maillants, palangres de fond et aussi lignes à main. Régulièrement présent sur les marchés il est commercialisé frais, réfrigéré, salé il est aussi utilisé comme appât. Les chinchards se mêlent souvent aux maquereaux (F.A.O., 1988).

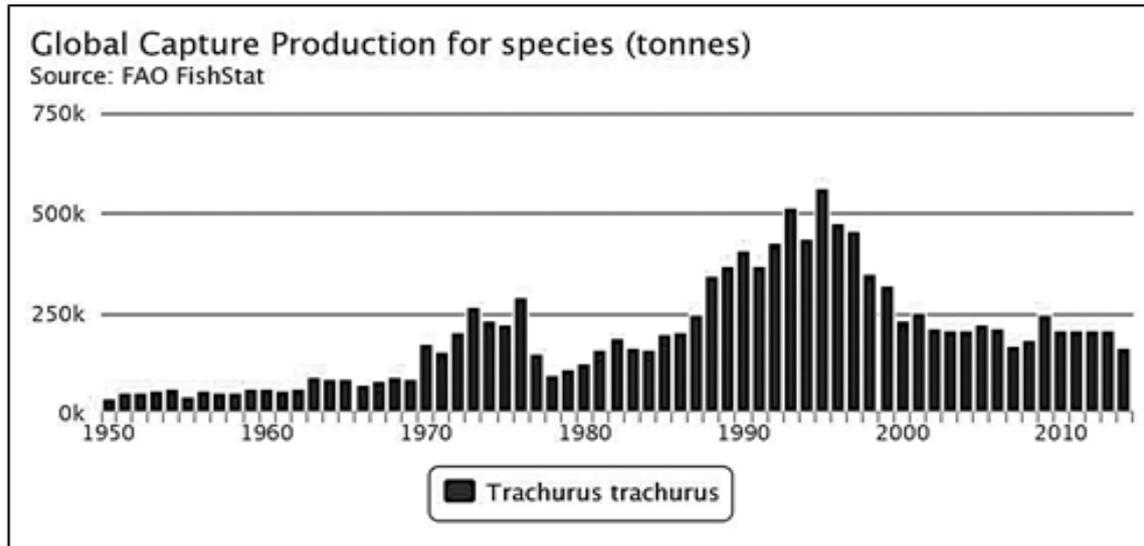


Figure 12 : Capture et production globale en tonne de *Trachurus trachurus* (FAO,2018)

En Algérie, les captures nationales sont difficilement chiffrables dans la mesure où elles ne sont pas individualisées dans les statistiques disponibles (les valeurs disponibles regroupant l'ensemble des squalidés). (Belhoucine, 2005)

Cependant, la pêche professionnelle est une activité importante en Algérie. La pêcherie algérienne est avant tout multispécifique et très vulnérable à la pêche intensive. La consommation de poisson disponible dans le commerce peut être divisée en deux catégories : poisson blanc et poisson bleu (HEMIDA F., 1987)

Selon les statistiques halieutiques du Secrétariat, au Plan (1976-1978) et de certains grands ports de pêche algériens, les ressources halieutiques globales de l'Algérie sont dominées par les pélagiques, dont le tonnage débarqué est proche de 80% à 84% du tonnage global.(Djabali 1988)

Partie III : Description et caractérisation des sites d'étude

1- La méditerranée

Le terme Méditerranée vient du latin *mediterraneus* qui veut dire centre de la terre –*medius* pour milieu et *terra* pour terre, Elle doit son nom au fait qu'elle est littéralement une *mer au milieu des terres*, en latin *mare medi terra* selon Isidore de Séville au VIIe siècle (RAHMANI et al., 2010).

La mer Méditerranée est une intracontinentale presque fermée située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie et qui s'étend sur une superficie d'environ 2,5 millions de km carrés (Tableau.04). Son ouverture vers l'Océan Atlantique par le détroit du Gibraltar est seulement de

14 kilomètres de large (RAHMANI et al, 2010). Du point de vue hydrodynamique, la Méditerranée occidentale est une région complexe où coexistent différents types d'eau. Elle est affectée par un climat aride, avec de médiocres précipitations (Bensahla, 2014)

De ce fait, les pertes d'eau douce par évaporation sont supérieures aux apports issus des précipitations, des fleuves et de la mer Noire : la mer Méditerranée est un bassin de concentration et d'évaporation (Bryden, Candela et al. 1994)

Tableau 04 : Géopolitique de la Méditerranée (RAHMANI et al, 2010).

Caractéristiques	
Superficie	2 510 000 km ²
Profondeur	
✓ Maximale	5150 m
✓ Moyenne	1500 m
Type	Mer bordière
Géographie	
localisation	Mer adjacente de l'océan Atlantique
Pays riverains	Espagne, Royaume-Uni (Gibraltar), France, Monaco, Italie, Malte, Slovénie, Croatie, Bosnie-Herzégovine, Monténégro, Albanie, Grèce, Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Palestine, Egypte, Libye, Tunisie, Algérie , Maroc

Dans le cadre de notre étude sur l'espèce *Trachurus trachurus*, nous avons procédé à un échantillonnage dans deux localités distinctes : Ghazaouet et Bénisaf. L'échantillonnage sur ces sites permet d'obtenir une vue d'ensemble plus précise offrant ainsi une base solide pour nos analyses ultérieures.



Figure 13 : Position géographique de Ghazaouet et Bénisaf (Atlas, Encarta 2008)

2-Site de Ghazaouet

Ghazaouet, autrefois connue sous le nom de Nemours à l'époque coloniale française, est une petite ville de la province de Tlemcen en Algérie, près de la frontière marocaine, à 72 km au nord-ouest de Tlemcen et à 50 km au nord de Maghnia, et à 34 kilomètres vol de oiseau de la ville de Saidia dans l'Est du Maroc. Ce fut le premier port de pêche du pays et fut construit en 1846 sous la forme d'une jetée en bois.

Le Port de Ghazaouet est situé dans une zone à fort potentiel économique. Il forme la façade maritime de plusieurs wilayas à l'ouest et au sud-ouest. Ses activités peuvent même s'étendre au-delà des frontières occidentales du pays en raison de son accessibilité et de la qualité des services qu'il offre.

La Commune côtière située au centre des monts des Traras, a un relief accidenté et légèrement parallèle à la côte (**Hattab and Gaouar 2018**) Couvrant une superficie de 28 km². La ville 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.
- À l'Est, par la commune de Dar Yaghmoracen.
- À l'Ouest, par la commune de Souahlia (Tounane) (**MEKKAOUI 2013**)

Coordonnées géographiques :

- Latitude : 35° 6' 0''N
- Longitude : 1° 51' 0''W
- Altitude en M : 118 (**fr.getamap.net, 2024**).

Le port commercial de Ghazaouet a été réalisé en trois phases :

- La construction de port, de 1908 à 1931.
- La réalisation de deux bassins, de 1932 à 1939.
- L'extension du port vers l'ouest, de 1953 à 1958. (**Haddoum, 2016**)

2-1-Hydrologie

Trois bassins versants concernent le territoire de la commune de Ghazaouet et ses communes voisines, classés par importance sont respectivement Oued Ghazouana, couvrant une superficie de 285km², Oued Abdellah a une superficie de 15 kilomètres carrés et El Kelba a une superficie de 7,5 km² (**M.A.T.E, 2007**)

Les principales rivières qui se jettent dans la côte de Ghazaouet sont :

-Oued Ghazaouana traverse le centre-ville et est considéré comme la plus grande vallée fluviale de la région.

-Oued Abdellah, à l'ouest de la ville, débouche sur une petite plage connue sous le nom de "Premier Canyon".

-Oued el Ayadna provient de la chaîne de montagnes des Traras, qui est plus petite que les autres vallées de l'oued (**A.N.A.T, 2000**).

2-2-Climatologie

Le climat est un facteur écologique très important qui impacte le milieu naturel

Le climat de Ghazaouet est influencé par plusieurs paramètres :

-Son exposition découverte au nord sur le littoral.

-Sa situation abritée par les monts des Traras. (**P.D.A.U 1996**)

Le climat de la zone d'étude est un climat typiquement méditerranéen, essentiellement en étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par des hivers doux et des étés plus ou moins secs. La période des pluies est courte et froide, avec des précipitations irrégulières d'octobre à mars de l'année suivante ; la période sèche est longue qui dure jusqu'à 8 mois, distinguée par de faibles précipitations et des températures élevées.

2-3-Sédimentologie

La zone de Ghazaouet présente une couverture sédimentaire comme suit :

-Une zone à substratum consolidé.

-Une zone à sédiments calcaires.

-Une zone de sédiments argilo siliceux (**Figure. 04**)

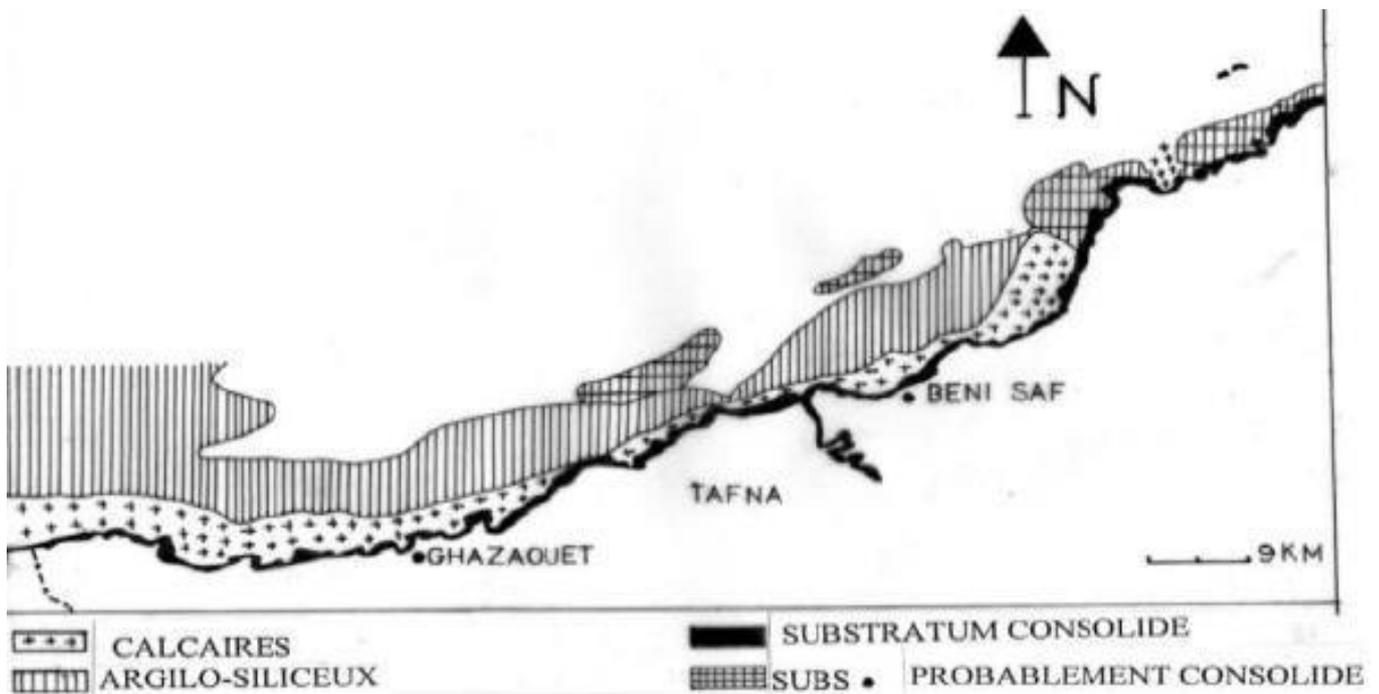


Figure 14 : Nature du sédiment marin. (Leclaire 1972)

Les études sédimentologiques menées par ((L.S.M.A.L 1994)ont confirmé le caractère argileux des sédiments du niveau du port, constitués de sable moyen (granulométrie médiane moyenne 550 microns). Ce sont des courants générés par la houle d'ouest au nord, qui ont pour effet de repousser les sédiments transportés par l'Oued vers l'intérieur du port, où ils se déposent (sable fin 150 microns).

2-4-Courantologie

La partie occidentale de la Méditerranée présente deux principaux courants : le courant du Nord et le courant Algérien. (Millot 1989). Ces derniers se différencient par l'importance relative de leur variabilité selon l'échelle saisonnière pour le premier et moyenne pour le second. (Figure. 15)

Les phénomènes turbulents entraînent un mélange intense entre les eaux atlantiques et méditerranéennes, produisant ainsi un gradient de salinité important (34 à 36,5 ‰).

Les phénomènes courantologies affectent la propagation des polluants et a des implications sur les ressources biologiques de la région.

Dans la baie de Ghazaouet, on note un courant issu de l'étranglement formé par la pointe Ouest et les îlots des deux frères et des deux soeurs par vents Ouest. (Millot, 1989).

90 ans est le temps nécessaire du renouvellement des eaux avec un brassage vertical complet qui s'effectue en 250 ans (Rossi and Jamet 2008)

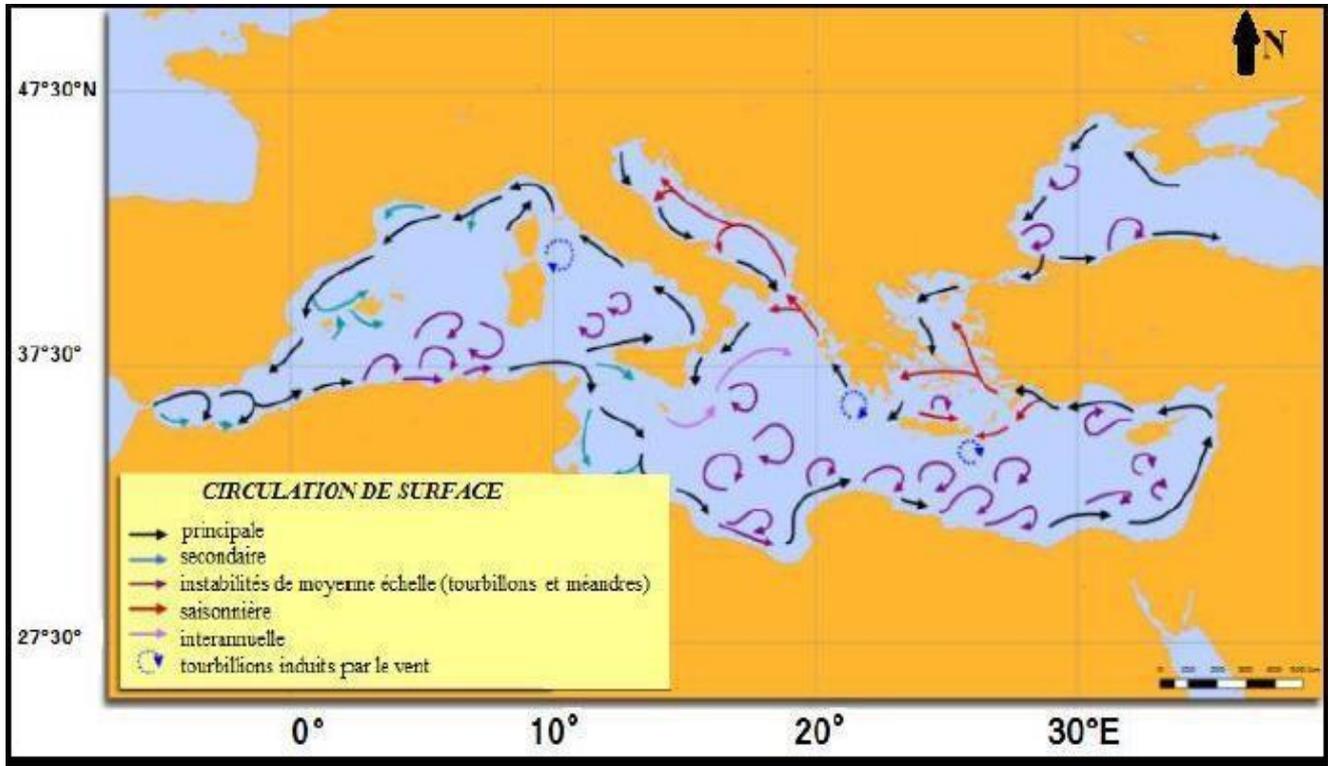


Figure 15: Circulation générale du courant de la mer Méditerranée (Millot and Taupier-Letage 2005)

2-5-Rejets urbains et leurs apports au milieu marin

3.5m³/heure est le débit des eaux résiduaires industrielles recyclées rejetées dans le milieu marin de Ghazaouet en provenance de l'unité d'électrolyse de zinc (ALZINC) (D.P.R.H.T 2006)

Ces rejets contenant des métaux lourds ont été rejetés dans le milieu marin, entraînant une contamination de la vase de fond, aggravée par le stockage sauvage des déchets de lixiviation du zinc sur la falaise qui surplombe la mer et l'usine (D.P.R.H.T, 2006).

Les rejets urbains sur le golfe de Ghazaouet apportent plusieurs éléments au milieu marin :

- Apport de macro déchets dans la mer (plastique, verre, boites métalliques) lors des épisodes pluvieux liés à la présence permanente de ces déchets dans les oueds.
- Apport de matière organique et particulaire dans les sédiments.
- Apport d'hydrocarbures.
- Apport de substances nutritives (N et P).
- Apport des métaux lourds d'origine anthropique (Zn, Pb, Cu...etc).

- Apport de sable ou d'argile lors des épisodes de pluie ou de crues (M.A.T.E, 2007).
- Contamination bactériologique et virale des eaux marines (M.A.T.E, 2007).

2-6-Rejets atmosphériques

Les principales émissions de gaz dans l'atmosphère sont principalement identifiables au niveau de l'usine d'acide sulfurique lorsque la conversion du dioxyde de soufre est mauvaise ou lors de l'arrêt et du redémarrage de l'usine. Ces rejets se produisent lors de la production de zinc par voie électrolytique, et leur composition est faite de :

- Poussières contenant du Zinc et du Cadmium provenant du procédé de fonte des cathodes
- Poussières contenant des métaux lourds provenant du maniement des matières premières et du produit de grillage
- Des aérosols, contenant du Zinc, du Cadmium et de l'acide sulfurique provenant du traitement des résidus.
- Du gaz perdu, contenant de l'anhydride sulfurique (H₂SO₃) provenant de la production d'acide sulfurique (D.E.T, 2004).

Dans la baie de Ghazaouet, par vent soufflant de l'Ouest, un courant est issu de l'étranglement formé par les îlots des deux frères et des deux soeurs, et la pointe Ouest. Ces courants influent sur l'épandage des polluants dans la région (LEM., 1997) (Tableau 05)

Tableau 05 : Rejets de métaux lourds d'origine domestique à Ghazaouet (M.A.T.E, 2007)

Estimation des rejets en mer En métaux lourds	Zone ouest	Centre-ville de Ghazaouet et Exutoire Oued Ghazouana	Zone est et front de mer	Total rejet en mer	Total rejet en mer
Unités	g/j	g/j	g/j	g/j	Kg/an
Cu	5,75	0,5	2	8,25	3,0
Zn	4,6	0,4	2,8	7,8	2,8
Pb	11,5	1	4	16,5	6,0
Cd	11,5	1	4	16,5	6,0
Fe	2588	225	2040	4853	1771

2-7-Chronologie des pratiques à ALZINC

2001: Mise en place d'un dispositif de réduction des émissions gazeuses (SO₂) (Réduction du taux de soufre rejeté de 0.2 à 0.04%). Renouvellement des fours de séchage et d'absorption.

2005: Création d'un nouveau site de stockage des résidus de traitement dont la durée de vie est estimée à 10 ans.

2006: certification ISO 14001.

Transfert des déchets stockés sur la crête de falaise avec création d'un centre de stockage de déchets ultimes (CSDU) hors de la bande littorale en concertation avec la direction de l'environnement de la wilaya de Tlemcen et du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. (M.A.T.E, 2007).

3- Site de Béni Saf

Béni Saf, une région côtière, se trouve sur le littoral nord-ouest de l'Algérie, positionnée à 30 km d'Aïn Témouchent. Sa limite nord est bordée par la mer Méditerranée. (Figure. 16)

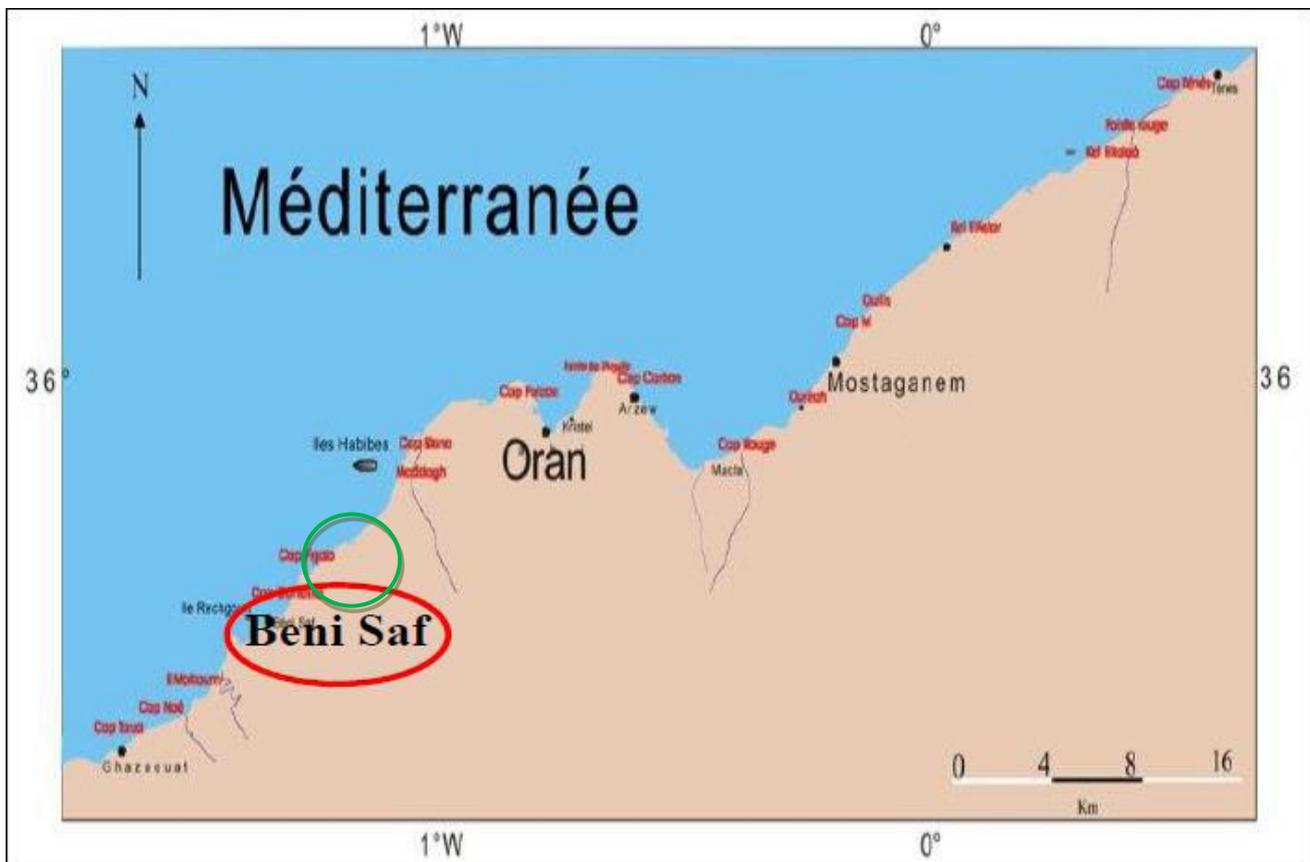


Figure. 16 Localisation géographique de la zone d'étude (Béni saf) (Seddikioui, 2011)

La baie de Béni saf s'étend entre les îles Habibas à l'est et la pointe de Rechgoune à l'ouest, entre les longitudes 1°10 et 1°30 West (**Figure**) sur une étendue de 14 Km de cote. Les fonds marins de cette région forment le plateau continental le plus étendu du littoral algérien, puisqu'il s'étend jusqu'à 10 milles des côtes (**Seddikioui, 2011**).

Des études portant sur la nature des fonds de pêche montrent que la zone, après la côte, est formée de sable plus ou moins pur parsemée de rochers, rencontrant la même couverture visqueuse très molle à 5 ou 6 milles au large ; d'aspect ou plus ou moins gris pas trop sombre, laissant place sur une largeur d'environ 2 ou 3 miles à un fond sableux coquilliers plus ou moins grossiers, mêlé à un peu de vase, puis fond vaseux noir mou à nouveau jusqu'au plateau continental.

A l'Est de la baie, à proximité de la côte où se trouvent les îles Habibas, autour desquelles les fonds sont d'une centaine de mètres, on trouve non seulement de nombreuses têtes de roches disséminées autour des îles même, mais aussi du sable plus ou moins vaseux ou coquillier. (**Seddikioui, 2011**).

Le port de Benisaf a été construit en 1877 est l'un des premiers ports de pêche avec une production moyenne de 5000 tonnes/an (**P.D.A.U, 1996**), orienté vers le nord, avec deux bassins. L'un est réservé aux chalutiers et le second regroupe les sardiniers et le petit commerce, au milieu d'une baie qui s'étend sur environ 14 kilomètres. Ses coordonnées géographiques sont : Longitude Ouest 01°23'16", Longitude Nord 35°18'26". (**Seddikioui, 2011**).

L'accès au port s'effectue par une passe d'environ 160 m de large qui donne sur un plan d'eau de 17 ha. le port est abrité par une digue Nord de 500 m qui se raccorde avec la jetée ouest de 400 m, par courbe de 60 m de rayon. Le quai Sud de 500 m de long, scindé en deux parties, dont l'une réservée au débarquement des produits halieutiques et l'autre à l'entretien et à l'avitaillement. Le quai est de 270 m sert à l'accostage des navires de pêche. **Seddikioui, L. (2011)**.

La zone industrielle de Béni-Saf se limite à une seule unité fonctionnelle : la cimenterie dont les influences des rejets atmosphériques de la région sont néfastes sur l'environnement.

Les reliefs surplombant la mer, sont formés de falaises abruptes, taillées dans des formations grésosableuse, peu consolidées (**A.N.A.T, 1996**). Le calcul du Q2 d'Emberger permet de situer Béni-Saf dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver chaud.

III- Matériel et méthodes

1-Intérêt du matériel biologique choisi

Étant donné que l'homme se trouve en bout de chaîne alimentaire et qu'il peut être exposé à la consommation fréquente de poissons qui accumulent des éléments toxiques tels que les métaux lourds, les produits de la mer peuvent avoir des conséquences graves sur la santé publique et entraîner des problèmes pathologiques sérieux. Pour cela, l'espèce carangidé *Trachurus trachurus* (Linné, 1758) a été choisi comme matrice d'étude, c'est un poisson très consommé et apprécié par la population.

2-Echantillonnage

L'échantillonnage que nous avons réalisé est mensuel et s'est étalé tout le long de l'année 2018, du Mois de Janvier jusqu'à Décembre. Chaque Mois 10 Individus sont achetés à la pêche dans deux zones différentes, le golf de Ghazaouet et la baie de Béni Saf.

Les individus prélevés sont mis dans des sachets en plastiques recouvert de glace et puis transportés dans une glacière et placés dans un congélateur à l'arrivée en évitant toute contamination métallique jusqu'au jour de la dissection.

Au total 240 individus de *Trachurus trachurus* ont été collectés tout le long de l'année 2018

3-Mensuration et pesée

Une fois au laboratoire, les poissons seront soumis en premier lieu à des mensurations. Nous avons effectué les mesures suivantes : le poids total, qui représente le poids du poisson mesuré à l'aide d'une balance, et la longueur totale, qui est mesurée des deux extrémités du poisson

4-Dissection et conservation des organes cibles

Le poisson est placé sur la face dorsale contre une planche de dissection. Ensuite, une incision est pratiquée le long de la paroi abdominale, partant de l'anus jusqu'à l'extrémité antérieure des fentes operculaires. Les deux volets latéraux sont délicatement écartés, permettant ainsi de révéler la structure interne de l'animal et de localiser les différents systèmes (circulatoire, respiratoire, digestif, uro-génital) ainsi que les organes spécifiques. Le cœur se trouve à l'avant de la cavité abdominale, tandis que le foie est situé dans la partie antérieure, juste derrière le cœur. Les deux reins sont adjacents et situés dorsalement, tandis que les deux gonades se trouvent du côté ventral des reins, les recouvrant plus ou moins.

Les deux organes cibles sont les gonades et le filet. De ce dernier on prélève 1 gramme de chaque individu. Les gonades sont prélevées et pesées entièrement. Les deux matrices (gonades et filet) sont conservées dans des boîtes de pétrie étiquetées avec les informations suivantes : numéro du poisson, date et zone d'échantillonnage. Les organes sont ensuite congelés à basse température dans un congélateur en vue d'une analyse chimique ultérieure.

Les organes sont ensuite congelés à basse température dans un congélateur en vue d'une analyse chimique ultérieure.

5-Méthode de minéralisation

La plupart des méthodes permettant l'analyse des éléments traces dans des matrices biologiques utilisent la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) ou Spectrométrie de masse par plasma à couplage inductif (ICP) qui nécessitent des étapes de digestion/dissolution. En effet les étapes de décomposition de l'échantillon et de transformation en une phase liquide homogène avant l'analyse sont nécessaires (Batista, Rodrigues *et al.* 2009). Ainsi, la préparation d'échantillon reste l'étape essentielle de ces méthodes et l'efficacité de la méthode de digestion est particulièrement importante pour obtenir des résultats précis et reproductibles.

La minéralisation peut être réalisée par voie sèche ou par voie humide et nous avons opté pour cette dernière qui s'impose, permettant par l'utilisation de milieux acides, la limitation des pertes par volatilisation comme dans le cas du dosage de l'arsenic ou du sélénium et autres. La minéralisation par voie humide est le processus le plus utilisé actuellement, qui se prête bien à l'analyse en série Il est ainsi aisé d'opérer à température contrôlée, simultanément sur de nombreux échantillons placés dans un thermostat. (Labat 2010).

5-1-Minéralisation par voie humide

Cette méthode peut être utilisée pour doser les éléments suivants : l'arsenic, le cadmium, le plomb, le zinc et le cuivre présents dans les différentes matrices qui contiennent de l'eau. Toute tentative de détection d'une substance minérale toxique dans les tissus organiques nécessite invariablement une minéralisation, conduisant ainsi à une décomposition totale de la matière organique. (Amiard, Pineau *et al.* 1987)

On Suit la Synoptique du protocole de minéralisation et de dosage en spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme de (Amiard, Pineau *et al.* 1987) (Figure 16)

- Peser 1 g d'échantillon de nos organes cibles (Gonades et filet) et les mettre dans un tube.
- Ajouter 1ml d'Acide Nitrique Concentré. (HNO₃)
- Sélectionner le programme pour une température de 95° pendant une heure.
- Diluer l'échantillon jusqu'à 4 ml avec de l'eau bidistillé.
- Analyser l'échantillon par la S.A.A. (**Figure 17**)



Figure 17 : Minéralisation par voie humide

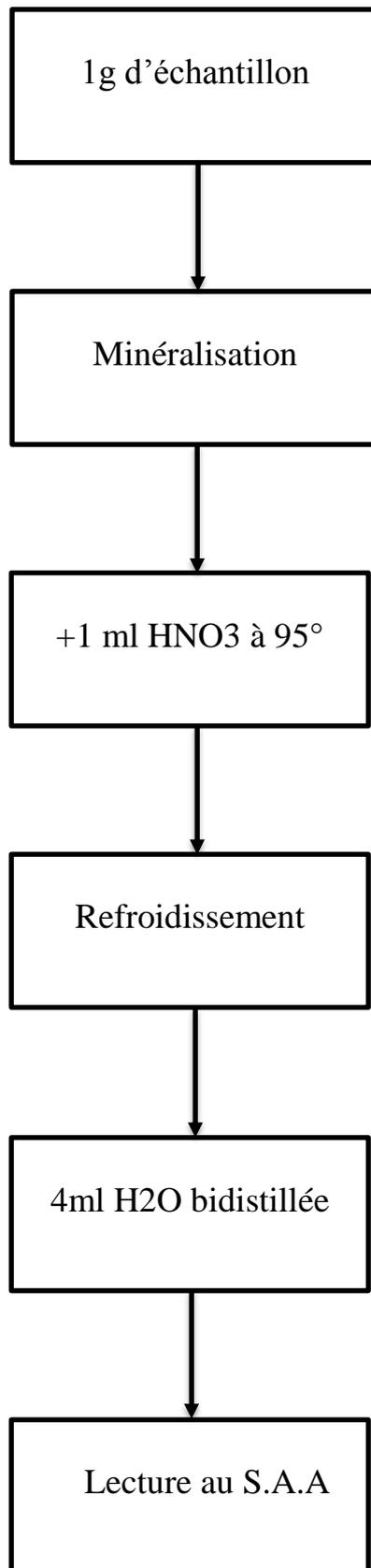


Figure18 Protocole de minéralisation et de dosage en Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (Amiard, Pineau *et al.* 1987)

6-Analyse chimique par la Spectrométrie d’Absorption Atomique (SAA) à Flamme

6-1-Principe de la SAA

La Spectrométrie d’Absorption Atomique examine les émissions ou les absorptions de lumière par les atomes libres, c'est-à-dire lorsque les niveaux d'énergie des électrons passent d'une orbite électronique à une autre. Dans le cadre des analyses en Spectrophotométrie d’Absorption Atomique, une solution contenant des éléments métalliques est introduite dans le brûleur de l'appareil, où elle est convertie en une vapeur d'atomes libres dans une flamme air-acétylène ou par un atomiseur électrothermique. Cette vapeur, désormais composée d'atomes libres, est exposée à une source lumineuse émise par une lampe à cathode creuse contenant le métal à analyser. Les atomes de l'échantillon dispersés dans la vapeur absorbent une partie du rayonnement lumineux, entraînant ainsi une réduction de l'intensité lumineuse. (F.A.O., 1977).

La SAA fonctionne selon la **loi de Beer Lambert** (loi d'absorption en absorption atomique), qui est comme suit : L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique ϵ , au trajet optique L et à la concentration C.

La formule :

$$A = \text{Log} (I_0 / I) = \epsilon L C$$

A : l'absorbance (sans unité)

ϵ : COEFFICIENT d'extinction molaire (en $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$)

L : Longueur du chemin optique constante = longueur de la source d’atomisation (en cm)

C : Concentration dans la solution de l’élément considéré. (En Mol/L)

I_0 : Intensité de la radiation incidente.

I : Intensité de la radiation transmise

Les techniques principales de spectroscopie atomique utilisées en analyse chimique incluent :

- L'émission d'arc ou d'étincelle, principalement utilisée pour une analyse qualitative préliminaire.
- L'émission de flamme et l'absorption atomique, qui sont principalement utilisées pour une analyse quantitative des éléments présents en faibles concentrations.
- Ces méthodes permettent la quantification d'environ soixante éléments chimiques présents à l'état de traces, généralement en concentrations de quelques milligrammes par litre.



Figure 19 : Appareil de spectrométrie atomique de Marque : PERKIN ELMER INSTRUMER ANALYST 300



Figure 20 : Lampe de type HCL pour le Cr, Zn, Cd, Pb, et le A

6-2- Etalonnage

L'étalonnage a été effectué en utilisant une gamme de concentrations relatives aux échantillons. Pour chaque métal à analyser, des échantillons standards ont été préparés à partir des solutions mères. Il est important que les concentrations des échantillons biologiques se situent dans la plage des concentrations des solutions standards, comme recommandé par (Pinta, Baudin *et al.* 1979). Pour chaque métal, une courbe étalon relative à la concentration de nos échantillons a été établie en se basant sur les solutions standards mères. Cette approche nous permettra de procéder à des dosages précis en Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

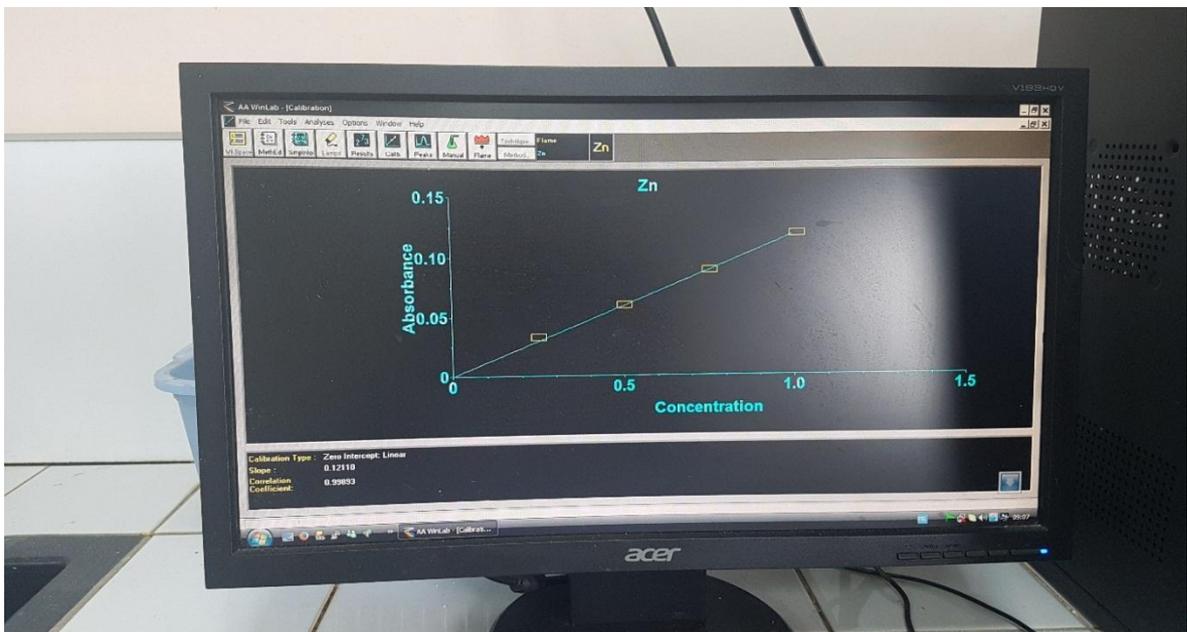


Figure 21 : Courbe d'étalonnage du Zinc

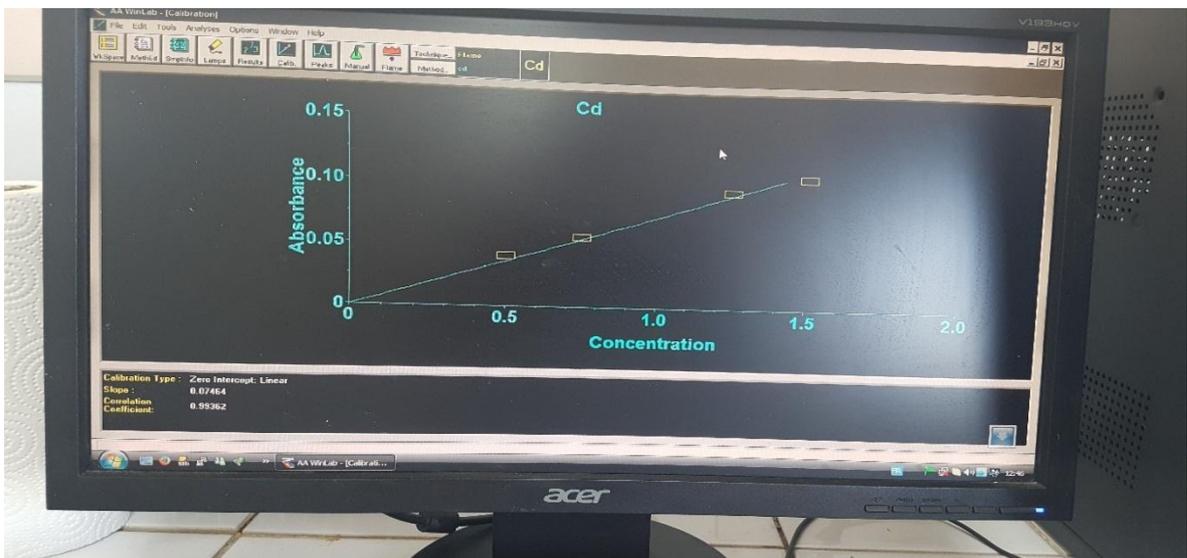


Figure 22 : Courbe d'étalonnage du Cadmium

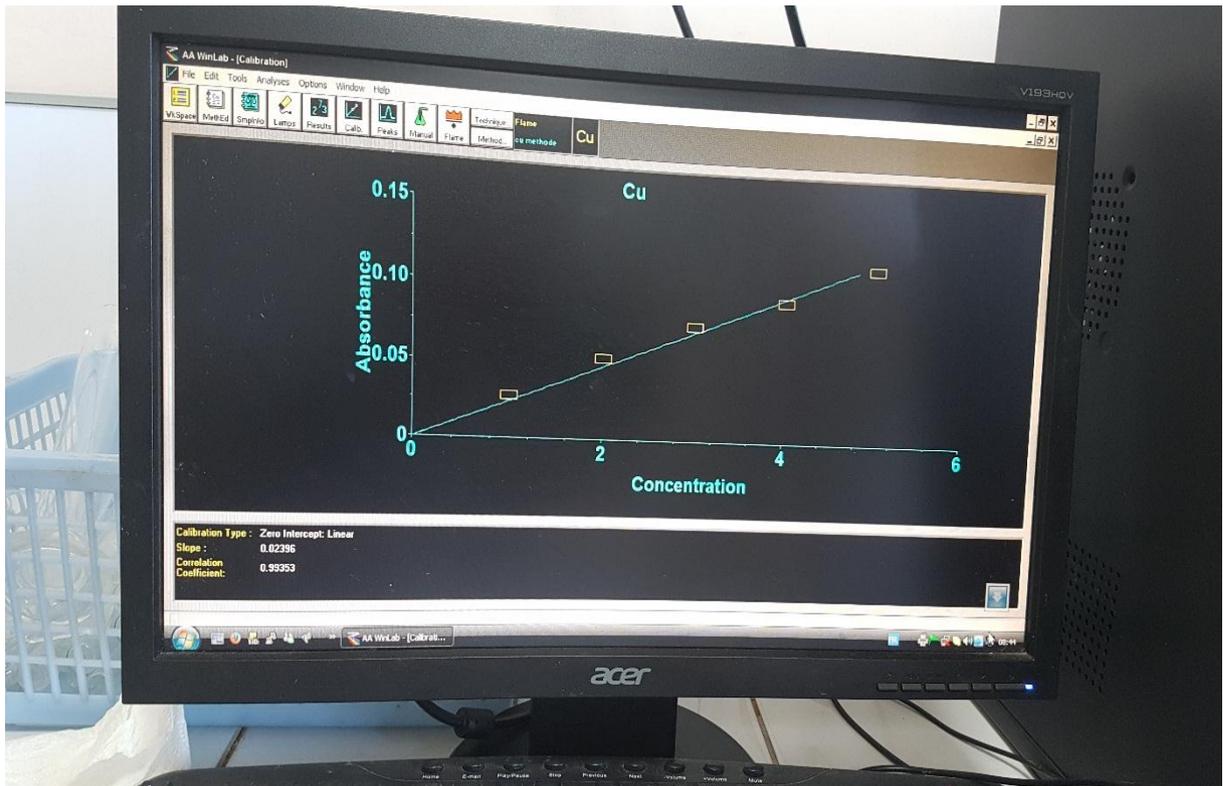


Figure 23 : Courbe d'étalonnage du Cuivre

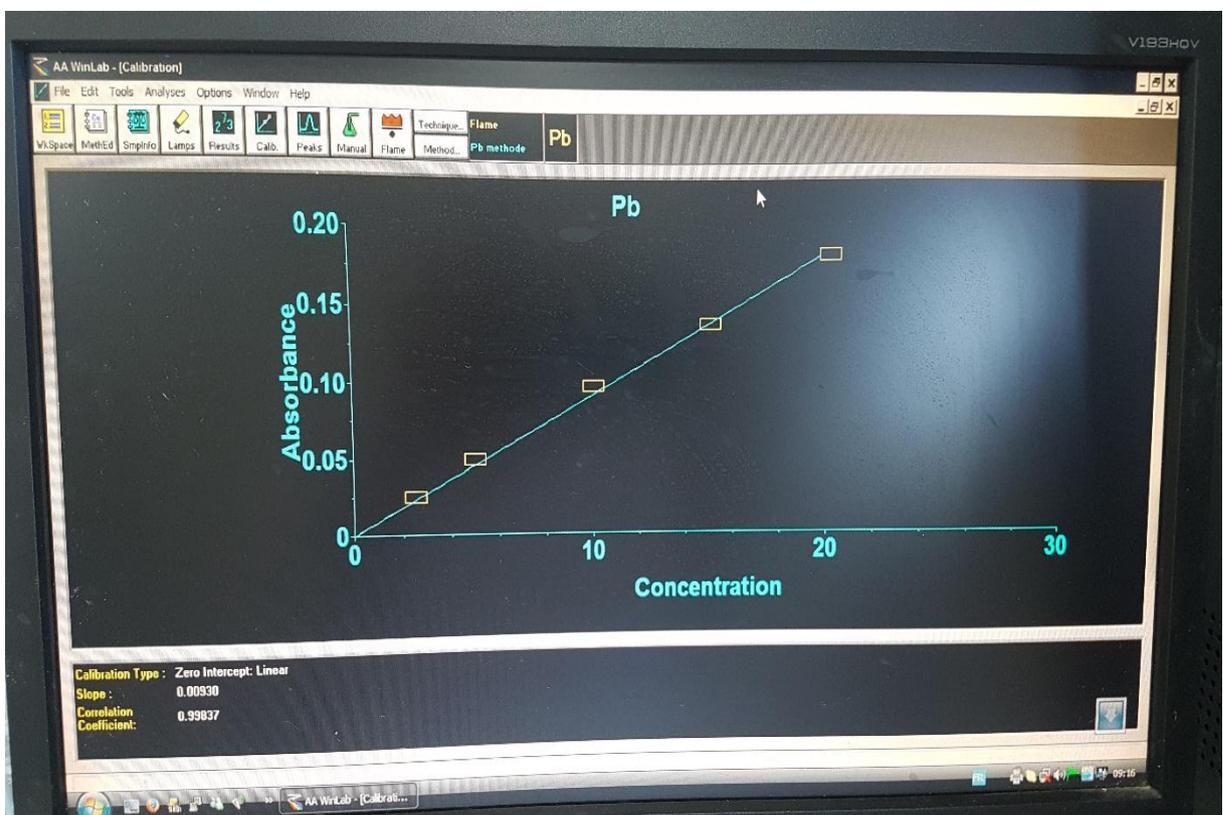


Figure 24 : Courbe d'étalonnage du Plomb

IV- Résultats et discussion

1-Analyse biométrique

La croissance en longueur ou en poids d'un individu est évaluée entre deux périodes d'échantillonnage. Très souvent les biologistes établissent une relation entre le poids et la longueur corporelle (Le Cren 1951). En effet il existe une corrélation linéaire entre le poids et la longueur comme l'indique la relation suivante : $W = aL_t^b$

W = le poids en g

L_t = Longueur en cm

a et b sont des constantes.

$\ln W = \ln a + b \ln L_t$: Ceci est une équation de droite avec :

b: la pente de la droite de régression

$\ln a$: la valeur de l'ordonnée à l'origine

Dans notre étude le calcul a été fait sur les 240 individus de *Trachurus trachurus* échantillonnés dans la zone de Ghazaouet et de Bénisaf tout le long de l'année 2018.

L'étude des 120 individus de la zone de Ghazaouet a donné l'équation suivante:

$$W = -4,44L_t^{2,87} \quad a = -4,44 \quad b = 2,87$$

Et pour l'étude des 120 individus de la zone de Bénisaf a donné l'équation suivante :

$$W = -4,73L_t^{2,93} \quad a = -4,73 \quad b = 2,93$$

Le coefficient d'allométrie b peut varier de 2 à 4, mais il se situe généralement autour de 3. Lorsque b est égal à 3, on observe une croissance isométrique, ce qui signifie que la densité spécifique de l'animal reste constante. Si b est supérieur à 3, l'allométrie est dite majorante, ce qui indique que le poisson grossit plus rapidement que sa croissance en longueur. En revanche, dans notre étude le b est inférieur à 3 dans les deux zones d'étude, donc l'allométrie est dite minorante, ce qui signifie que le poisson grandit en longueur plus rapidement que son gain de poids.

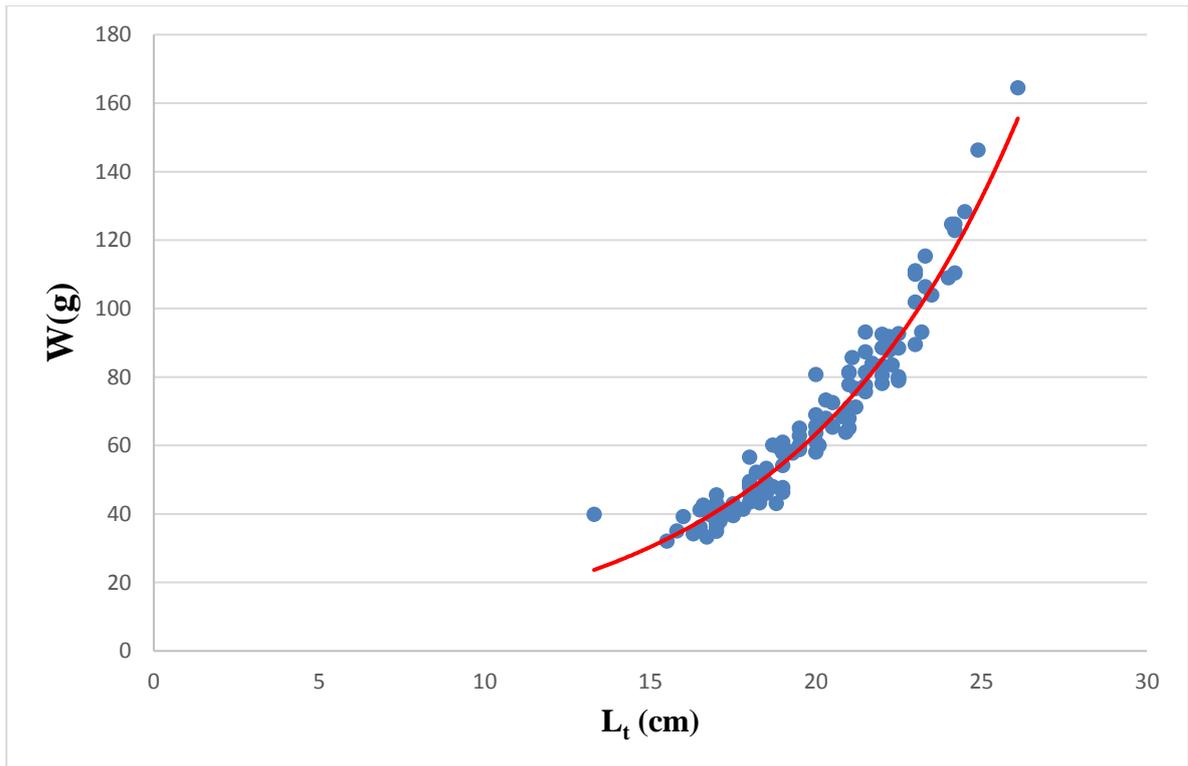


Figure 25 : Croissance pondérale des *Trachurus trachurus* échantillonnés dans la zone de Ghazaouet

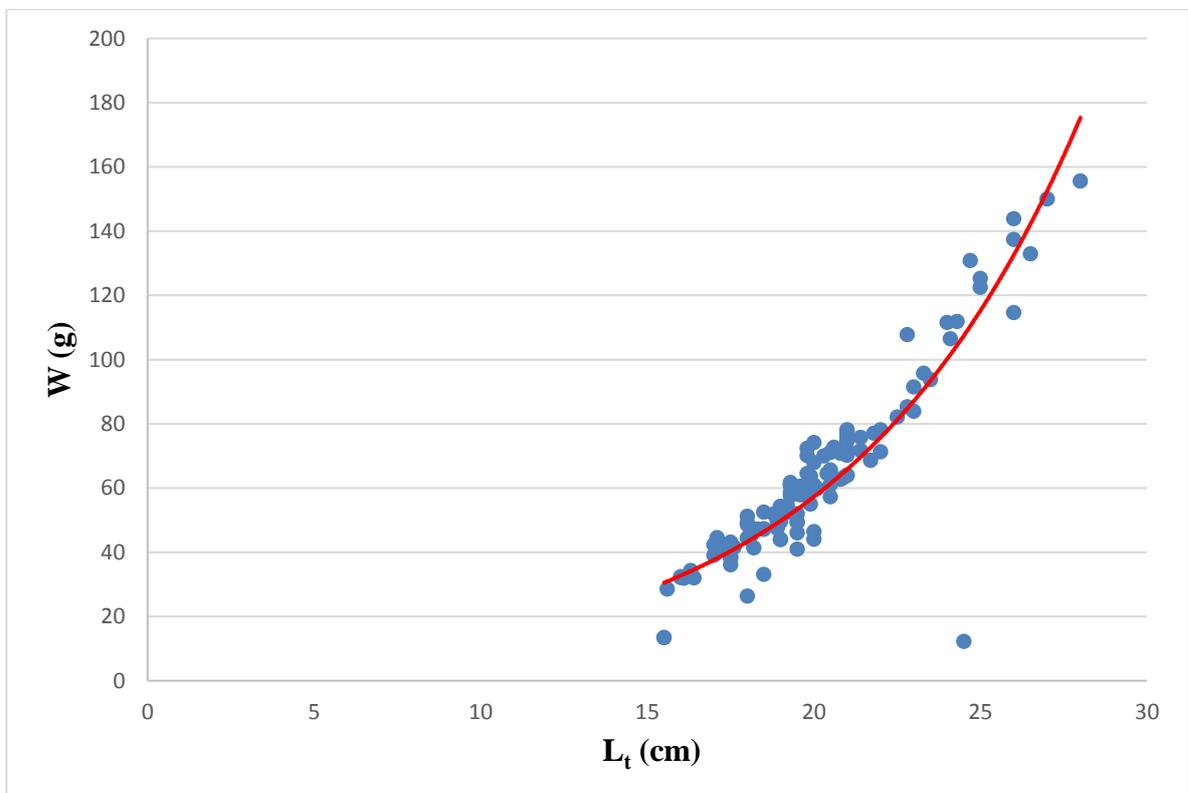


Figure 26 : Croissance pondérale des *Trachurus trachurus* échantillonnés dans la zone de Bénisaf

Dans l'objectif de comparer avec les résultats obtenus d'autres auteurs, le tableau suivant (**Tableau.06**) synthétise les facteurs clés de la croissance relative observée dans diverses zones géographiques.

Tableau 06 : comparaison des paramètres de la relation taille-poids du *Trachurus trachurus* avec les résultats d'autres auteurs.

Zone d'étude	Nombre d'échantillon	a	b	auteurs	Type d'allométrie
Portugal	/	0,0135	3,005	Arruda, 1983	Isométrie
Espagne	/	0,0129	2,854	Farina-Perez, 1983	Minorante
Maroc, 1979	/	0,0190	2,876	F.A.O., 1984	Minorante
Mauritanie, 1982	/	0,0128	2,990	F.A.O., 1984	Minorante
Ouest Grande-Bretagne	/	0,0440	3,141	Kerstan, 1985	Majorante
Bou-Ismaïl, Algérie	/	0,0141	2,935	Korichi, 1988	Minorante
Mauritanie	/	0,0080	3,147	Lawal et Mylnikov, 1988 (F.A.O., 1989)	Majorante
Golfe de Gascogne	/	---	3,061	Lucio et Martin, 1989	Isométrie
Portugal	/	0,0092	2,957	Borges et Gordo, 1991	Minorante
Adriatique	720	0,0076	3,050	Yucel et al., 2000	Isométrie
Mer Noire	1454	0,0080	3,019	Santic et al., 2002	Isométrie
Oran, Algérie	1634	$3,73 \cdot 10^{-6}$	3,130	Charef-Belifa, 2009	Majorante
Skikda, Algérie	923	0.005260	3,141	Azzouz, 2020	Majorante
Ghazaouet, Algérie	120	4,44	2,87	Présent Travail	Minorante
Béni Saf, Algérie	120	4,73	2,93	Présent Travail	Minorante

Les divergences observées dans les résultats pourraient être étroitement associées au nombre d'échantillons, aux conditions trophiques (Somoue 2004), ou encore aux caractéristiques hydrologiques de l'environnement (Makaoui, Orbi et al. 2005).

2- Rapport gonado-somatique (RGS)

L'étude des variations des rapports entre les organes et l'organisme s'avère être un moyen efficace pour comprendre l'évolution des organes chez les poissons, tels que le foie et les gonades, au cours de leurs divers cycles de vie (Laflamme 1991)

(Bougis 1952) a été le précurseur de l'utilisation du rapport gonado-somatique, le définissant comme la proportion du poids de la gonade (p) par rapport au poids total de l'animal (P), exprimé en pourcentage.

$$\text{R.G.S} = (p / P) \times 100$$

p : Masse des gonades (g).

P : Masse totale de l'animal (g).

L'évolution pondérale des gonades tout au long de l'année nous permet de cerner l'époque de reproduction d'une espèce donnée.

Les Variations du (R.G.S) dépendent de l'inactivité, de la production et de l'émission des produits sexuels. Elles servent à identifier les phases de repos, de prématuration, de maturation et de ponte propres à une espèce.

Les variations mensuelles du rapport gonado-somatique RGS au cours du cycle sexuel de Janvier à Décembre 2018 chez *Trachurus trachurus* de la zone de Ghazaouet et BéniSaf sont représentés successivement dans les figures 10 et 11.

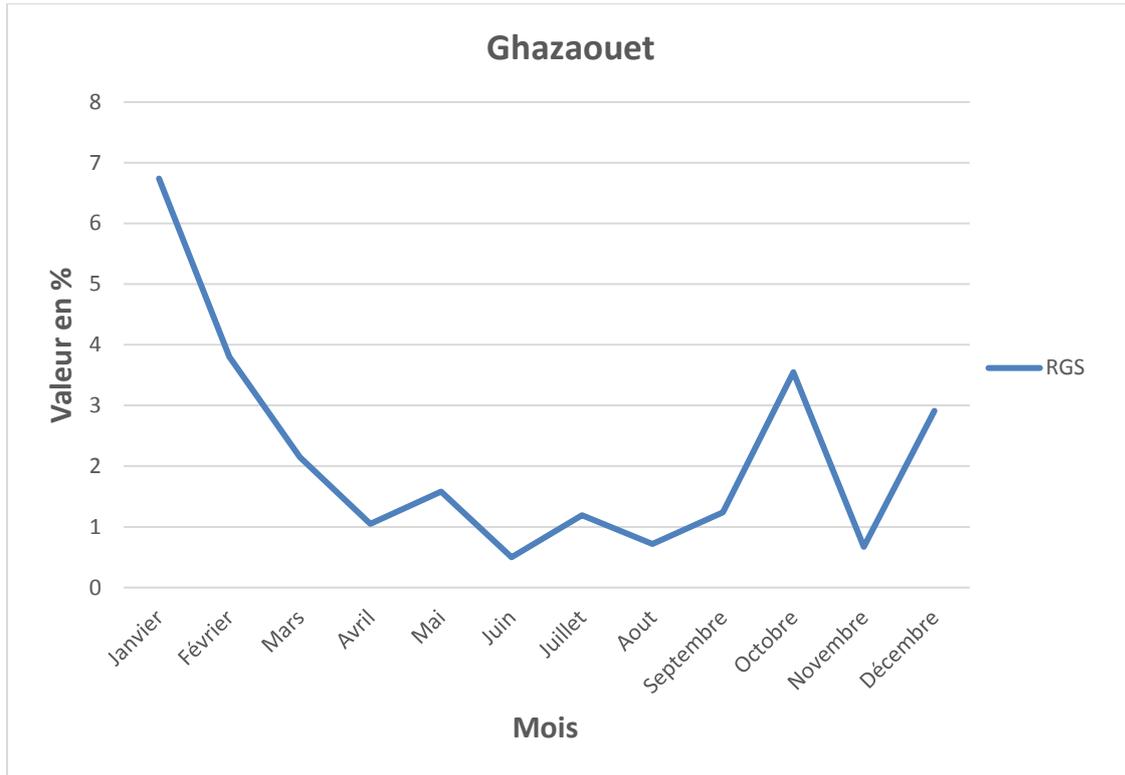


Figure 27 : Variations mensuelles du RGS chez *Trachurus trachurus* dans la région de Ghazaouet pendant l'année 2018

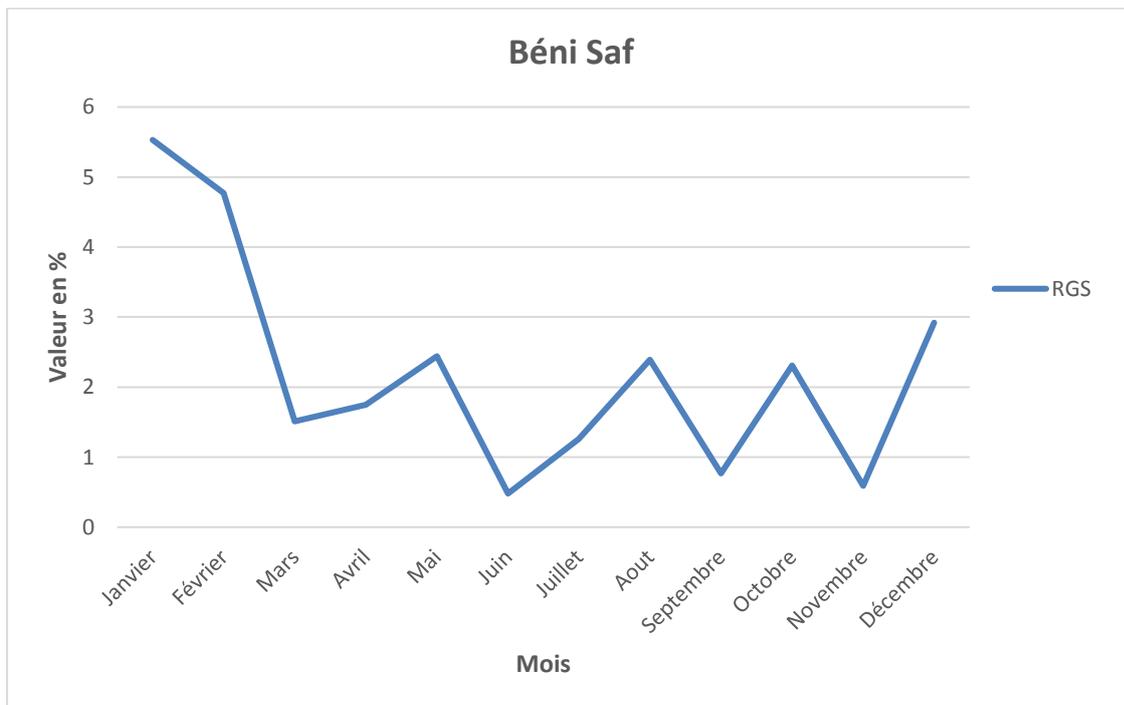


Figure 28 : Variations mensuelles du RGS chez *Trachurus trachurus* dans la région de Béni Saf pendant l'année 2018

Les deux figures montrent que les valeurs moyennes les plus élevées du RGS des deux zones étudiées sont dans les deux premiers Mois de l'année et elles atteignent le pic au Mois de Janvier. (RGS =6,74%) pour Ghazaouet (RGS=5,53%) pour Béni Saf. Tandis que les plus faibles valeurs moyennes du RGS sont enregistrés au Mois de Juin, (RGS=0,50%) pour Ghazaouet et (RGS=0,48%) pour BéniSaf .

Du Mois de Mars jusqu'au Mois de Novembre on enregistre une fluctuation des valeurs qui reste dans une phase descendante avec des différences entre les deux zones étudiées. Ensuite au Mois de Décembre la croissance reprend pour atteindre (RGS=2,91%) pour Ghazaouet et (RGS=2,92%) Pour Béni Saf.

Le Rapport Gonado-Somatique (RGS) fonctionne comme un indicateur essentiel de la maturation des gonades. Son augmentation coïncide avec le processus de gamétogenèse, tandis que sa diminution signale une période active de ponte (**Lahaye 1972**)

Le suivi des variations mensuelles de RGS au cours de l'année 2018, nous renseigne sur les périodes d'activité sexuelle ainsi que la période de reproduction du Saurel dans nos deux régions.

Le schéma obtenu sur l'évolution du RGS, montre que le cycle sexuel du Saurel passe par trois phases successives :

Une phase de maturation lente entamée à partir du mois de Juin et se poursuit jusqu'au mois de Novembre.

Une phase d'activité sexuelle importante et intense s'étalant de Janvier à Février et recommence au Mois de Décembre (période de post-ponte).

Une phase de repos sexuel à partir du mois de Mars jusqu'au mois de Mai où les testicules et les ovaires récupèrent le maximum de leurs masses.

La période de ponte du Saurel peut varier d'une année à l'autre, se manifestant par une précocité, une tardiveté ou une durée plus étalée. Ces variations sont probablement attribuables aux caractéristiques environnementales, notamment divers facteurs tels que la température, la pluviométrie et la courantologie, le stress des prédateurs ou congénères, ou d'autres phénomènes physiologiques...

3-Contamination par les métaux lourds

La variété des substances chimiques présentes dans l'écosystème marin accentue le processus de bioaccumulation dans les tissus et organes des organismes marins. En conséquence, les poissons deviennent des porteurs de cette contamination, fournissant ainsi des indications sur le degré de pollution de leur environnement naturel.

L'absorption des métaux lourds se fait principalement par l'eau, la nourriture et les sédiments. Diverses études montrent que l'accumulation de métaux dans les tissus des poissons dépend principalement des concentrations de métaux dans l'environnement, mais aussi sur la durée d'exposition et d'autres facteurs environnementaux tels que la salinité, le pH et la température (Yılmaz and Yılmaz 2007). De plus, la toxicité des métaux en ce qui concerne les organismes vivants dépend de leur nature, mode d'action, spéciation et donc, leur biodisponibilité (Alzieu, Abarnou et al. 1999). En outre, les concentrations de métaux dans les organismes dépendent de leur caractère essentiel ou non, alors que les métaux non essentiels sont présents à l'état de traces et sont toxiques, les métaux essentiels ont tendance à être hautement réglementé.

Pendant une année et mensuellement de Janvier à Décembre 2018, nous avons effectué une surveillance continue des concentrations de quatre métaux traces (cuivre, zinc, plomb et cadmium) dans deux organes cibles (le muscle représente la partie consommée et les gonades qui représentent l'organe de reproduction). Ce suivi nous permet d'évaluer l'accumulation de ces métaux chez le *Trachurus trachurus* dans les deux zones d'étude successives de Ghazaouet et Béni Saf.

Notre étude a porté sur deux organes à savoir : les gonades et le muscle de l'espèce en question. L'analyse des quatre polluants suivants : Cd, Pb, Cu et le Zn a été réalisée par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme. Nous avons analysé 480 échantillons au total.

Les résultats obtenus sont représentés dans le (Tableau.07)

Tableau 07 : Concentrations moyennes annuelles des métaux lourds en mg/Kg de poids frais (PF) dans le Filet et les Gonades chez *Trachurus trachurus* pêché dans le golf de Ghazaouet.

Métaux	Zinc (Zn)	Cuivre (Cu)	Plomb (Pb)	Cadmium (Pb)
Filet	37,67±17,17	4,51±5,51	5,99±3,17	13,42±11,90
Gonades	51,88±31,60	6,95±15,16	5,87±2,87	12,68± 10,82

Des diagrammes ont été annexés au tableau pour visualiser nos résultats (Figure. 29 et 30)

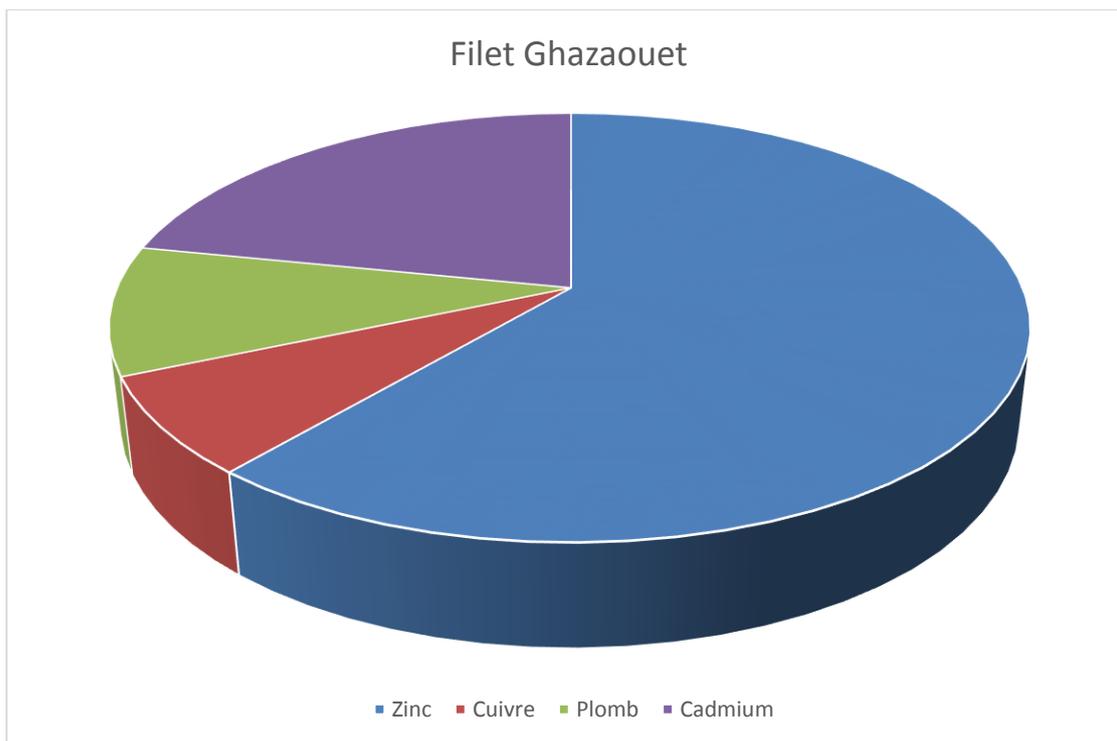


Figure 29 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de filet de la station de Ghazaouet

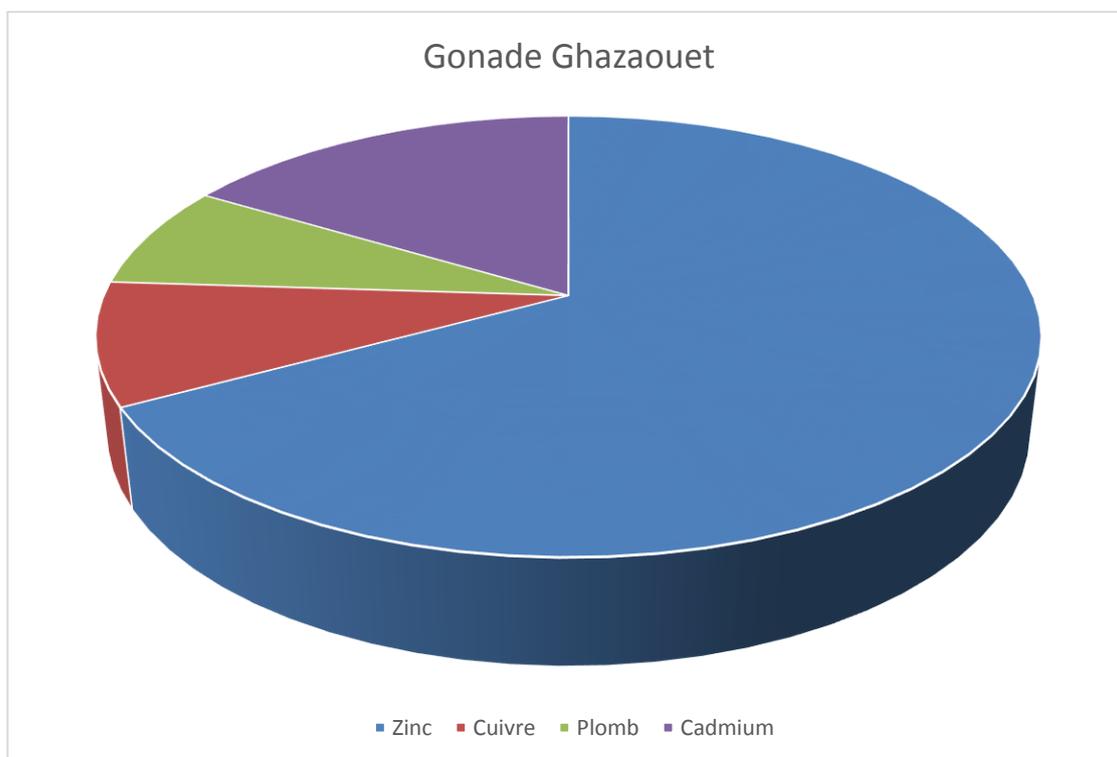


Figure 30 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de Gonades de la station de Ghazaouet

Tableau 08 : Concentrations moyennes des métaux lourds en mg/Kg de poids frais dans le Filet et les Gonades chez *Trachurus trachurus* pêché dans la baie de Beni Saf

<u>Métaux</u>	<u>Zinc (Zn)</u>	<u>Cuivre (Cu)</u>	<u>Plomb (Pb)</u>	<u>Cadmium (Pb)</u>
<u>Filet</u>	35,22± 15,27	3,22±1,52	6,92±3,44	10,78±11,04
<u>Gonades</u>	38,97± 17,11	2,58±1,28	7,19±4,60	11,44± 10,33

Des diagrammes ont été annexés au tableau pour visualiser nos résultats (**Figure. 31 et 32**)

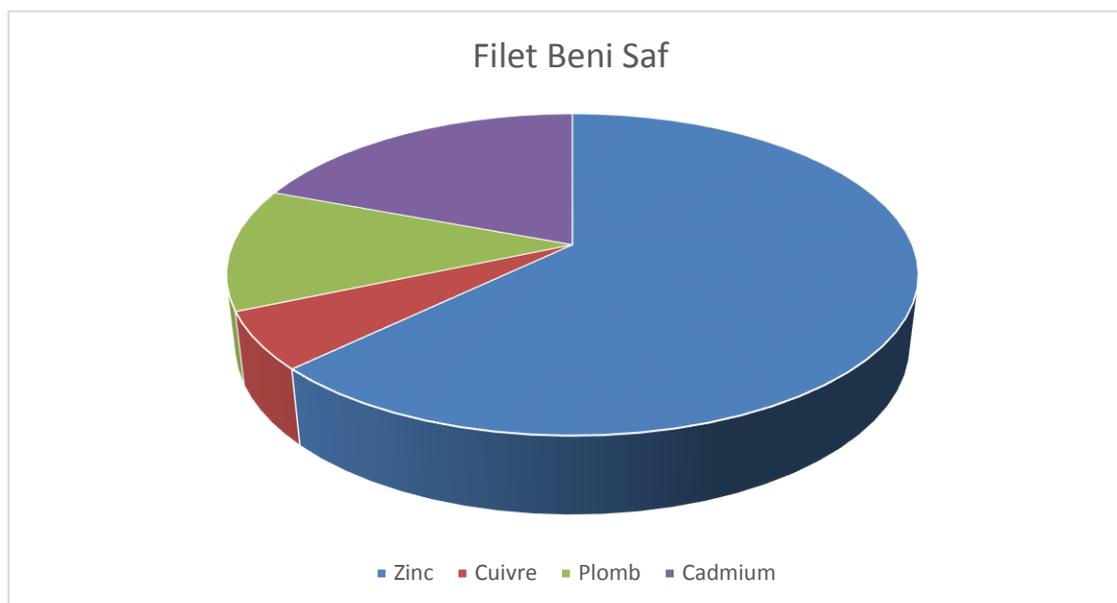


Figure 31 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de filet de la station de Béni Saf

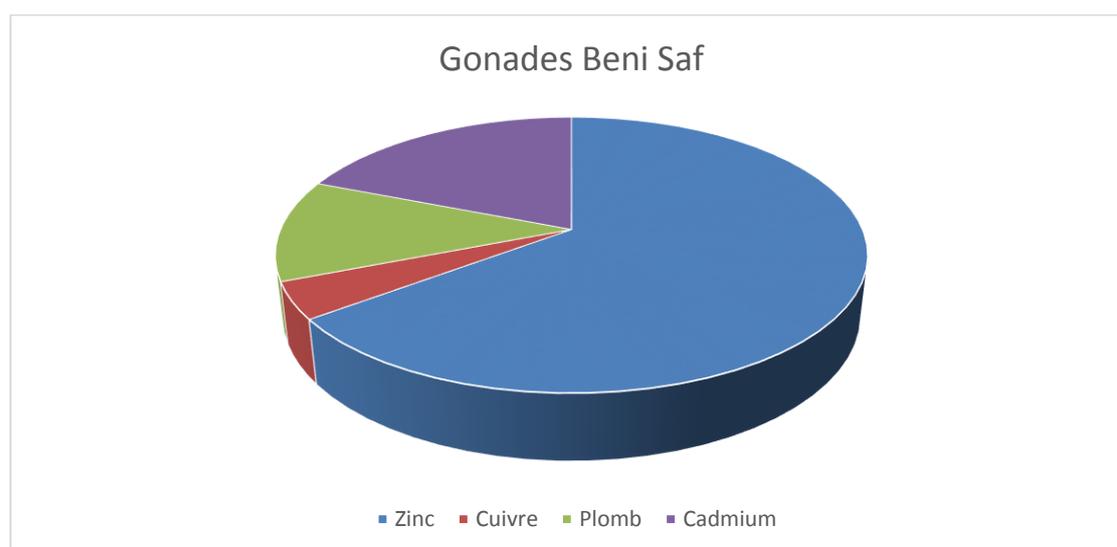


Figure 32 : Pourcentage des concentrations moyennes des métaux lourds présents dans nos échantillons de Gonades de la station de Béni Saf

Les résultats obtenus relatifs à la baie de Ghazaouet (Tableau 1) montrent que les concentrations moyennes des quatre métaux analysés au niveau du filet et gonads de *Trachurus trachurus* se présentent respectivement selon l'ordre décroissant suivant :

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

Par contre pour le pourcentage des concentrations moyenne des quatre métaux au niveau du filet et les gonades des échantillons de la station de Béni Saf (Tableau 2) est le même pour les deux organes et ils se présentent sous l'ordre décroissant suivant :

$$Zn > Cd > Pb > Cu$$

4- Variations mensuelles des concentrations moyennes en métaux lourds

Dans l'ensemble, nous observons des périodes de fluctuations, caractérisées par des augmentations et des diminutions des concentrations en métaux.

4-1-Zinc

Les concentrations moyennes variées du Zinc sont répertoriées dans le (Tableau.09) et représentées graphiquement par les (Figures. 33 et 34) pour les deux stations Ghazaouet et Béni Saf.

Tableau 09 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Zinc en mg/Kg de poids frais dans les filets et les gonades du *Trachurus trachurus* dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf

Mois	Ghazaouet		Béni Saf	
	Filet	Gonade	Filet	Gonade
Janvier	38,71	59,01	58,17	48,92
Février	60,7	57,61	57,32	64,75
Mars	64,29	60,14	32,82	50,86
Avril	38,89	34,44	55,36	42,07
Mai	39,47	54,11	47,35	43,78
Juin	18,42	11,42	23,80	20,43
Juillet	14,7	10,24	25,85	7,81
Aout	60,01	28,13	26,01	52,14
Septembre	14,19	35,43	16,22	16,91
Octobre	31,01	116,54	27,54	54,29
Novembre	36,36	57,7	19,95	31,83
Décembre	35,33	97,8	31,75	33,92
Moy± E-Type	37,67 ±17,17	51,88 ±31,60	35,22 ± 15,27	38,97 ± 17,11

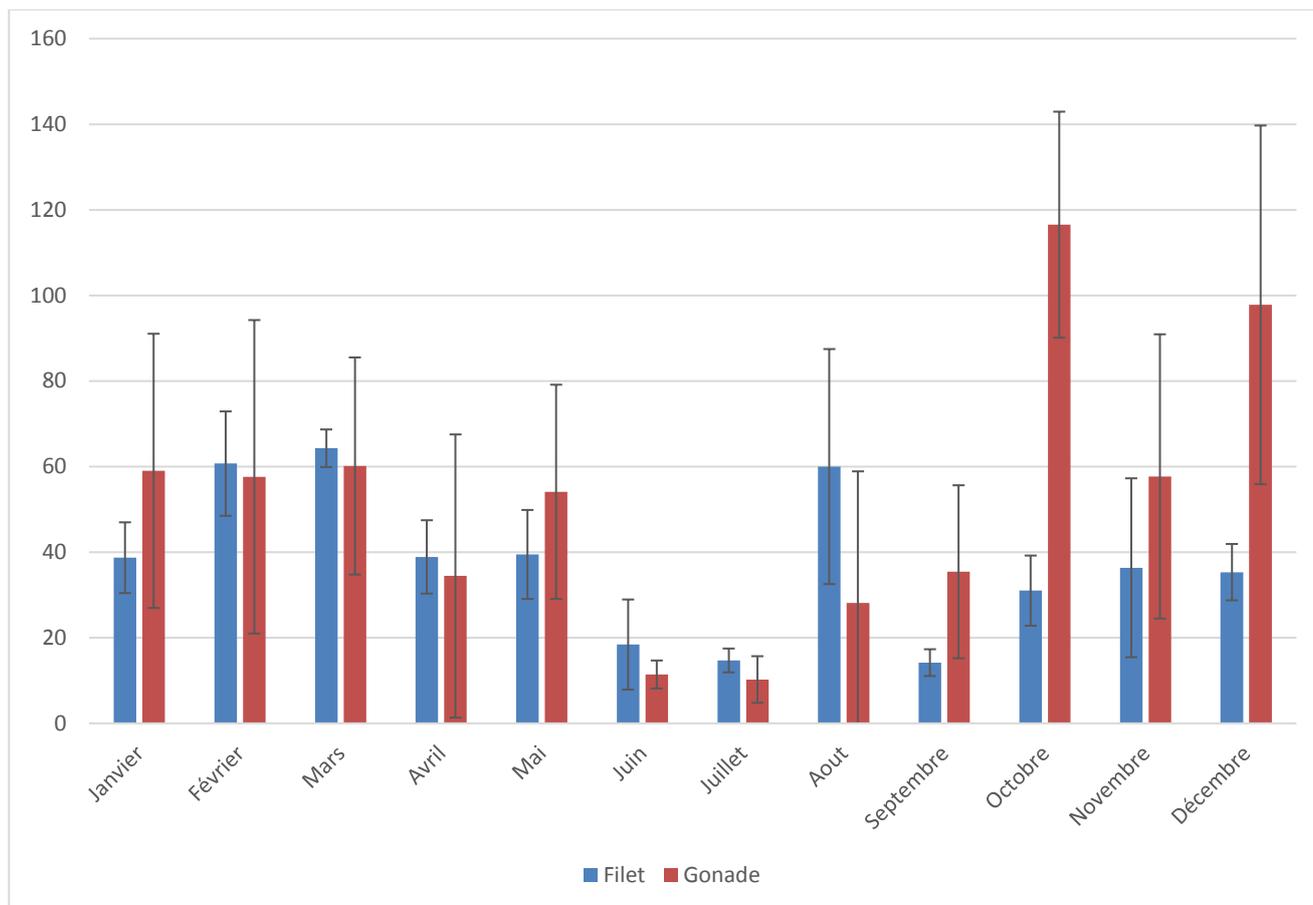


Figure 33 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Zinc en mg/kg de poids frais chez *Trachurus trachurus* dans la station de Ghazaouet

La concentration moyenne de zinc observée dans les filets et les gonades est de $37,67 \pm 17,175$ mg/kg et de $51,88 \pm 31,60$ mg/kg, respectivement. La plus forte accumulation de zinc est observée dans les gonades ($116,54 \pm 26,41$ mg/kg) en octobre.

Le zinc est un élément essentiel pour le déroulement des processus biologiques (Casas 2005) et sert également de cofacteur dans de nombreux systèmes enzymatiques impliqués dans l'utilisation de presque tous les nutriments. Cependant, à des concentrations plus élevées, il peut avoir des effets délétères sur les poissons (Çelik, Kaya *et al.* 2013).

La plus faible accumulation de zinc ($10,24 \pm 5,45$ mg/kg) est observée dans les gonades en juillet. Les concentrations de métaux dans les gonades peuvent varier selon la saison (Fletcher and King 1978).

En Juin-Juillet-Aout et Septembre, nous notons les plus faibles concentrations de Zn dans les gonades (Figure.33). Par contre Octobre-Novembre-Décembre et Janvier montre les concentrations les plus élevées.

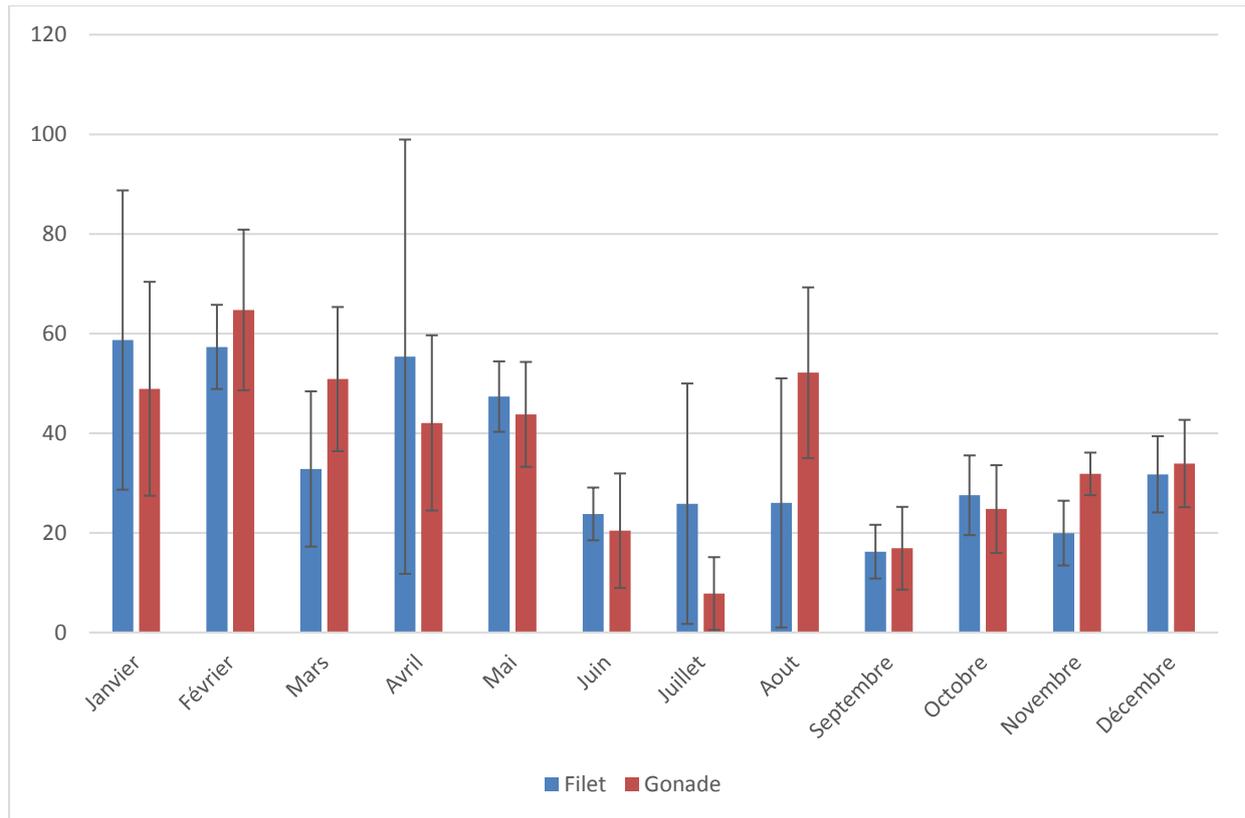


Figure 34 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Zinc en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez *Trachurus trachurus* dans la station de Béni Saf

La moyenne des concentrations de zinc dans les filets est de $35,22 \pm 15,27$ et dans les gonades de $38,97 \pm 17,11$. Cette moyenne présente des variations significatives tout au long de l'année, reflétant une dynamique saisonnière dans la bioaccumulation de ce métal dans la Baie de Béni Saf.

Du Mois de Janvier jusqu'à Mai montrent des concentrations relativement élevées, tandis que du Mois de juin jusqu'à Décembre présentent des niveaux plus bas.

Les écarts types relativement élevés indiquent une variabilité importante entre les mois, soulignant des périodes de concentrations plus stables et d'autres plus variables.

Les concentrations de zinc dans les gonades sont systématiquement plus élevées que dans les filets, indiquant une tendance à la bioaccumulation dans les tissus reproducteurs.

Cette observation souligne le rôle potentiellement crucial des gonades en tant que site privilégié d'accumulation de zinc. Il y a un organotropisme pour le métal Zinc observé dans la baie de Bénisaf.

4-2-Cuivre

Les concentrations moyennes diversifiées du Cuivre sont consignées dans le (Tableau.10) et visualisées graphiquement dans les figures 22 et 23 pour les deux stations, Ghazaouet et Béni Saf

Tableau 10 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cuivre en mg/Kg de poids frais au niveau du filet et les gonades du *Trachurus trachurus* dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf

Mois	Ghazaouet		Béni Saf	
	Filet	Gonade	Filet	Gonade
Janvier	1,776	2,202	3,1	2,582
Février	4,098	3,68	3,292	2,72
Mars	4,81	3,04	2,31	2,93
Avril	2,15	0,84	1,05	0,91
Mai	1,06	1,67	2,96	1,62
Juin	21,29	22,03	6,38	2,35
Juillet	1,16	1,23	1,27	0,55
Aout	1,82	1,91	3,25	4,93
Septembre	2,47	1,73	2,98	2,33
Octobre	5,72	5,65	4,98	4,45
Novembre	5,23	4,34	4,7	3,47
Décembre	2,61	2,22	2,38	2,2
Moy ± E-Type	4,51 ± 5,51	4,21 ± 5,77	3,22 ± 1,52	2,58 ± 1,28

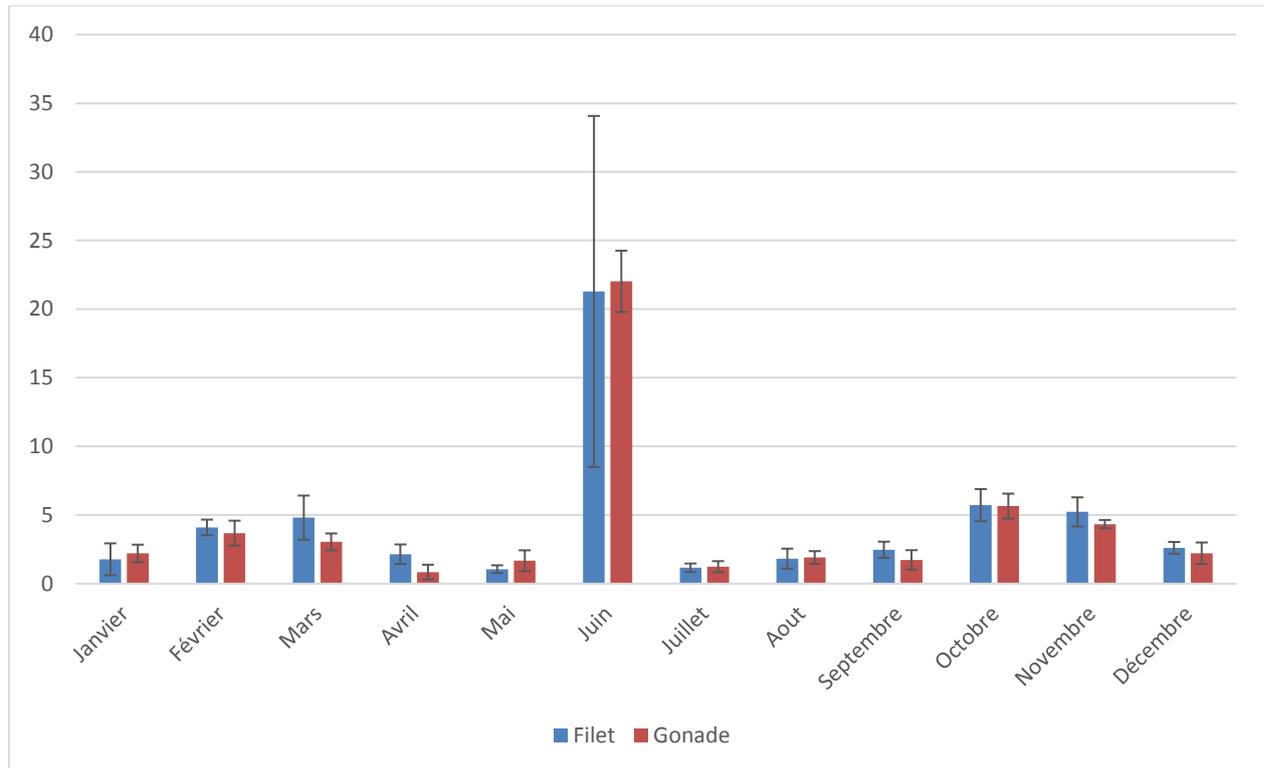


Figure 35 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Cuivre en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez *Trachurus trachurus* dans la station de Ghazaouet

La concentration moyenne du cuivre la plus élevée est de $(22,03 \pm 2,23 \text{ mg/kg})$ et la plus faible est de $(0,84 \pm 0,54 \text{ mg/kg})$ observées dans les gonades en juin et avril respectivement.

L'augmentation significative des taux de cuivre, au cours du mois de juin, dans les deux organes cibles reste inexplicée. Le cuivre est un micronutriment important qui sert de cofacteur dans de nombreux systèmes enzymatiques liés aux processus corporels indispensables à la survie chez les humains et les animaux (Malhotra, Ger *et al.* 2020). Cependant, on sait que des concentrations élevées de cuivre peuvent être toxiques tant pour les poissons que pour les humains.

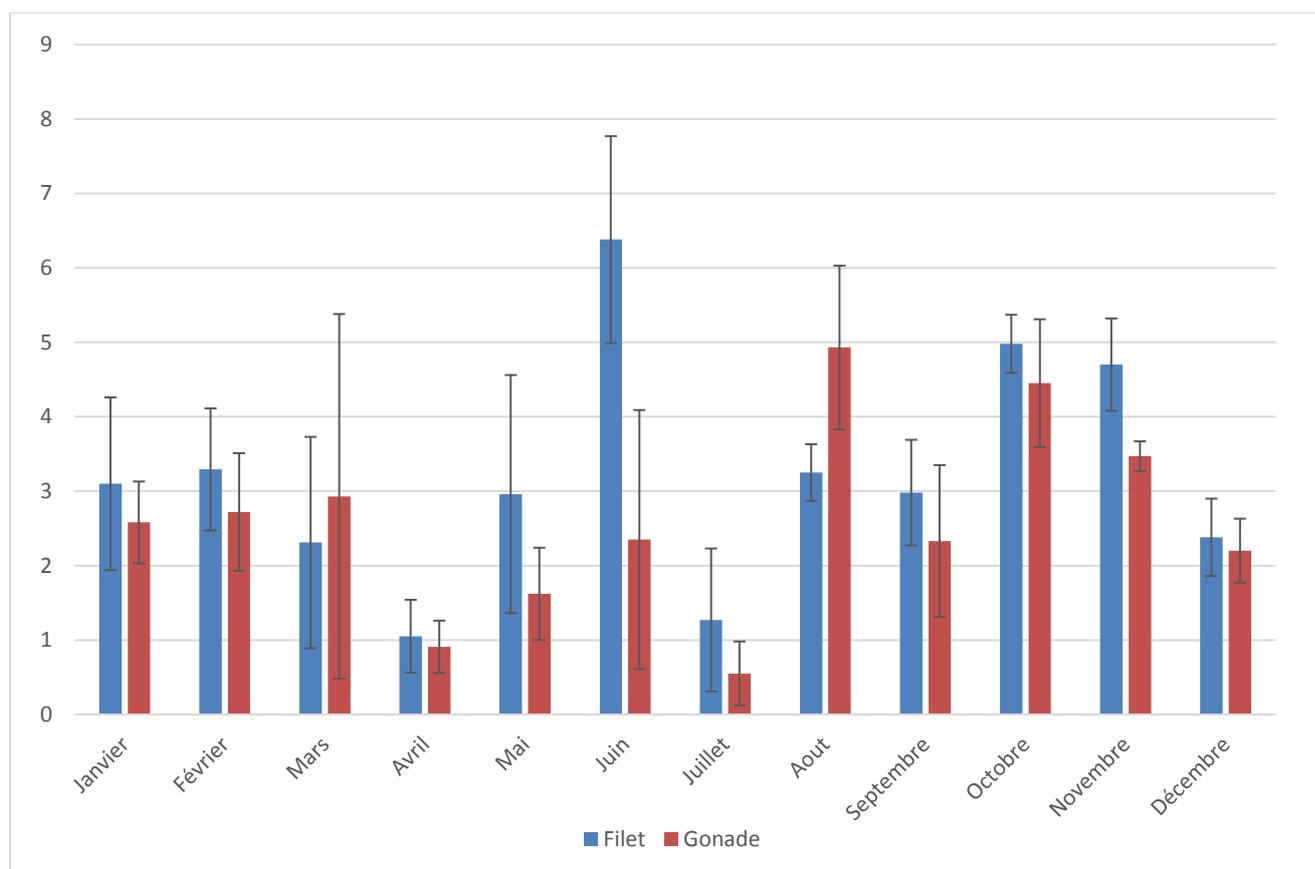


Figure 36 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Cuivre en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez *Trachurus trachurus* dans la station de Béni Saf

La concentration moyenne mensuelle de cuivre dans le filet varie de 1,05 mg/kg (avril) à 6,38 mg/kg (juin). Pour les gonades, les concentrations varient de 0,55 mg/kg (juillet) à 4,93 mg/kg (Aout).

Les écarts types les plus élevés sont ceux du mois de Mars (1,42 mg/kg pour le filet et 2,45 mg/kg pour les gonades) indiquant une variabilité importante des concentrations durant ce mois.

Les variations mensuelles suggèrent une dynamique saisonnière ou des variations liées à des facteurs environnementaux spécifiques à chaque mois. Par exemple, la concentration est relativement basse en Mois d'Avril et Juillet.

Durant le Mois de Juin on note l'accumulation la plus élevée du Cuivre au niveau du filet pour les deux stations Ghazaouet et Béni Saf.

4-3-Plomb

Le (Tableau.11) compile les moyennes des concentrations de Plomb, dont les variations sont représentées graphiquement dans les (Figures. 37 et 38). Ces concentrations présentent des fluctuations significatives en fonction des mois d'échantillonnage.

Tableau 11 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Plomb en mg/Kg de Poids frais dans les filets et les gonades du *Trachurus trachurus* dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf

Mois	Ghazaouet		Béni Saf	
	Filet	Gonade	Filet	Gonade
Janvier	8,09	5,42	6,66	5,74
Février	4,346	2,07	2,472	1,44
Mars	4,88	5,58	6,67	6,78
Avril	10,35	10	10,76	11,06
Mai	4,65	4,84	1,89	2,17
Juin	4,66	5,67	6,11	3,81
Juillet	2,6	5,69	5,62	6,08
Aout	2,77	5,38	10,48	13,57
Septembre	2,25	2,56	5,62	7,97
Octobre	8,72	4,24	4,36	1,75
Novembre	6,56	6,63	8,93	10,99
Décembre	12,01	12,47	13,5	14,92
Moy ± E-Type	5,99 ± 3,17	5,87 ± 2,87	6,92 ± 3,44	7,19 ± 4,60

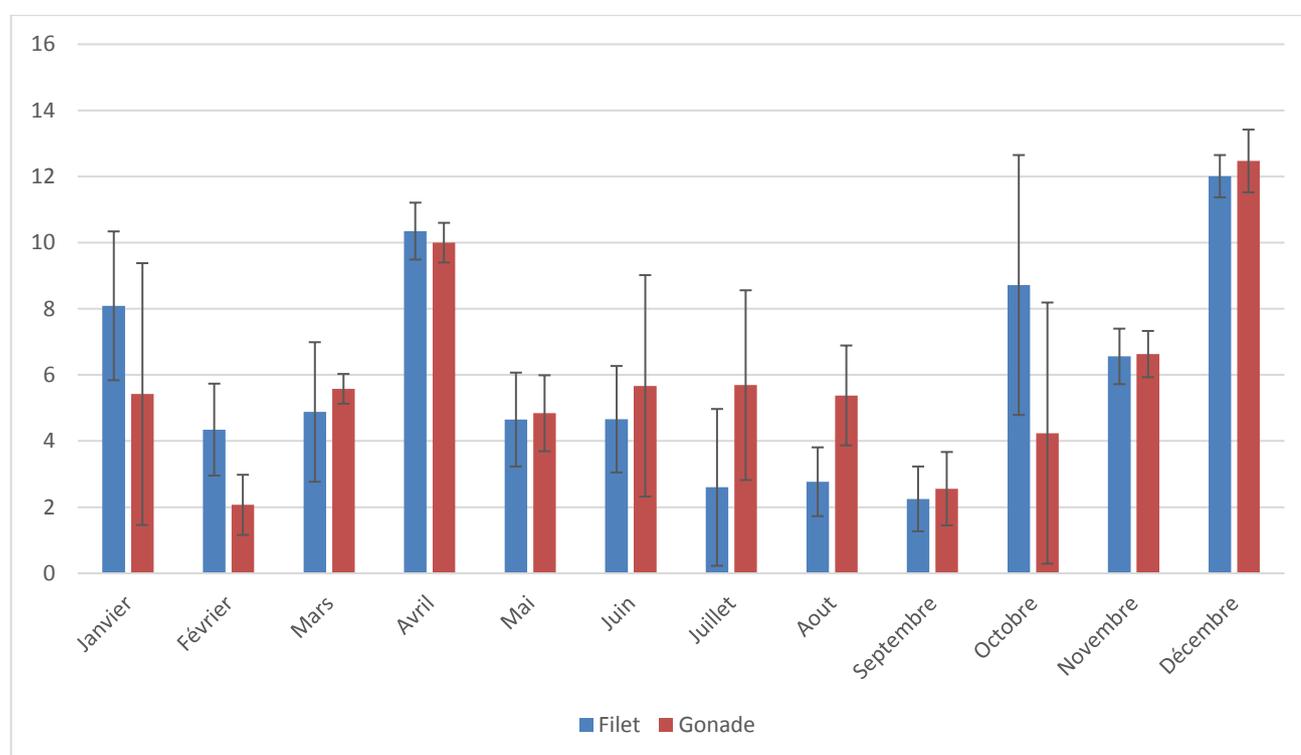


Figure 37 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes du Plomb en mg/kg en poids frais au niveau du filet et les gonades chez *Trachurus trachurus* dans la station de Ghazaouet

Les concentrations moyennes de plomb dans les filets sont de $(5,99 \pm 3,17 \text{ mg/kg})$ et dans les gonades est de $(5,87 \pm 2,87 \text{ mg/kg})$. La concentration la plus élevée de plomb a été observée dans les gonades en décembre $(12,47 \pm 0,95 \text{ mg/kg})$, et la plus faible a été obtenue dans le même organe en février $(2,07 \text{ mg/kg} \pm 0,91 \text{ mg/kg})$.

Le plomb est un métal extrêmement toxique en milieu aquatique. Les poissons sont les plus vulnérables aux effets toxiques de l'exposition au plomb, qui peuvent être mortels même à des concentrations faibles en raison de la bioaccumulation (Lee, Choi *et al.* 2019)

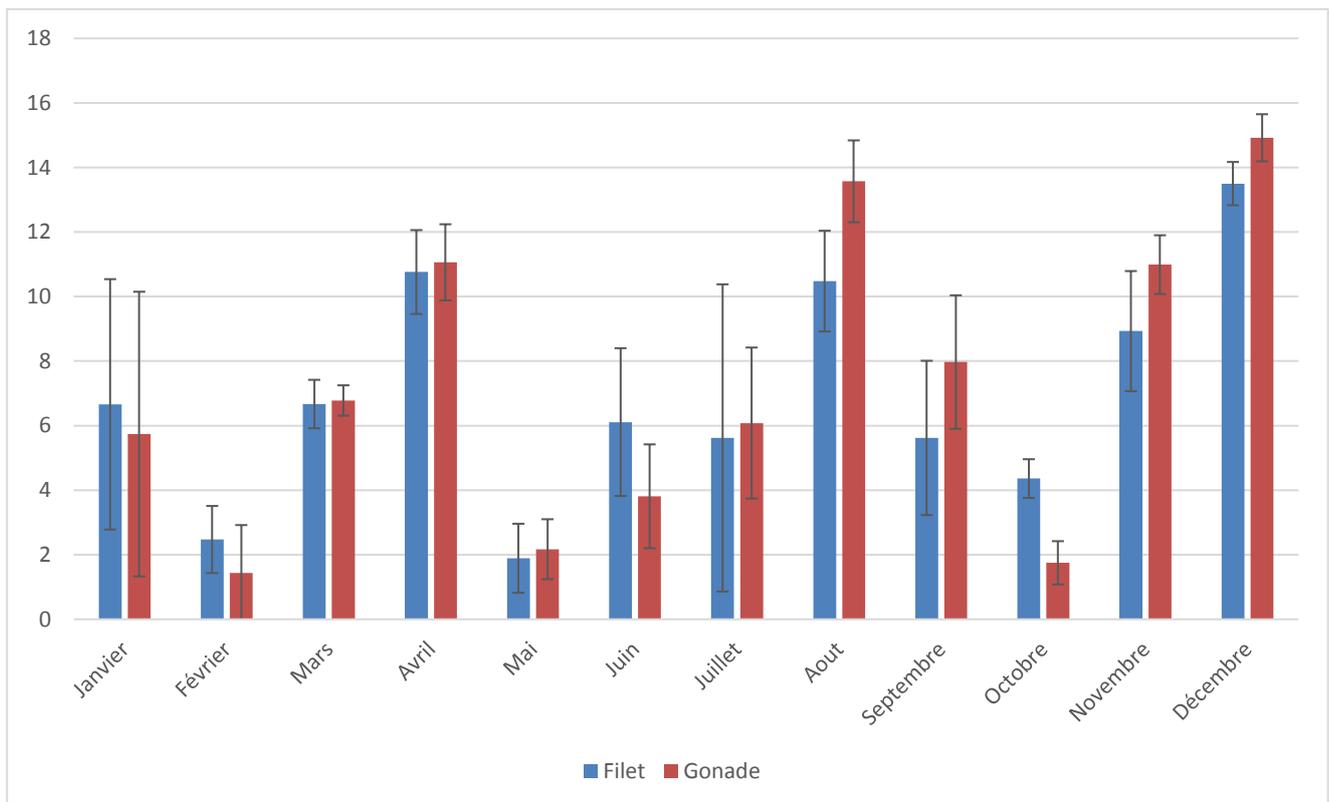


Figure 38 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Plomb en mg/kg de poids frais au niveau du filet et des gonades chez *Trachurus trachurus* dans la station de Béni Saf

Les concentrations mensuelles de plomb varient considérablement dans les filets (entre 1,89 mg/kg en mai et 13,5 mg/kg en décembre) et les gonades (entre 1,44 mg/kg en février et 14,92 mg/kg en décembre). Ces variations pourraient être influencées par des facteurs saisonniers, tels que les variations de température de l'eau, les précipitations et les cycles de reproduction des poissons (Luoma and Rainbow 2005)

Le mois de décembre se distingue avec des concentrations particulièrement élevées de plomb dans les deux tissus. Une concentration de 13,5 mg/kg dans les filets et 14,92 mg/kg dans les gonades soulève des préoccupations quant à la possible exposition accrue des poissons à des sources de plomb environnementales (Storelli and Marcotrigiano 2002)

Une comparaison entre les concentrations de plomb dans les filets et les gonades révèle des variations significatives. Cette différence pourrait être attribuable à la bioaccumulation sélective de métaux lourds dans certains tissus (**Rainbow 2002**)

4-4-Cadmium

Le (**Tableau.12**) rassemble les moyennes des concentrations de Cadmium, lesquelles sont graphiquement illustrées dans les (**Figures 39 et 40**). Ces concentrations affichent des variations notables en relation avec les mois de collecte des échantillons.

Tableau 12 : Variations mensuelles des concentrations moyennes du Cadmium en mg/Kg de poids frais dans les filets et les gonades du *Trachurus trachurus* dans les deux stations Ghazaouet et Béni Saf

Mois	Ghazaouet		Béni Saf	
	Filet	Gonade	Filet	Gonade
Janvier	3,55	3,92	3,91	3,696
Février	1,19	1,8	1,39	2,25
Mars	13,02	11,23	10,35	8,57
Avril	16,9	16,63	9,46	13,2
Mai	3,61	3,31	3,7	5,77
Juin	0,7	1,16	1,26	1,15
Juillet	5,22	5,03	5,75	4,25
Aout	5,05	7,95	2,18	4,49
Septembre	32,58	31,72	32,66	29,72
Octobre	30,23	29,35	28,96	29,6
Novembre	26,61	23,54	22,72	22,17
Décembre	22,45	16,62	7,08	12,48
Moy ± E-Type	13,42 ± 11,90	12,68 ± 10,82	10,78 ± 11,04	11,44 ± 10,33

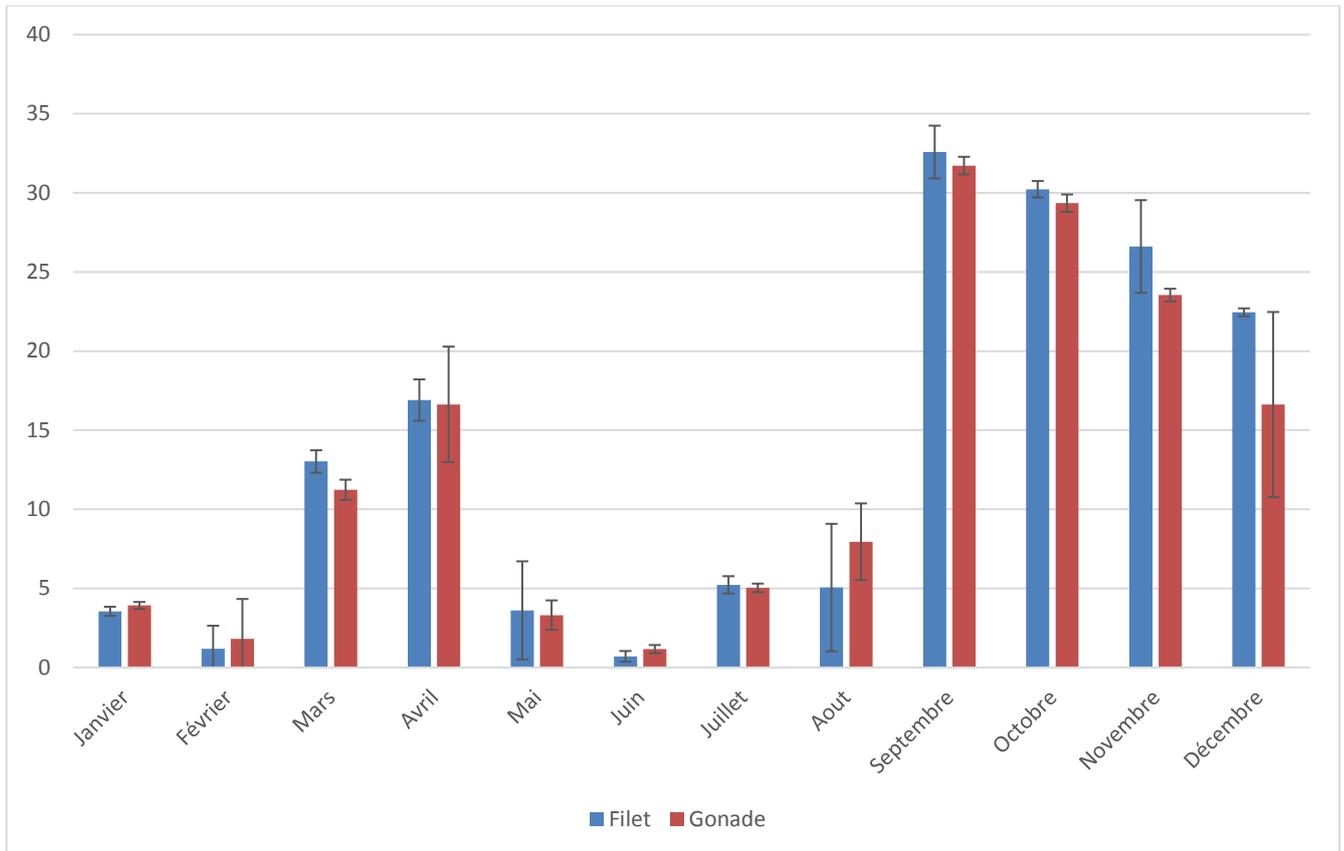


Figure 39 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes Du Cadmium en mg/kg de poids frais au niveau du filet et les gonades chez *Trachurus trachurus* dans la station de Ghazaouet

Le niveau d'accumulation des concentrations de Cadmium est de $13,42 \pm 11,90$ mg/kg pour le filet et de $12,68 \pm 10,82$ mg/kg pour les gonades. La concentration maximale était dans le filet ($32,58 \pm 1,67$ mg/kg) en septembre et la concentration minimale dans le même organe ($0,70 \pm 0,34$ mg/kg) en juin.

Le Cadmium peut être extrait directement de l'eau de mer ou assimilé à des aliments contaminés. À faibles concentrations, le cadmium dissous et ses composés sont toxiques pour toute vie, en particulier pour le biote aquatique (Levit 2010)

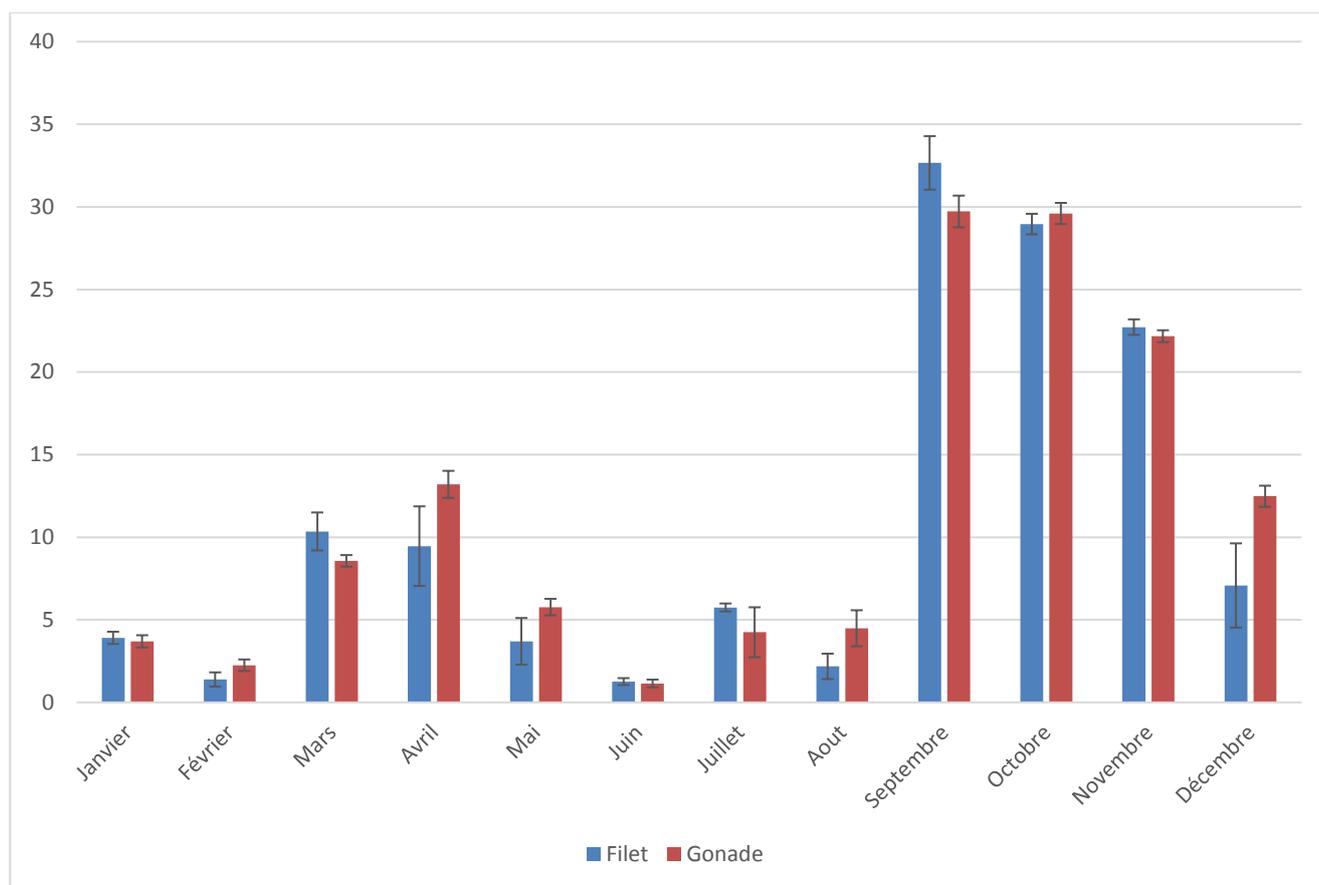


Figure 40 : Evaluation mensuelle des concentrations moyennes du Cadmium en mg/kg de poids frais chez *Trachurus trachurus* dans la station de Béni Saf

Les concentrations de cadmium dans les filets et les gonades montrent une variabilité significative tout au long de l'année. Des mois tels que septembre, octobre, et novembre affichent des concentrations élevées, tandis que d'autres, comme février et juin, montrent des valeurs relativement basses. Ces variations peuvent être liées à des facteurs saisonniers, tels que la température de l'eau et les cycles biologiques des poissons (Wang, Zhang *et al.* 2022)

Une comparaison entre les concentrations de cadmium dans les filets et les gonades indique des variations entre ces deux tissus. Cette disparité peut être due à des différences dans les taux de bioaccumulation ou à des mécanismes métaboliques spécifiques à chaque tissu (A. M. Oliveira Ribeiro 2019)

5- Variations des concentrations moyennes en métaux lourds en fonction des saisons

5-1-Zinc

5-1-1-Ghazaouet

Le (Tableau.13) rassemble les variations des concentrations moyennes saisonnières du Zinc dans la région de Ghazaouet, lesquelles sont graphiquement illustrées dans les (Figures.41).

Tableau 13 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	54,57 ± 14,34	58,92 ± 30,60
Printemps	32,26 ± 13,78	36,79 ± 29,16
Été	29,63 ± 26,78	24,09 ± 23,04
Automne	34,16 ± 12,89	91,13 ± 94,99

La variation saisonnière des concentrations moyennes de zinc (Zn) dans les organes du *Trachurus trachurus*, à savoir les filets et les gonades, révèle des tendances intéressantes.

Selon le test de l'ANOVA a montré que les concentrations saisonnières en Zinc au niveau des organes présentent une différence hautement significative ($p < 0.001$). Les résultats obtenus montrent bien que les variations des teneurs moyennes en métaux lourds subissent l'influence des saisons.

L'interprétation de ces résultats peut être complexe et multifactorielle, impliquant des facteurs biologiques, environnementaux et écologiques

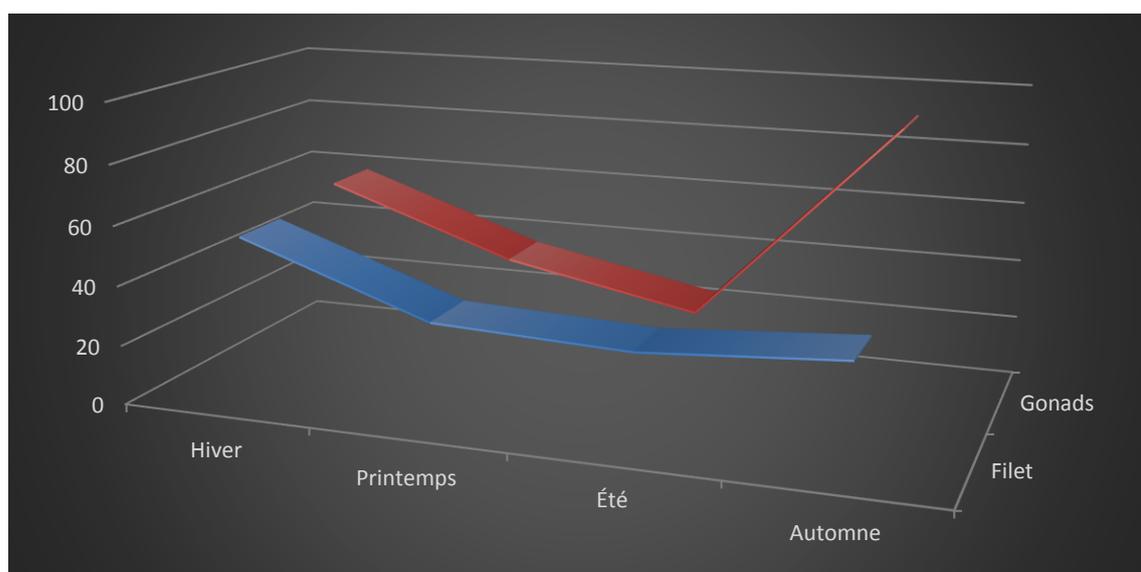


Figure 41 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F chez *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

Les concentrations de zinc dans les filets du *Trachurus trachurus* présentent des variations saisonnières significatives. La concentration maximale est observée en hiver (54,57 ± 14,34 ppm/ P.F),

suivie d'une diminution au printemps ($32,26 \pm 13,78$ ppm/ P.F) et en été ($29,63 \pm 26,78$ ppm/ P.F), pour augmenter à nouveau en automne ($34,16 \pm 12,89$ ppm/ P.F).

Les variations saisonnières dans les concentrations de zinc dans les filets peuvent être influencées par des facteurs tels que l'alimentation, la température de l'eau et la migration des poissons. Des études antérieures ont montré que la composition chimique des tissus des poissons peut être directement liée à leur régime alimentaire (**Burger and Gochfeld 2011**)

Les gonades présentent des variations saisonnières encore plus marquées en termes de concentrations de zinc. Les valeurs maximales sont observées en hiver ($58,92 \pm 30,60$ ppm/ P.F) et en automne ($91,13 \pm 94,99$ ppm/ P.F), tandis que les concentrations sont plus basses au printemps ($36,79 \pm 29,16$ ppm/ P.F) et en été ($24,09 \pm 23,04$ ppm/ P.F)

5-1-2-Beni Saf

Le (**Tableau.14**) réunit les variations saisonnières des concentrations moyennes de zinc dans la région de Béni Saf, lesquelles sont également représentées graphiquement dans les (**Figures.42**)

Tableau 14 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Béni Saf

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	$49,51 \pm 14,55$	$54,84 \pm 8,63$
Printemps	$42,17 \pm 16,40$	$35,42 \pm 13,01$
Été	$22,69 \pm 5,60$	$25,62 \pm 23,41$
Automne	$26,41 \pm 5,98$	$30,17 \pm 4,79$

Les variations saisonnières des concentrations moyennes de zinc (Zn) dans les organes du *Trachurus trachurus* de la région de Béni Saf présentent des tendances intéressantes, bien que les concentrations soient relativement élevées. L'analyse de variance (ANOVA) a révélé une différence très significative ($p < 0,001$) dans les concentrations saisonnières de zinc au niveau des organes. Ces résultats indiquent clairement que les variations des concentrations moyennes de métaux lourds sont influencées par les saisons.

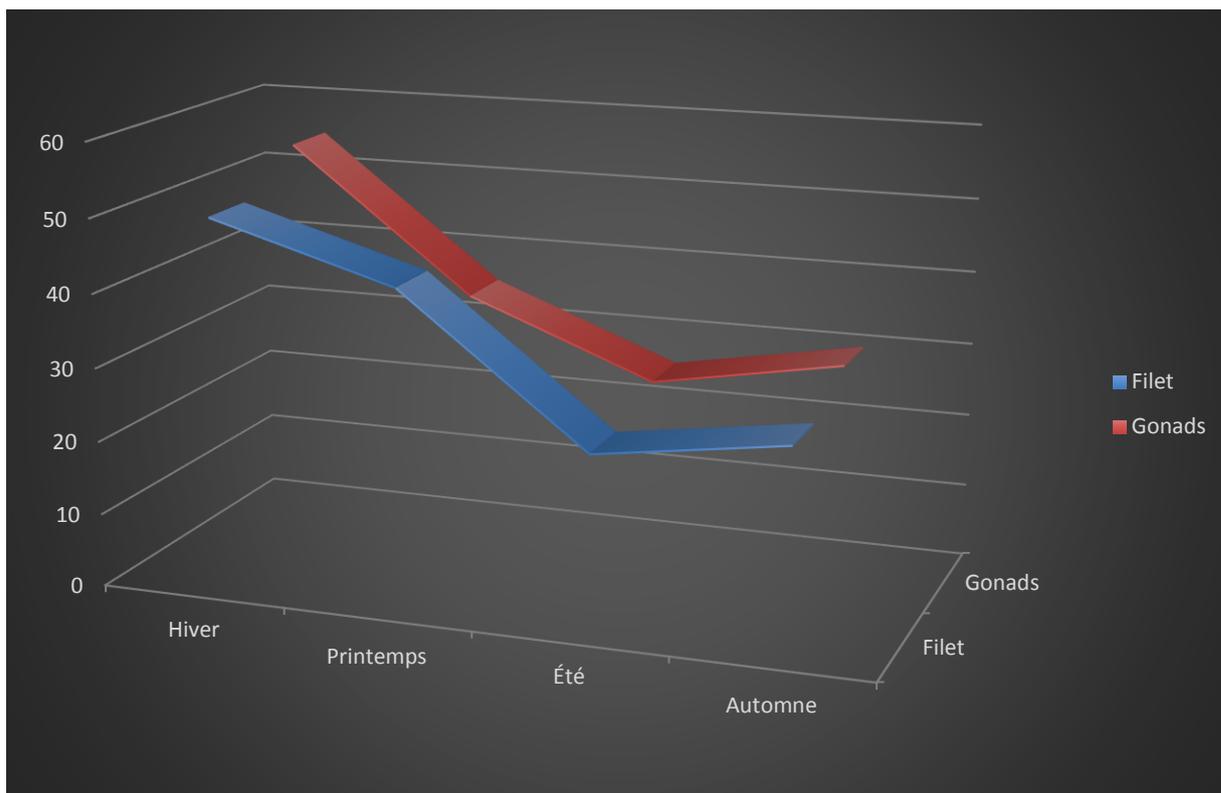


Figure 42 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Zn en ppm/ P.F chez *Trachurus trachurus* région de Béni Saf

Les concentrations de zinc dans les filets montrent des variations saisonnières significatives, avec la concentration la plus élevée en hiver ($49,51 \pm 14,55$ ppm/ P.F), suivie d'une diminution au printemps ($42,17 \pm 16,40$ ppm/ P.F), en été ($22,69 \pm 5,60$ ppm/ P.F), et une légère augmentation à l'automne ($26,41 \pm 5,98$ ppm/ P.F).

Les concentrations élevées de zinc dans les filets en hiver pourraient être liées à l'accumulation de métaux dans les tissus musculaires pendant cette période. La bioaccumulation des métaux dans les tissus musculaires des poissons est souvent associée à la nourriture, à l'alimentation et aux processus métaboliques saisonniers (Storelli, Cuttone *et al.* 2011)

Les concentrations de zinc dans les gonades suivent une tendance similaire, avec les concentrations les plus élevées en hiver ($54,84 \pm 8,63$ ppm/ P.F), suivies d'une diminution au printemps ($35,42 \pm 13,01$ ppm/ P.F), en été ($25,62 \pm 23,41$ ppm/ P.F), et une augmentation à l'automne ($30,17 \pm 4,79$ ppm/ P.F).

Des études antérieures sur la bioaccumulation des métaux dans les poissons des régions côtières ont montré des variations saisonnières importantes, soulignant l'importance de prendre en compte les facteurs environnementaux locaux (Dural, Göksu *et al.* 2007)

5-2-Cuivre

5-2-1 Ghazaouet

Le (Tableau 15) récapitule les fluctuations saisonnières des concentrations moyennes du Cuivre dans la région de Ghazaouet, lesquelles sont aussi représentées graphiquement dans les (Figures.43).

Tableau 15 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Cu en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Ghazaouet

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	3,563 ± 1,752	2,975 ± 0,94
Printemps	8,169 ± 11,84	6,814 ± 9,42
Été	1,821 ± 0,77	1,614 ± 0,6
Automne	4,502 ± 1,67	4,277 ± 1,55

Les concentrations moyennes de cuivre (Cu) dans les filets et les gonades du *Trachurus trachurus* dans la région de Ghazaouet révèlent des variations saisonnières intéressantes, reflétant des dynamiques complexes d'accumulation et de distribution de ce métal dans les tissus biologiques du poisson. L'application de l'analyse de variance (ANOVA) a mis en évidence une distinction extrêmement significative ($p < 0,001$) dans les concentrations saisonnières du Cuivre au sein des organes. Ces résultats soulignent de manière évidente que les fluctuations des moyennes de concentrations de métaux lourds sont impactées par les changements de saisons.

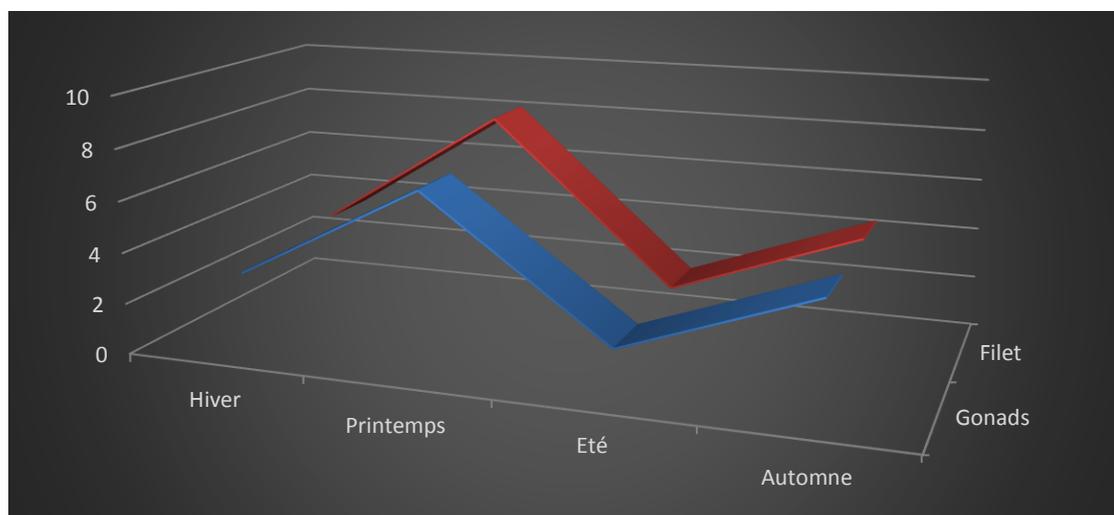


Figure 43 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Cu en ppm/P.F chez *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

En hiver les concentrations modérées de cuivre *Filet* : $(3,563 \pm 1,75 \text{ ppm})$ et *Gonades* $(2,975 \pm 0,94 \text{ ppm})$ peuvent être attribuées à des facteurs tels que l'accumulation saisonnière du métal dans les tissus musculaires et reproducteurs du poisson. Des études antérieures ont montré une corrélation entre la bioaccumulation de cuivre dans les poissons et l'augmentation de l'activité métabolique pendant les mois d'hiver (Storelli, Cuttone *et al.*, 2011).

Au printemps (*Filet* : $8,169 \pm 11,84 \text{ ppm}$) et (*Gonades* : $6,814 \pm 9,42 \text{ ppm}$), l'augmentation significative des concentrations de cuivre au printemps peut être attribuée à des facteurs tels que la reproduction et les changements dans le régime alimentaire du poisson. Ces variations saisonnières sont cohérentes avec les observations dans d'autres études sur la bioaccumulation de métaux dans les poissons des régions côtières (Dural, Göksu *et al.*, 2007).

En Été (*Filet* : $1,821 \pm 0,77 \text{ ppm}$) et (*Gonades* : $1,614 \pm 0,6 \text{ ppm}$), les concentrations plus faibles de cuivre en été peuvent résulter de la température de l'eau généralement plus élevée, ce qui peut augmenter le métabolisme des poissons et influencer leur capacité à réguler les métaux lourds comme le cuivre.

En Automne (*Filet* : $4,502 \pm 1,67 \text{ ppm}$) et (*Gonades* : $4,277 \pm 1,55 \text{ ppm}$), les concentrations modérées de cuivre en automne peuvent être influencées par des changements saisonniers dans les sources de cuivre disponibles dans l'environnement marin. Ces variations soulignent l'importance de considérer les facteurs environnementaux locaux dans l'évaluation de la bioaccumulation des métaux dans les poissons.

5-2-2-Beni Saf

Le (Tableau 16) compile les changements saisonniers des concentrations moyennes de cuivre dans la région de Béni Saf, lesquels sont aussi présentés graphiquement dans les (Figures.44).

Tableau 16 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Cu en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Béni Saf

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	$2,92 \pm 1,19$	$2,72 \pm 1,68$
Printemps	$3,46 \pm 2,70$	$1,62 \pm 0,70$
Été	$2,50 \pm 1,14$	$2,715 \pm 2,10$
Automne	$4,02 \pm 1,29$	$3,398 \pm 1,24$

L'examen des variations saisonnières des concentrations moyennes de cuivre (Cu) dans les organes du *Trachurus trachurus* dans la région de BéniSaf met en lumière des schémas distincts, soulignant l'importance de considérer les influences saisonnières sur la bioaccumulation des métaux dans les poissons. L'application de l'analyse de variance (ANOVA) a mis en évidence une différence extrêmement significative ($p < 0,001$) dans les concentrations saisonnières du Cuivre au sein des organes. Ces conclusions mettent en évidence de manière explicite que les variations des concentrations moyennes de métaux lourds sont impactées par les changements saisonniers.

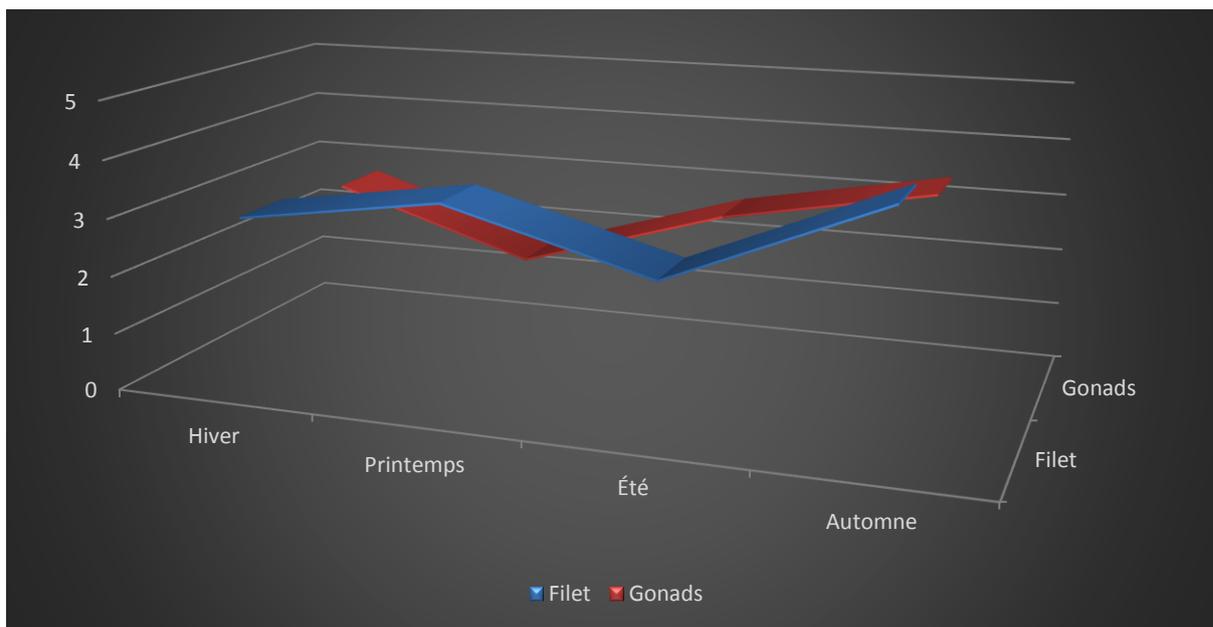


Figure 44 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Cu en ppm/P.F chez *Trachurus trachurus* région de Béni Saf

En Hiver (*Filet* : $2,92 \pm 1,19$ ppm) et (*Gonades* : $2,720 \pm 1,684$ ppm), les concentrations modérées de cuivre en hiver peuvent être attribuées à une combinaison de facteurs saisonniers tels que l'accumulation biologique dans les tissus musculaires et reproducteurs. La nutrition, les habitudes alimentaires et les changements physiologiques saisonniers influent sur la bioaccumulation des métaux dans les poissons (Storelli, Cuttone *et al.*, 2011).

En Printemps (*Filet* : $3,46 \pm 2,70$ ppm) et (*Gonades* : $1,62 \pm 0,70$ ppm), l'augmentation significative des concentrations de cuivre au printemps peut être probablement associée à des périodes reproductives intensifiées et à des changements dans le régime alimentaire.

En Été (*Filet* : $2,50 \pm 1,14$ ppm) et (*Gonades* : $2,715 \pm 2,101$ ppm), les concentrations plus faibles de cuivre en été suggèrent une diminution de l'exposition, probablement due à des facteurs environnementaux saisonniers. Des études récentes ont montré des variations saisonnières dans les

métaux dans les poissons côtiers, influencées par des conditions hydrologiques et météorologiques (Hong, Zhang *et al.* 2021)

En Automne (*Filet* : $4,02 \pm 1,29$ ppm) et (*Gonades* : $3,398 \pm 1,241$ ppm), les concentrations modérées de cuivre en automne peuvent résulter de changements dans la disponibilité des sources de cuivre et des comportements alimentaires. Des études antérieures soulignent l'influence des activités humaines sur la distribution saisonnière des métaux dans les tissus des poissons (Saha, Sarkar *et al.* 2006)

5-3-Plomb

5-3-1-Ghazaouet

Les variations saisonnières des concentrations moyennes du Pb en ppm / PF dans le filet et les gonades sont représentées dans le (Tableau.17)

Tableau 17 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Ghazaouet

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	$5,77 \pm 2,53$	$4,35 \pm 2,81$
Printemps	$6,55 \pm 3,01$	$6,41 \pm 2,85$
Été	$2,53 \pm 1,57$	$4,58 \pm 2,41$
Automne	$9,18 \pm 3,23$	$7,40 \pm 4,13$

Le tableau présenté illustre les variations saisonnières des concentrations moyennes de plomb (Pb) en (ppm) par poids frais (P.F) dans les organes du poisson *Trachurus trachurus*, à savoir le filet et les gonades, dans la région de Ghazaouet. Le test ANOVA a indiqué une différence hautement significative ($p < 0,001$) dans les concentrations saisonnières de zinc au niveau des organes. Ces résultats confirment de manière significative que les variations des moyennes de métaux lourds sont impactées par les saisons.

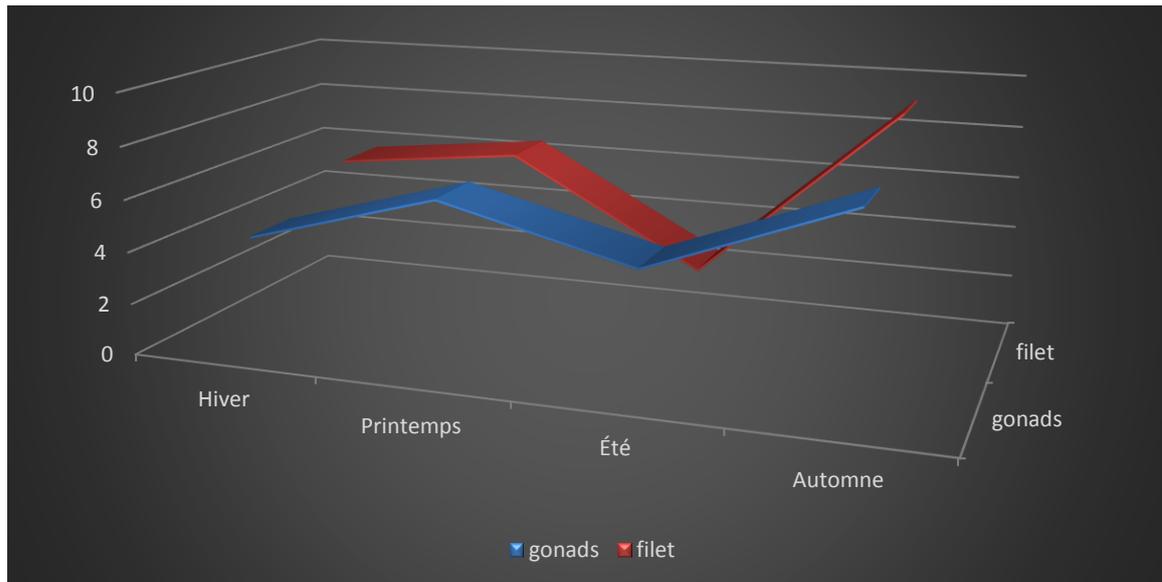


Figure 45 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Pb en ppm/P.F chez *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

Les données révèlent des fluctuations significatives des concentrations de plomb dans le filet au cours des saisons, avec une tendance à la hausse vers l'automne ($9,18 \pm 3,23$ ppm) et des valeurs plus basses en été ($2,53 \pm 1,57$ ppm).

L'automne se distingue par des concentrations nettement plus élevées que les autres saisons. Les gonades affichent des variations similaires, avec des concentrations maximales en automne ($7,40 \pm 4,13$ ppm) et des niveaux plus bas en été ($4,58 \pm 2,41$ ppm)

Les fluctuations saisonnières des concentrations de plomb pourraient être influencées par des activités anthropiques telles que les déversements industriels, les rejets urbains, et l'agriculture, qui varient en intensité selon les saisons.

Les variations saisonnières des conditions environnementales, telles que la température de l'eau et la pluviométrie, peuvent influencer la distribution et la bioaccumulation du plomb dans les écosystèmes aquatiques (**Burger and Gochfeld 2005**)

Les migrations saisonnières et les changements dans le régime alimentaire de *Trachurus trachurus* peuvent également contribuer aux variations des concentrations de plomb dans ses organes

Les concentrations élevées de plomb, en particulier en automne, soulèvent des préoccupations quant à la contamination de l'écosystème marin, avec des impacts potentiels sur la biodiversité et la santé des organismes aquatiques (**Burger et Gochfeld, 2005**).

La consommation de *Trachurus trachurus* pendant certaines saisons, en particulier en automne, pourrait entraîner une exposition accrue au plomb, augmentant ainsi les risques potentiels pour la santé humaine (Joint 2011)

5-3-2-Bénisaf

Le (Tableau 18) présenté révèle les variations saisonnières des concentrations moyennes de plomb (Pb) en (ppm) par poids frais (P.F) dans les organes du poisson *Trachurus trachurus*, à savoir le filet et les gonades, dans la région de Beni Saf. D'après l'analyse de la variance (ANOVA), il est évident que les concentrations saisonnières en Cadmium au niveau des organes présentent une différence statistiquement significative ($p < 0.001$). Ces résultats démontrent de manière concluante que les variations des teneurs moyennes en métaux lourds sont influencées par les saisons.

Tableau 18 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Bénisaf

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	5,22 ±3,08	4,44 ± 3,68
Printemps	6,25 ±4,00	5,76 ±4,09
Été	7,242 ±4,27	9,44± 3,82
Automne	8,93± 3,96	8,40 ±6,38

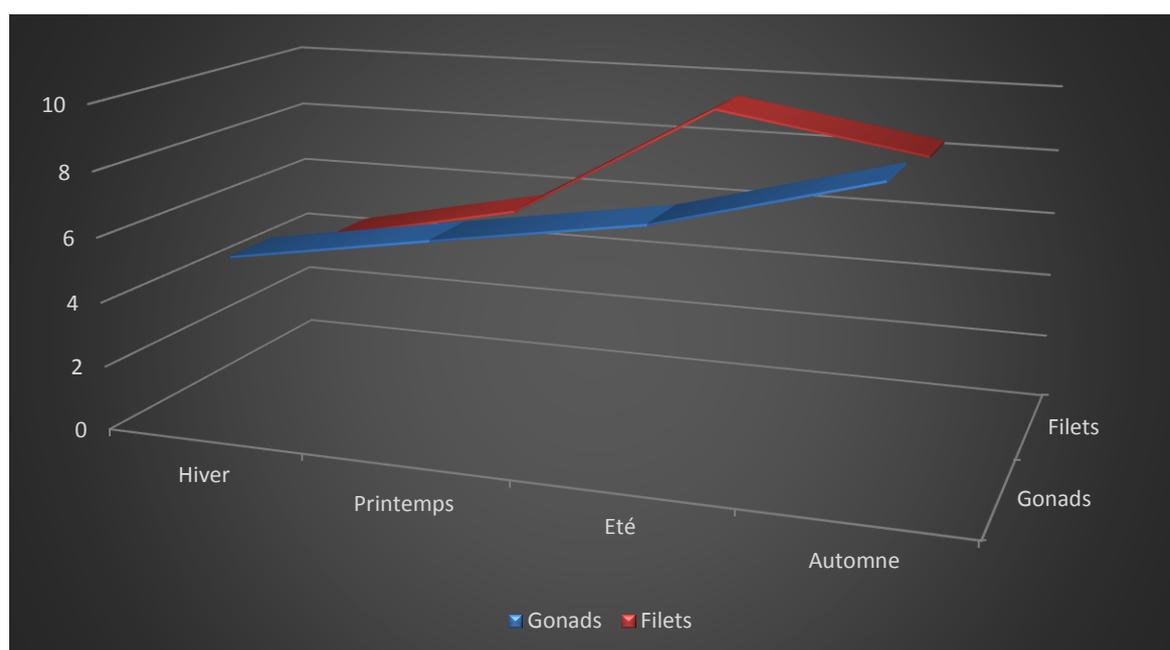


Figure 46 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Pb en ppm/P.F chez *Trachurus trachurus* région de Benisaf

En hiver, les concentrations de plomb dans le filet sont de $5,22 \pm 3,08$ ppm, tandis que les gonades présentent des valeurs de $4,44 \pm 3,68$ ppm.

Ces niveaux indiquent une faible exposition au plomb pendant cette saison, ce qui pourrait être attribuable à des facteurs environnementaux spécifiques ou à des comportements biologiques du poisson.

Au printemps, les concentrations de plomb augmentent, avec des valeurs de $6,25 \pm 4,00$ ppm dans le filet et de $5,76 \pm 4,09$ ppm dans les gonades.

Ces variations pourraient être liées à des changements saisonniers dans les activités anthropiques et les conditions environnementales (Burger et Gochfeld, 2005).

En été, les concentrations atteignent des niveaux plus élevés, avec $7,242 \pm 4,27$ ppm dans le filet et $9,44 \pm 3,82$ ppm dans les gonades.

Les conditions météorologiques chaudes et les comportements alimentaires du poisson peuvent contribuer à cette augmentation (Storelli & Marcotrigiano, 2000).

En automne, les concentrations de plomb continuent d'augmenter, avec des valeurs maximales de $8,93 \pm 3,96$ ppm dans le filet et de $8,40 \pm 6,38$ ppm dans les gonades.

Les risques environnementaux sont plus prononcés en automne, soulignant la nécessité d'une surveillance continue et de mesures de gestion (FAO 2011)

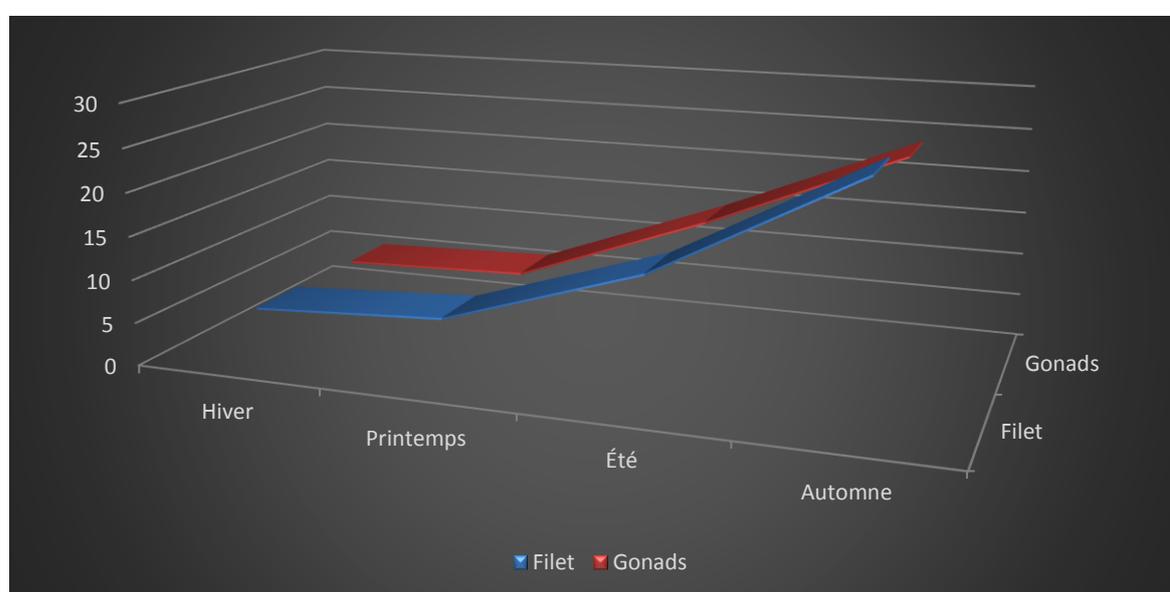
5-4- Cadmium

5-4-1-Ghazaouet

Le (Tableau 19) présenté met en évidence les variations saisonnières des concentrations moyennes de cadmium (Cd) en (ppm) par poids frais (P.F) dans les organes du poisson *Trachurus trachurus*, particulièrement le filet et les gonades, dans la région de Ghazaouet. Le test d'ANOVA a révélé une différence hautement significative ($p < 0.001$) dans les concentrations saisonnières de Cadmium au niveau des organes. Ces résultats indiquent clairement que les variations des teneurs moyennes en métaux lourds sont influencées par les saisons.

Tableau 19 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Pb en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Ghazaouet

Saisons/Organes	Filet	Gonades
Hiver	5,92±5,279	5,65±4,363
Printemps	7,091±7,439	6,25±6,694
Été	14,28±13,38	14,55 ±12,17
Automne	26,42±3,65	23,91±5,928

**Figure 47** : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Pb en ppm/P.F chez *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

Hiver : En hiver, les concentrations moyennes de cadmium sont modérées dans le filet ($5,92 \pm 5,279$ ppm) et les gonades ($5,65 \pm 4,363$ ppm). Ces niveaux suggèrent une bioaccumulation relativement stable pendant cette saison.

Printemps : Au printemps, une légère augmentation des concentrations de cadmium est observée, avec des valeurs de $7,091 \pm 7,439$ ppm dans le filet et $6,25 \pm 6,694$ ppm dans les gonades. Cette augmentation peut être attribuée à des facteurs tels que les changements de régime alimentaire et les apports saisonniers de contaminants.

Été : En été, les concentrations de cadmium augmentent significativement, atteignant $14,28 \pm 13,38$ ppm dans le filet et $14,55 \pm 12,17$ ppm dans les gonades. Les températures plus élevées de

l'eau, l'activité biologique accrue et les déversements saisonniers de contaminants peuvent probablement contribuer à cette augmentation substantielle.

Automne : En automne, les concentrations de cadmium atteignent leur maximum avec des valeurs de $26,42 \pm 3,65$ ppm dans le filet et $23,91 \pm 5,928$ ppm dans les gonades. Les activités industrielles et agricoles saisonnières, associées aux conditions météorologiques favorables à la dispersion des contaminants, peuvent probablement expliquer cette augmentation significative.

5-4-2 Benisaf

L'étude des variations saisonnières des concentrations moyennes de Cadmium (Cd) dans les organes du *Trachurus trachurus* de la région de Benisaf est cruciale pour évaluer l'impact de la saison sur la bioaccumulation de ce métal lourd dans les tissus comestibles du poisson. Le Cadmium, en raison de sa toxicité, peut présenter des risques pour la santé humaine si présent à des niveaux élevés dans les produits de la pêche. L'analyse de variance (ANOVA) a mis en évidence une différence extrêmement significative ($p < 0,001$) dans les concentrations saisonnières de cadmium au niveau des organes. Ces résultats démontrent de manière évidente que les variations des moyennes de teneurs en métaux lourds sont sous l'influence des saisons.

Tableau 20 : Variations saisonnière des concentrations moyennes du Cadmium en ppm/ P.F dans les organes du *Trachurus trachurus* Région de Benisaf

Saisons/Organes	Filet	Gonads
Hiver	$5,04 \pm 3,84$	$4,34 \pm 2,53$
Printemps	$4,65 \pm 3,76$	$6,49 \pm 5,25$
Été	$13,53 \pm 13,87$	$11,77 \pm 11,82$
Automne	$19,59 \pm 9,47$	$21,58 \pm 8,15$

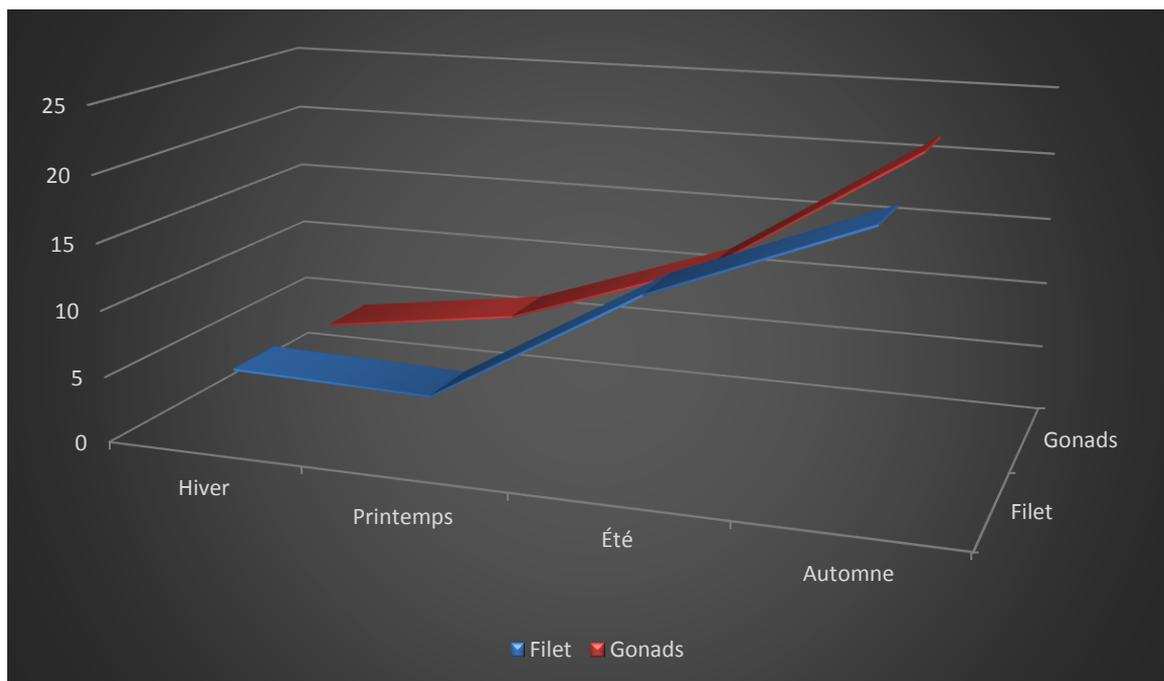


Figure 48 : Variations saisonnières des concentrations moyennes du Cadmium en ppm/P.F chez *Trachurus trachurus* région de Benisaf

En hiver, les concentrations de cadmium dans le filet ($5,04 \pm 3,84$ ppm) et les gonades ($4,34 \pm 2,53$ ppm) sont relativement modérées. Les conditions environnementales de cette saison peuvent limiter l'activité biologique et les apports de contaminants, contribuant à des niveaux de cadmium plus stables.

Printemps : Au printemps, une légère diminution des concentrations dans le filet ($4,65 \pm 3,76$ ppm) est observée, tandis que les gonades présentent une augmentation ($6,49 \pm 5,25$ ppm). Les changements saisonniers, tels que des précipitations réduites et des températures plus élevées, pourraient probablement influencer ces variations.

Été : En été, les concentrations de cadmium augmentent significativement, atteignant $13,53 \pm 13,87$ ppm dans le filet et $11,77 \pm 11,82$ ppm dans les gonades. Les températures plus élevées et l'intensification de l'activité biologique pendant cette saison pourraient favoriser une bioaccumulation plus importante de cadmium dans les tissus du poisson.

Automne : En automne, les concentrations de cadmium atteignent leur pic maximal, avec des valeurs de $19,59 \pm 9,47$ ppm dans le filet et $21,58 \pm 8,15$ ppm dans les gonades. Cette saison présente les niveaux les plus élevés de cadmium, suggérant une combinaison de facteurs tels que les déversements de contaminants saisonniers et une activité biologique accrue.

6- Variations des concentrations moyennes en métaux lourds en fonction des classes de taille

6-1-Ghazaouet

Nous avons considéré qu'il serait bénéfique d'analyser les moyennes des concentrations de métaux selon les différentes classes de taille chez le *Trachurus trachurus* (**Tableau.21**). Ces classes comprenaient les trois catégories suivantes : (13-17 cm), (17-22 cm), (22-37 cm).

Tableau 21 : Variation des concentrations moyennes en Zinc, Cuivre, Plomb et Cadmium (moyennes \pm écart type ppm P.F) au niveau du filet et les gonades en fonction des classes de taille chez *Trachurus trachurus* dans la région de Ghazaouet

Métaux	Zinc		Cuivre		Plomb		Cadmium	
	Filet	Gonades	Filet	Gonades	Filet	Gonades	Filet	Gonades
13-17 cm	24,78 \pm 19,27	25,27 \pm 24,31	9,64 \pm 12,62	7,42 \pm 9,41	4,02 \pm 2,14	5,54 \pm 2,43	6,85 \pm 8,69	6,96 \pm 7,36
17-22 cm	37,93 \pm 16,86	62,62 \pm 65,80	3,40 \pm 2,26	2,91 \pm 1,64	6,99 \pm 3,66	5,54 \pm 3,65	16,84 \pm 11,66	15,37 \pm 11,48
22-37 cm	55,84 \pm 24,04	46,52 \pm 40,67	2,28 \pm 1,32	2,47 \pm 1,10	4,05 \pm 2,45	5,61 \pm 2,70	5,66 \pm 5,94	7,78 \pm 5,42

Selon l'étude de (**Gherram et al. 2018**) l'espèce *Trachurus trachurus* atteint la maturité sexuelle à une taille (Lt) de 18,2 cm.

6-1-1-Zinc

La (**figure 49**) illustre les variations des concentrations moyennes en zinc en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Ghazaouet

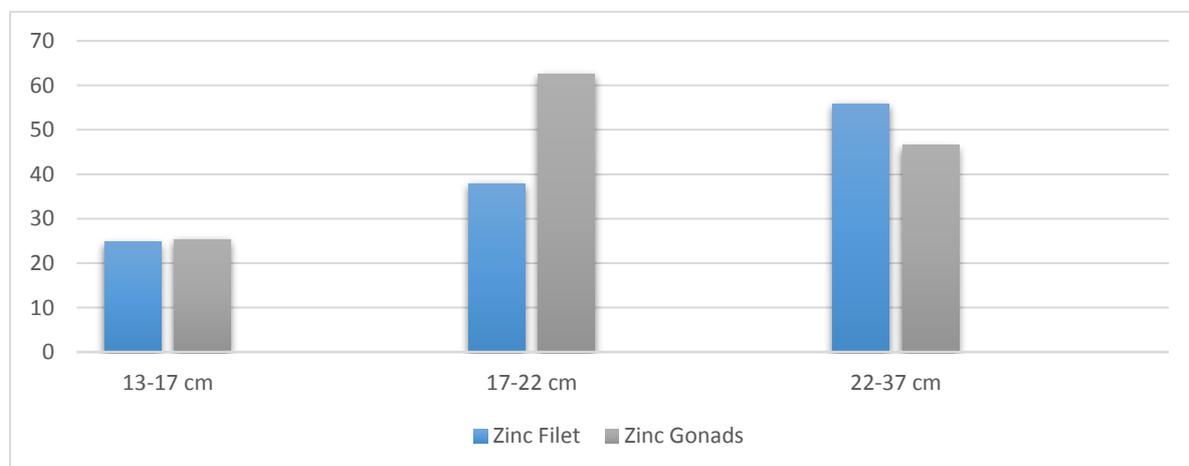


Figure 49 : Variation des concentrations moyennes en Zn en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Ghazaouet

L'étude des variations des concentrations moyennes en zinc (Zn) en fonction des classes de taille chez l'espèce *Trachurus trachurus* dans la région de Ghazaouet offre une compréhension essentielle de la distribution de ce métal dans les tissus du poisson en fonction de sa croissance. Cette recherche vise à analyser les différences de concentrations de zinc dans le filet et les gonades en relation avec les classes de taille de l'espèce.

a-Filet

Les concentrations moyennes en zinc dans le filet de *Trachurus trachurus* montrent une tendance à augmenter avec la taille du poisson, atteignant leur plus haut niveau dans la classe de taille 22-37 cm. Cette observation est cohérente avec les résultats d'études antérieures qui ont également montré une corrélation positive entre la taille du poisson et l'accumulation de zinc dans ses tissus (**Rashed, 2001**).

La bioaccumulation du zinc dans les tissus des poissons peut être influencée par plusieurs facteurs, notamment le régime alimentaire, le taux métabolique et la durée de vie du poisson. Les poissons plus grands ont tendance à avoir un régime alimentaire plus diversifié et à occuper des niveaux trophiques plus élevés, ce qui peut les exposer à des niveaux plus élevés de zinc dans leur environnement (**Rashed 2001**).

b-Gonades

Contrairement au filet, les concentrations moyennes en zinc dans les gonades de *Trachurus trachurus* montrent une variabilité moins cohérente en fonction de la taille du poisson. Cependant, une tendance à l'augmentation des concentrations de zinc dans les gonades avec la taille est également observée, bien que moins prononcée que dans le filet.

L'accumulation de zinc dans les gonades des poissons peut avoir des implications importantes pour leur reproduction et leur santé reproductive. Des études ont montré que l'exposition au zinc peut affecter la fonction reproductive des poissons en perturbant les processus hormonaux et en altérant la qualité des gamètes (**Jeziarska, Ługowska et al. 2009**). Cette observation souligne l'importance de surveiller les concentrations de zinc dans les tissus reproducteurs des poissons pour évaluer les effets potentiels sur la fertilité et la viabilité des populations.

6-1-2-Cuivre

La (**figure 50**) représente les variations des concentrations moyennes en cuivre en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

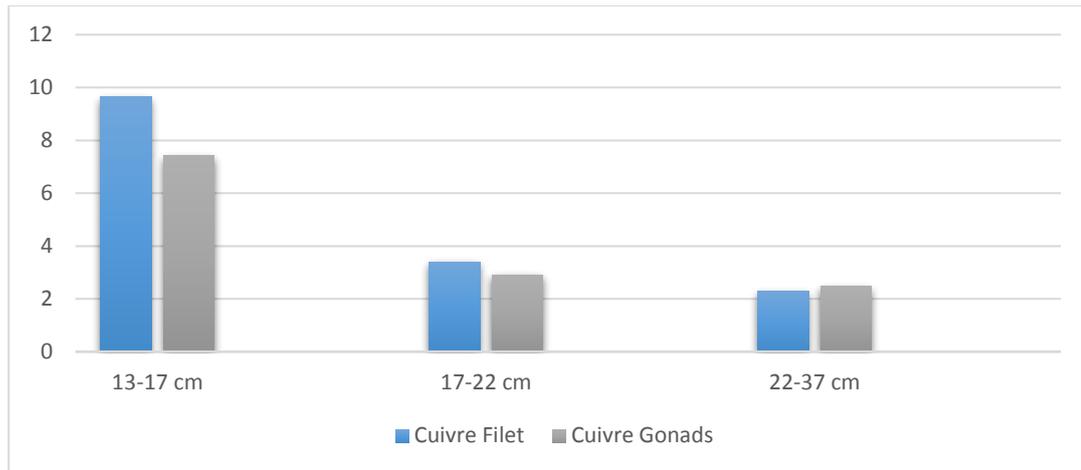


Figure 50 : Variation des concentrations moyennes en Cu en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

L'analyse des variations des concentrations moyennes en cuivre (Cu) en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* dans la région de Ghazaouet peut fournir des informations précieuses sur la distribution de ce métal dans les différentes parties du poisson.

a-Filet

Les concentrations moyennes en cuivre dans le filet de *Trachurus trachurus* montrent une tendance à diminuer avec l'augmentation de la taille du poisson. Cette observation est cohérente avec plusieurs études antérieures qui ont également rapporté une diminution des concentrations de cuivre avec la taille chez d'autres espèces de poissons (**Bervoets and Blust 2003**)

La diminution des concentrations de cuivre dans les tissus des poissons plus grands peut être due à plusieurs facteurs, y compris la croissance et le développement des tissus musculaires, qui peuvent diluer la concentration de métaux. De plus, les différences dans le régime alimentaire et les habitudes alimentaires peuvent également influencer l'accumulation de cuivre dans les tissus des poissons (**Bervoets and Blust 2003**)

b-Gonades

Les concentrations moyennes en cuivre dans les gonades de *Trachurus trachurus* semblent également diminuer avec la taille du poisson, bien que cette tendance soit moins évidente que dans le filet. Des recherches ont montré que les concentrations de cuivre dans les gonades des poissons peuvent être influencées par divers facteurs environnementaux et biologiques, y compris le cycle de reproduction, les hormones sexuelles et l'exposition chronique aux métaux dans l'eau (**Roesijadi, 1992**) Ces facteurs peuvent affecter la physiologie reproductive des poissons et avoir des conséquences sur la santé des populations.

6-1-3- Plomb

La (**figure 51**) exprime les variations des concentrations moyennes en plomb en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Ghazaouet

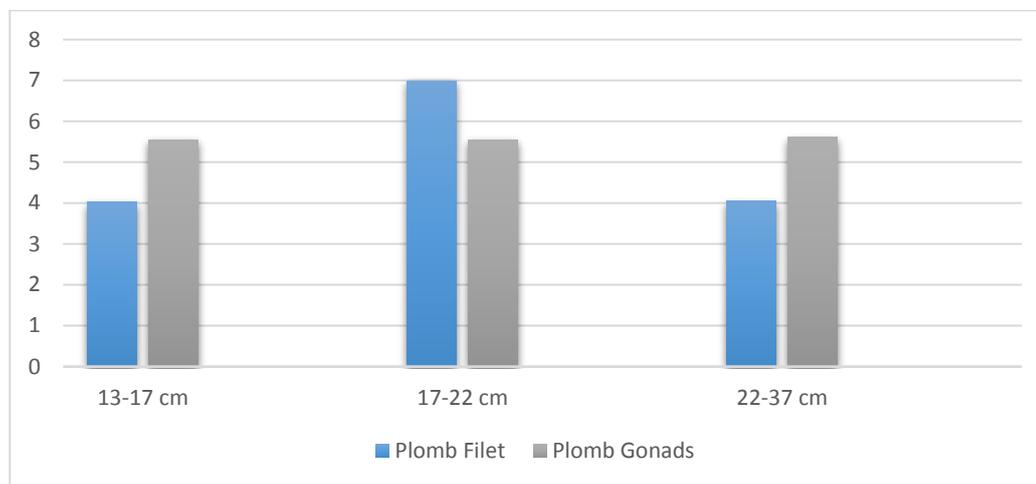


Figure 51 : Variation des concentrations moyennes en Pb en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

a-Filet

Les concentrations moyennes en plomb dans le filet de *Trachurus trachurus* présentent des variations significatives entre les différentes classes de taille. Les poissons de la classe de taille 17-22 cm montrent les concentrations les plus élevées en plomb dans le filet, suivis de près par les poissons des autres classes de taille. Cette observation est soutenue par plusieurs études menées en Turquie, qui ont également rapporté des niveaux variables de plomb dans les tissus des poissons en fonction de leur taille et de leur environnement (**Canli and Atli 2003**)

b-Gonades

Les concentrations moyennes en plomb dans les gonades de *Trachurus trachurus* montrent également des variations entre les différentes classes de taille, bien que la tendance ne soit pas aussi marquée que dans le filet. Les poissons de la classe de taille 17-22 cm présentent les concentrations les plus élevées en plomb dans les gonades, suivis de près par les poissons des autres classes de taille. Ces variations peuvent être influencées par des facteurs tels que la physiologie de la reproduction, les interactions hormonales et l'exposition environnementale au plomb (**Tüzen 2003**)

6-1-4-Cadmium

La (**figure 52**) décrit les variations des concentrations moyennes en cadmium en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Ghazaouet

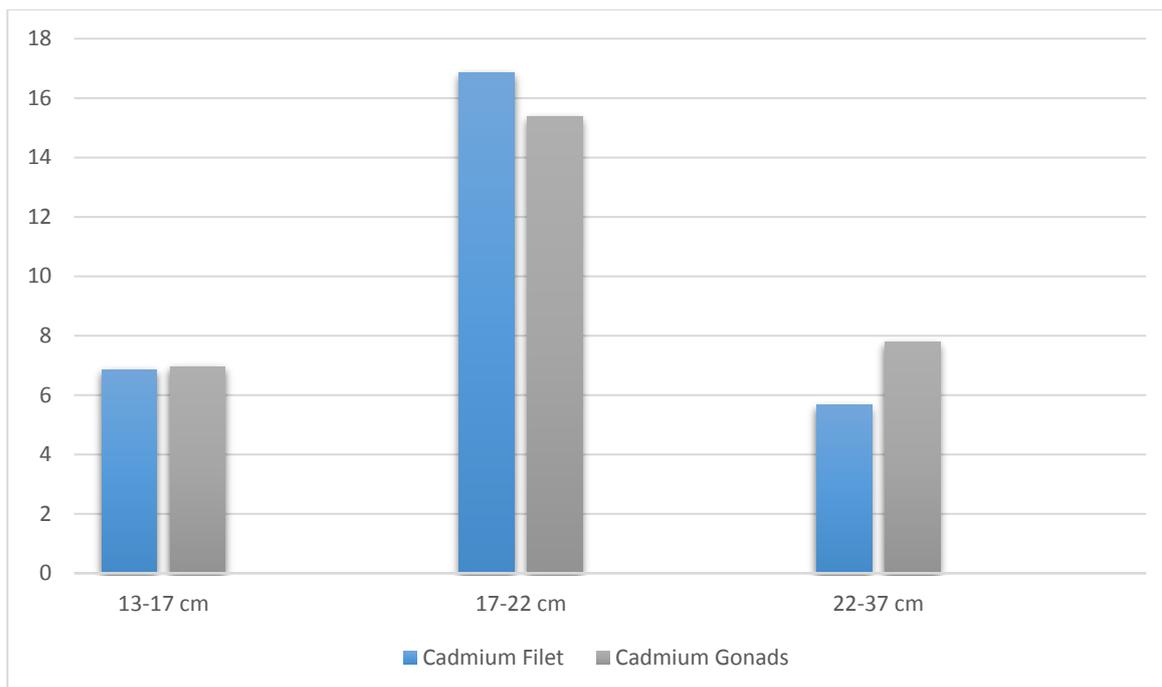


Figure 52 : Variation des concentrations moyennes en Cd en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Ghazaouet

a-Filet

Les concentrations moyennes en cadmium dans le filet de *Trachurus trachurus* montrent des variations significatives entre les différentes classes de taille. Les poissons de la classe de taille 17-22 cm présentent les concentrations les plus élevées en cadmium dans le filet, suivis par les poissons de la classe de taille 13-17 cm et 22-37 cm. Cette tendance peut être influencée par divers facteurs, notamment l'exposition environnementale au cadmium, les pratiques de pêche et la bioaccumulation dans les tissus des poissons (Storelli and Marcotrigiano 2005)

Des études antérieures ont également montré que le cadmium peut être absorbé par les poissons à partir de leur environnement aquatique, en particulier dans les zones industrielles ou fortement polluées (Storelli and Marcotrigiano 2005)

b-Gonades

Les concentrations moyennes en cadmium dans les gonades de *Trachurus trachurus* montrent également des variations entre les différentes classes de taille. Les poissons de la classe de taille 17-22 cm présentent les concentrations les plus élevées en cadmium dans les gonades, suivis par les poissons de la classe de taille 22-37 cm et 13-17 cm. Cette variation peut être due à la capacité des poissons à accumuler le cadmium dans leurs tissus reproducteurs en fonction de leur taille et de leur stade de développement (Canli and Atli 2003)

6-2-Bénisaf

L'analyse des moyennes des concentrations de métaux selon les différentes classes de taille chez le *Trachurus trachurus* (**Tableau.22**) dans la région de Bénisaf

Tableau 22 : Variation des concentrations moyennes en Zinc, Cuivre, Plomb et Cadmium (moyennes \pm écart type ppm P.F) au niveau du filet et les gonades en fonction des classes de taille chez *Trachurus trachurus* dans la région de Bénisaf

Métaux	Zinc		Cuivre		Plomb		Cadmium	
	Filet	Gonads	Filet	Gonads	Filet	Gonads	Filet	Gonads
13-17 cm	35,67 \pm 14,19	29,63 \pm 18,18	3,72 \pm 1,90	2,03 \pm 0,96	6,65 \pm 4,04	4,96 \pm 3,67	3,89 \pm 3,52	3,77 \pm 3,02
17-22 cm	31,16 \pm 21,08	35,16 \pm 20,16	3,01 \pm 1,61	2,77 \pm 1,89	7,15 \pm 3,97	7,61 \pm 4,77	13,22 \pm 11,35	12,88 \pm 10,63
22-37 cm	47,42 \pm 18,52	53,2 \pm 20,6	3,22 \pm 1,09	2,51 \pm 0,90	6,125 \pm 4,77	5,73 \pm 6,19	6,65 \pm 8,40	6,70 \pm 6,66

6-2-1-Zinc

La (**figure 53**) démontre les variations des concentrations moyennes en zinc en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Bénisaf

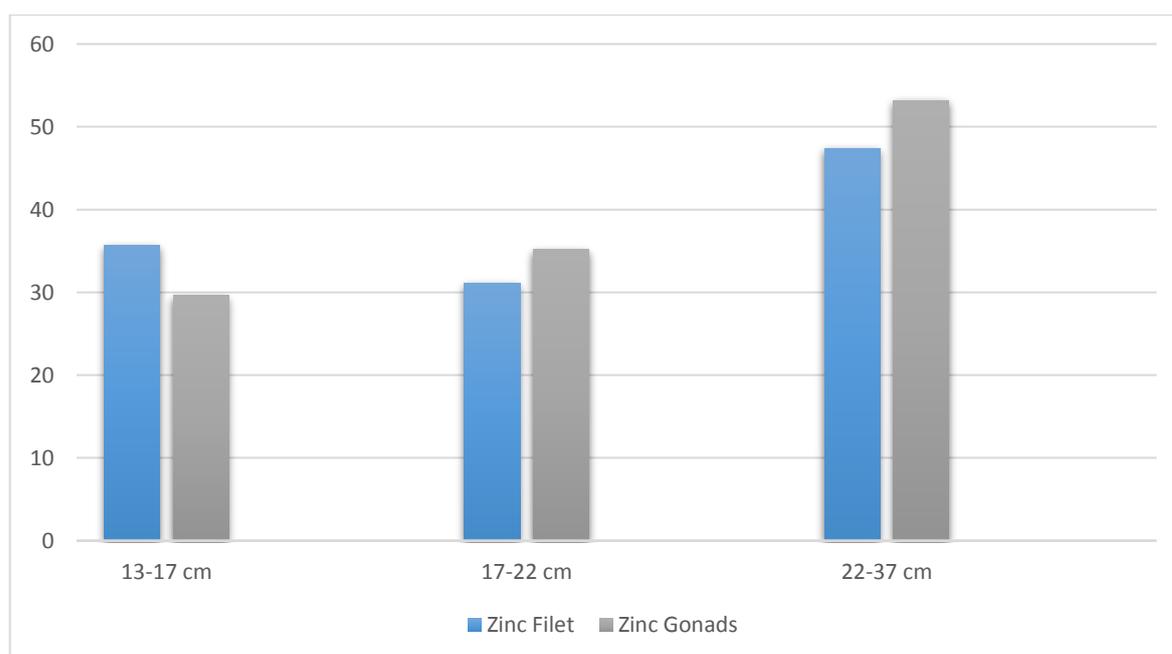


Figure 53 : Figure Variation des concentrations moyennes en Zn en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Bénisaf

a-Filet

Les concentrations moyennes en zinc dans les tissus du filet du *Trachurus trachurus* de la région de Béni Saf présentent des variations intéressantes en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 22-37 cm affichent les concentrations les plus élevées en zinc dans le filet, avec une moyenne de $47,42 \pm 18,52$ ppm. Pour la classe de taille 13-17 cm, les concentrations moyennes en zinc sont légèrement inférieures, avec une moyenne de $35,67 \pm 14,19$ ppm. Cependant, la classe de taille intermédiaire (17-22 cm) présente des concentrations moyennes en zinc encore plus faibles dans le filet, avec une moyenne de $31,16 \pm 21,08$ ppm. Des études antérieures soulignent l'influence de facteurs environnementaux sur la bioaccumulation du zinc dans les poissons (**Rashed, 2001**).

b-Gonades

Concernant les concentrations moyennes en zinc dans les gonades du *Trachurus trachurus*, une tendance similaire n'est pas observée. Les individus de la classe de taille 22-37 cm présentent des concentrations moyennes en zinc relativement plus élevées, avec une moyenne de $53,2 \pm 20,6$ ppm. Les individus de la classe de taille 17-22 cm affichent des concentrations légèrement plus basses, avec une moyenne de $35,16 \pm 20,16$ ppm. Enfin, les individus de la classe de taille 13-17 cm présentent les concentrations les plus faibles en zinc dans les gonades, avec une moyenne de $29,63 \pm 18,18$ ppm. Cette fluctuation des concentrations de zinc dans les tissus des poissons pourrait refléter une combinaison de facteurs biologiques et environnementaux, soulignant l'importance d'une approche holistique dans l'évaluation de la bioaccumulation des métaux (**Storelli et al., 2005**).

6-2-2-Cuivre

La (**figure 54**) illustre les variations des concentrations moyennes en zinc en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Bénisaf

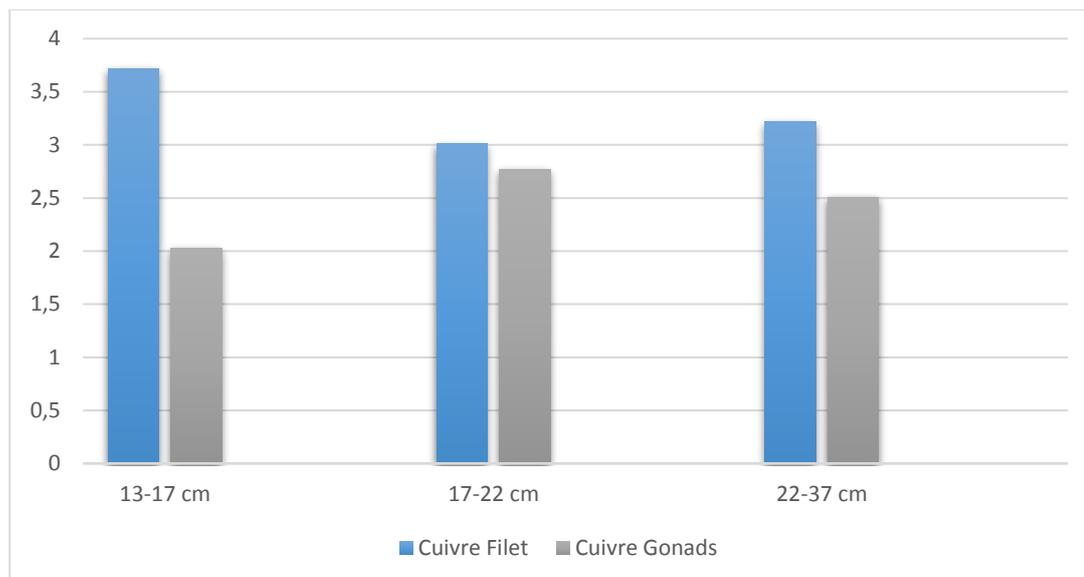


Figure 54 : Figure Variation des concentrations moyennes en Cu en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Bénisaf

a-Filet

Les concentrations moyennes en cuivre dans les tissus du filet du *Trachurus trachurus* de la région de Béni Saf présentent des variations légères en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 13-17 cm montrent les concentrations moyennes les plus élevées en cuivre dans le filet, avec une moyenne de $3,72 \pm 1,90$ ppm. En revanche, les individus de la classe de taille 17-22 cm et de la classe de taille 22-37 cm affichent des concentrations moyennes légèrement plus basses, avec des moyennes respectives de $3,01 \pm 1,61$ ppm et $3,22 \pm 1,09$ ppm. Ces variations peuvent résulter de divers facteurs environnementaux et biologiques spécifiques, soulignant l'importance de considérer la complexité des écosystèmes aquatiques (**Bervoets and Blust 2003**)

b-Gonades

Les concentrations moyennes en cuivre dans les gonades du *Trachurus trachurus* montrent également des variations légères en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 13-17 cm présentent les concentrations moyennes les plus élevées en cuivre dans les gonades, avec une moyenne de $2,03 \pm 0,96$ ppm. Les individus de la classe de taille 22-37 cm affichent des concentrations moyennes légèrement plus basses, avec une moyenne de $2,51 \pm 0,90$ ppm. Cependant, les individus de la classe de taille 17-22 cm présentent des concentrations moyennes légèrement plus élevées en cuivre dans les gonades, avec une moyenne de $2,77 \pm 1,89$ ppm. Ces concentrations modérées peuvent résulter de facteurs biologiques et environnementaux spécifiques, mettant en lumière l'importance d'une approche intégrée pour évaluer la bioaccumulation du cuivre (**Storelli et al., 2005**).

6-2-3-Plomb

La (figure 55) dépeint les variations des concentrations moyennes en plomb en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Bénisaf

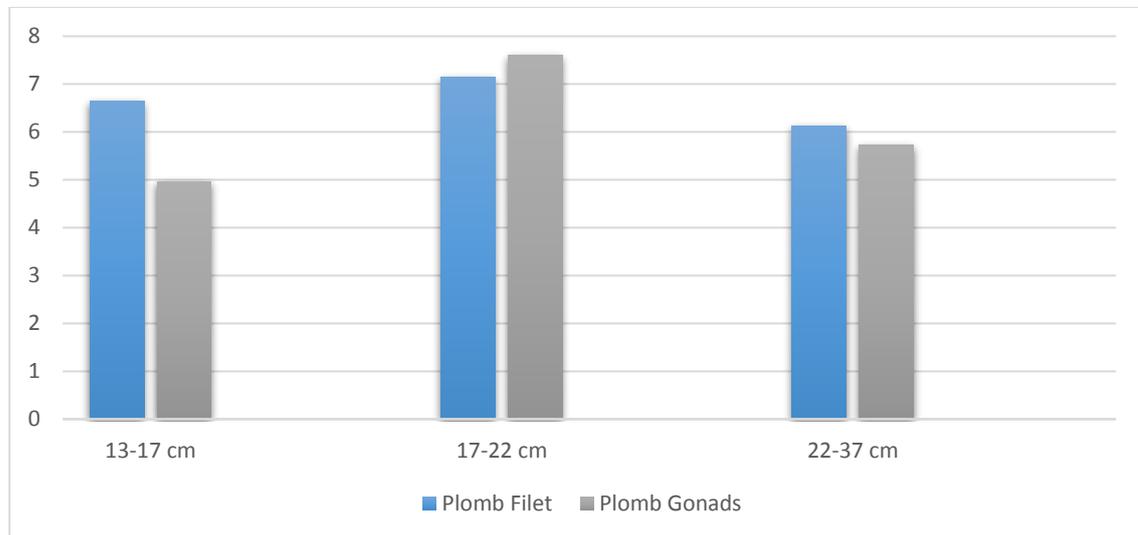


Figure 55 : Figure Variation des concentrations moyennes en Pb en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus trachurus* région de Bénisaf

a-Filet

Les concentrations moyennes en plomb dans les tissus du filet du *Trachurus trachurus* de la région de Béni Saf présentent des variations légères en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 17-22 cm montrent les concentrations moyennes les plus élevées en plomb dans le filet, avec une moyenne de $7,15 \pm 3,97$ ppm. En revanche, les individus de la classe de taille 22-37 cm affichent des concentrations moyennes légèrement plus basses, avec une moyenne de $6,125 \pm 4,77$ ppm. Les individus de la classe de taille 13-17 cm présentent également des concentrations moyennes significatives en plomb dans le filet, avec une moyenne de $6,65 \pm 4,04$ ppm. Ces résultats soulignent l'impact potentiel de la taille et de la maturité sur la bioaccumulation du plomb dans les poissons, nécessitant une compréhension approfondie des processus biologiques impliqués (Canli and Atli 2003)

b-Gonades

Les concentrations moyennes en plomb dans les gonades du *Trachurus trachurus* montrent également des variations légères en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 17-22 cm présentent les concentrations moyennes les plus élevées en plomb dans les gonades, avec une moyenne de $7,61 \pm 4,77$ ppm. Les individus de la classe de taille 22-37 cm affichent des concentrations moyennes légèrement plus basses, avec une moyenne de $5,73 \pm 6,19$ ppm. Cependant, les individus de la classe de taille 13-17 cm présentent des concentrations moyennes

significatives en plomb dans les gonades, avec une moyenne de $4,96 \pm 3,67$ ppm. Ces observations soulignent l'importance de surveiller la contamination par le plomb à différentes tailles et stades de développement des poissons pour évaluer de manière exhaustive l'exposition environnementale (Storelli *et al.*, 2005).

6-2-4-Cadmium

La (figure 56) explicite les variations des concentrations moyennes en cadmium en mg/kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Bénisaf

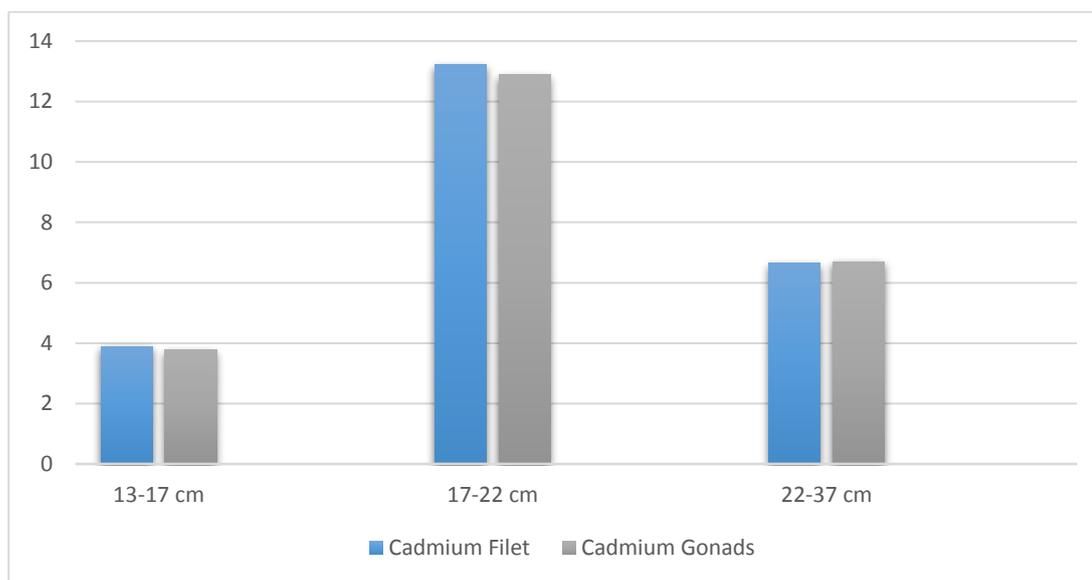


Figure 56 : Figure Variation des concentrations moyennes en Cd en mg/Kg de poids frais en fonction des classes de taille de *Trachurus Trachurus* région de Bénisaf

a-Filet

Les concentrations moyennes en cadmium dans les tissus du filet du *Trachurus trachurus* de la région de Béni Saf présentent des variations significatives en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 17-22 cm montrent les concentrations moyennes les plus élevées en cadmium dans le filet, avec une moyenne de $13,22 \pm 11,35$ ppm. Cette augmentation pourrait être liée à des facteurs tels que le régime alimentaire, la croissance et l'exposition accrue à des sources de cadmium. Des études antérieures ont souligné la variabilité de la bioaccumulation du cadmium en fonction de la taille et du stade de développement des poissons (Storelli and Marcotrigiano 2005). En revanche, les individus de la classe de taille 13-17 cm et de la classe de taille 22-37 cm affichent des concentrations moyennes plus faibles, avec des moyennes respectives de $3,89 \pm 3,52$ ppm et $6,65 \pm 8,40$ ppm.

b-Gonades

Les concentrations moyennes en cadmium dans les gonades du *Trachurus trachurus* montrent également des variations en fonction de la taille du poisson. Les individus de la classe de taille 17-22

cm présentent les concentrations moyennes les plus élevées en cadmium dans les gonades, avec une moyenne de $12,88 \pm 10,63$ ppm. Les individus de la classe de taille 13-17 cm et de la classe de taille 22-37 cm affichent des concentrations moyennes légèrement inférieures, avec des moyennes respectives de $3,77 \pm 3,02$ ppm et $6,70 \pm 6,66$ ppm. Les variations pourraient être influencées par des facteurs biologiques tels que la biotransformation du cadmium dans les tissus et les changements dans le régime alimentaire (Storelli *et al.*, 2005).

7-Situation du niveau de la contamination métallique de *Trachurus trachurus* par rapport aux doses maximales admissibles (D.M.A)(FAO & WHO 1989)

L'accumulation des Éléments Traces Métalliques (ETM) dans les sédiments peut engendrer d'importants défis environnementaux. Cette contamination a le potentiel d'impacter la qualité de l'eau ainsi que la bio-assimilation et la bioaccumulation de ces xénobiotiques chez les organismes aquatiques. Bien que ces organismes puissent éliminer une partie de ces métaux par excrétion et métabolisation, au-delà d'un certain seuil, ces métaux tendent à s'accumuler dans les organismes et à travers la chaîne alimentaire. Cette accumulation peut atteindre des concentrations critiques, mettant en péril la survie de certaines populations naturelles et présentant des risques pour la santé humaine (Liehr, Zettler *et al.* 2005). De plus, cela peut altérer de manière significative et à long terme les écosystèmes (Ip, Li *et al.* 2007)

Les recommandations de la (FAO & WHO, 1989) quant aux limites acceptables de ces composés dans la chair de poisson, sont comparées aux données de notre étude dans le (Tableau.23).

Tableau 23 : comparaison des concentrations globales de métaux lourds dans les gonades et les filets de *Trachurus trachurus* collectées dans la baie de Ghazaouet et Bénisaf avec la DMA

	Ghazaouet	Béni Saf	DMA
Zinc (mg/Kg)	37.67±17.17	35,22± 15,27	50 ppm p.f
Cuivre (mg/Kg)	4.51±5.51	3,22± 1,52	10 ppm p.f
Plomb (mg/Kg)	5.99 ±3.19	6,92± 3,44	0,5 ppm p.f
Cadmium (mg/Kg)	13.42 ±11.90	10,78± 11,04	0,5 ppm p.f

En ce qui concerne le zinc, les résultats obtenus dans notre étude montrent des concentrations moyennes inférieures à la DMA de 50 ppm fixée par la FAO. Cette constatation est cohérente avec

des recherches antérieures telles que celle menée par **(Karadede and Ünlü 2000)**, qui a également trouvé des niveaux de zinc dans les poissons marins inférieurs aux limites réglementaires.

Pour le cuivre, les concentrations moyennes dans le filet de *Trachurus trachurus* sont également inférieures à la DMA de 10 ppm recommandée par la FAO. Cette observation est en accord avec les résultats d'études antérieures comme celle de **(Storelli, Barone et al. 2007)** qui ont également constaté des niveaux de cuivre dans les poissons côtiers en dessous des limites réglementaires.

En revanche, les concentrations moyennes de plomb dans le filet de *Trachurus trachurus* dépassent la DMA de 0,5 ppm établie par la FAO. Cette constatation est conforme à plusieurs études antérieures telles que celles menées par **(Kalay, Ay et al. 1999)**, qui ont observé des niveaux de plomb légèrement supérieurs aux normes dans les poissons marins.

En ce qui concerne le cadmium, les concentrations moyennes dans le filet de *Trachurus trachurus* dépassent également la DMA de 0,5 ppm recommandée par la FAO. Des études antérieures comme celle de **(Olmedo, Pla et al. 2013)** ont également rapporté des niveaux élevés de cadmium dans les poissons côtiers, soulignant les préoccupations en matière de sécurité alimentaire.

8-Comparaison des résultats obtenus avec ceux de la littérature

L'analyse et le suivi de la contamination des espèces de poissons par différents métaux (Cuivre, Plomb, Zinc et Cadmium) révèlent la présence de micropolluants dans les poissons destinés à la consommation. Cependant, il est possible que la taille et l'âge des poissons influencent les concentrations de contaminants dans les différents tissus des poissons indépendamment exposés aux polluants **(El Morhit et al., 2013)**.

D'autre part, il est largement admis que les niveaux de concentration des métaux dans les organismes ne dépendent pas uniquement de leur disponibilité dans l'environnement. Les processus impliqués sont extrêmement complexes et sont affectés par divers facteurs, tels que les caractéristiques du contaminant (taille de la molécule, spécification chimique, etc.). **(Singh et al., 2007)**

Les **Tableau 24 et 25** présentent les teneurs en métaux obtenues par quelques auteurs au niveau du filet et les gonades chez l'espèce *Trachurus trachurus* dans divers pays comme la Turquie, l'Italie et aussi de l'Algérie. Les teneurs du Cu, Pb, Zn, et Cd sont représentés en mg/kg P.F. Elles sont les plus représentatives de point de vue toxicité.

Tableau 24 : La comparaison des concentrations globales de métaux lourds dans les muscles de *T. trachurus* collectés dans la baie de Ghazaouet et la baie de Beni Saf (côte ouest de la Méditerranée algérienne) avec d'autres études.

	Sites	Zn	Pb	Cu	Cd
Tuzen (2003)	Middle Black Sea, Turkey	12.05	0.85	1.52	0.47
Tuzen and Soylak (2007)	Purchased from popular supermarkets in Turkey	13.20	0.16	1.10	0.25
Tuzen (2009)	Black Sea, Turkey	52.70	0.82	0.65	0.32
Mendil et al.(2010)	Black Sea, Turkey	25.70	0.64	2.40	0.22
Minganti et al. (2010)	Cavi di Lavagna, Ligurian sea, Italy	15-22	-	1.30 ±2.20	<0.01
Nisbet et al.(2010)	Middle Black Sea, Turkey	27.70	0.60	1.79	0.012
A.Gundogdu et al. (2016)	Coast of Sinop Black Sea, Pakistan	19.98	0.02	3.25	0.01
Benadda (2009)	Oran bay, Algeria	2,76 ±1,27	/	/	0,01± 0,03
Present study	Ghazaouet bay	37.67 ± 17.17	5.99 ± 3.19	4.51 ± 5.51	13.42 ± 11.90
	Beni Saf bay	35,22 ± 15,27	6,92 ± 3,44	3,22 ± 1,52	10,78± 11,04

Tableau 25 : Comparaison des concentrations globales de métaux lourds dans les gonades de *T. trachurus* collectées dans la baie de Ghazaouet et la baie de Beni Saf (côte ouest de la Méditerranée algérienne) avec d'autres études.

	Sites	Zn	Cu	Pb	Cd
Alkan <i>et al</i> (2016)	Black sea	4.63	2.43	0.10	0.29
Aydın & Tokaloğlu (2015)	Black sea	/	/	3.85	/
Present study	Ghazaouet bay	51,88	6,95	5,87	12,68
	Beni Saf bay	36,51	2,58	7,19	11,44

Les données ont révélé que tous les niveaux de métaux lourds au niveau du filet et les gonades rapportés dans la présente étude sont plus élevés que ceux rapportés par les études précédentes, à l'exception du niveau de Zn dans les muscles rapporté par (**Tuzen, 2009**). Il est important de noter que les niveaux de Pb et de Cd dépassent largement ceux rapportés par d'autres études.

Dans une même espèce de poisson et pour un âge donné, les besoins physiologiques évoluent en fonction des saisons et des variations des paramètres physico-chimiques de l'environnement tels que le pH, la température, l'oxygène dissous et la salinité.

À l'issue de cette étude, la synthèse des résultats obtenus met en évidence l'importance de l'utilisation des organismes vivants comme indicateurs biologiques dans la surveillance de l'environnement marin, ainsi que l'évaluation de la situation actuelle de la côte ouest algérienne en termes de pollution marine. Contrairement aux mesures des paramètres chimiques de l'eau et des sédiments, telles que décrites dans les travaux antérieurs (**Munawar and Luotola 1995**) qui ne permettent pas de mesurer pleinement l'impact des contaminants sur les différents organismes, populations et communautés dans un environnement donné, l'utilisation de bio-indicateurs vivants offre une approche plus complète. Cela inclut également la détermination des seuils critiques, essentiels pour alerter sur les problèmes environnementaux.

*V-Conclusion générale et
recommandations*

Depuis ces dernières décennies, la pollution marine est devenue un problème mondial majeur. Aujourd'hui, la gravité de cette menace pour les écosystèmes marins suscite une préoccupation généralisée, incitant les gouvernements à chercher des solutions tant individuellement que collectivement. La connaissance actuelle de la contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux lourds met en lumière une complexité éco-toxicologique considérable. Cette complexité découle des nombreuses interrelations entre les éléments abiotiques du milieu, les facteurs biotiques et les diverses formes de dérivés des ETM présents dans les différents compartiments des écosystèmes.

La Méditerranée, est essentiellement une mer semi-fermée, s'ouvrant à l'ouest vers l'Atlantique via le détroit de Gibraltar et à l'est vers la mer Rouge par le canal de Suez. Avec son vaste volume d'eau étendant sur une superficie de plus de 3 millions de kilomètres carrés, elle possède une capacité significative à absorber la pollution, mais les importantes quantités de déchets déversés ne peuvent être pleinement assimilés dans les zones côtières. En tant que maillon final de la chaîne alimentaire, l'homme est particulièrement vulnérable aux effets de cette pollution, notamment en raison des risques de contamination par des métaux toxiques, ce qui représente une menace persistante pour la santé publique.

Les poissons qui sont des bio-indicateurs, permettent d'estimer la fraction bio-disponible en métaux dans le milieu, en plus les teneurs obtenues sont intégrées dans le temps et mettent en évidence la contamination moyenne récente du site d'étude.

Dans les travaux de bio-surveillance des eaux côtières algériennes, il a été démontré que les eaux usées urbaines et industrielles sont les principales sources d'apports croissants en matières organiques. Celles-ci fournissent un environnement propice à l'accumulation des éléments métalliques dans les tissus des organismes aquatiques, favorisant ainsi leur bioaccumulation.

Notre étude révèle des éléments significatifs concernant le niveau de contamination en métaux lourds le long de la côte extrême ouest de l'Algérie. Les concentrations élevées de zinc, de cuivre, de plomb et de cadmium pourraient résulter d'une utilisation intensive d'engrais et de produits phytosanitaires. De plus, la proximité du complexe industriel, notamment à Ghazaouet considérée comme une zone à fort potentiel économique, et avec son usine d'électrolyse de zinc, pourrait accroître la présence de ces métaux, posant ainsi une menace sérieuse pour l'écosystème marin, tandis que la deuxième zone d'étude est la baie de Béni Safi où sa zone industrielle se limite

à une seule unité fonctionnelle : la cimenterie dont les influences des rejets atmosphériques de la région sont néfastes sur l'environnement.

L'espèce choisie est le *Trachurus trachurus* (L., 1758) qui est un bioindicateur révélateur de l'état de santé du milieu marin de par sa capacité à la bioaccumulation. Un échantillonnage mensuel du *Trachurus trachurus* s'est étalé tout le long de l'année 2018, du Mois de Janvier jusqu'à Décembre où chaque Mois dans les deux zones d'études (Baie de Ghazaouet et de Béni Saf). Au total 240 individus de *Trachurus trachurus* ont été collectés tout le long de l'année 2018. Une fois au laboratoire, les poissons seront soumis en premier lieu à des mensurations et puis la dissection des deux organes cibles sont les gonades et le filet. 1 gramme de chaque organe est minéralisé par voie humide en suivant le synoptique du protocole de minéralisation de **(Amiard, Pineau et al. 1987)**

L'analyse chimique par la Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) à flamme de la contamination du *Trachurus trachurus* (L., 1758) pour les quatre métaux (Zn, Cu, Pb et Cd), effectuée en examinant et en suivant la concentration de ces métaux dans deux organes du poisson (Filet et les gonades révèle la présence des micropolluants visés chez les spécimens prélevés. Dans la baie de Ghazaouet, l'ordre décroissant des concentrations est le suivant : Zn > Cd > Pb > Cu dans le filet, et Zn > Cd > Cu > Pb dans les gonades. Tandis que dans la région de Béni Saf, l'ordre des concentrations est : Zn > Cd > Pb > Cu pour les deux organes (Filet et gonades).

Les fluctuations saisonnières des concentrations en métaux lourds pourraient principalement résulter des processus physiologiques, notamment ceux liés à la reproduction, ainsi que des variations de certains facteurs environnementaux tels que la température, le pH et la salinité, qui influencent la biodisponibilité de ces métaux. De plus, la taille et l'âge des poissons pourraient également jouer un rôle dans les concentrations de contaminants dans les différents tissus des poissons exposés de manière indépendante aux polluants.

Nous constatons que les doses moyennes des métaux lourds Zinc et Cuivre relevées dans le tissu musculaire de *Trachurus trachurus* (L., 1758) dans les deux sites étudiés sont inférieures à celles rapportées dans la littérature relative aux D.M.A, tandis que les concentrations moyennes du Plomb et du Cadmium sont supérieures à celle de la D.M.A.

Les données ont révélé que les niveaux de métaux lourds dans le filet et les gonades, tels que rapportés dans cette étude, dépassent ceux observés dans les études antérieures, à l'exception du

niveau de zinc dans les muscles tel que rapporté par un auteur. Il est remarquable que les niveaux de plomb et de cadmium dépassent considérablement les valeurs rapportées dans d'autres études.

Les résultats obtenus démontrent que l'espèce *Trachurus trachurus* possède un potentiel significatif en tant que bioindicateur pour évaluer la pollution métallique en milieu marin.

Entre les concentrations des métaux lourds pour les deux stations (Baie de Ghazaouet et Béni Saf) on constate pas une différence significative, sauf pour le zinc au niveau des gonades où on observe un écart tangible avec une forte concentration à la station de Ghazaouet, cela peut s'expliquer par la présence de l'unité d'électrolyse d'Alzinc dans cette station.

Les recommandations suivantes peuvent être un outil de remédiation aux risques de la contamination des métaux lourds dans le milieu marin :

- Examiner la contamination de divers éléments biologiques appartenant à différents niveaux trophiques afin de surveiller l'évolution horizontale et verticale de cette contamination.
- Entreprendre une analyse expérimentale des transferts au sein des réseaux trophiques à l'aide de modèles éco-toxicologiques plus ou moins complexes, tels que les chaînes trophiques ou les micro-écosystèmes.
- Accroître le nombre de stations d'épuration des eaux usées le long des côtes algériennes.
- Éliminer les déchets toxiques, tels que l'huile moteur, les diluants de peinture et les herbicides, dans des zones spécifiques désignées, et non dans les égouts.
- Initiatives de sensibilisation pour prévenir la pollution, incitant les pêcheurs et les marins à rapporter leurs déchets et encourageant les ports et les marinas à mettre en place des installations de gestion des déchets.
- Restreindre les effluents par des normes flexibles, la limite peut être définie comme chimique et/ou toxicologique en vue de maintenir la qualité des eaux dans un plan d'eau donné.
- Élaboration d'un plan national pour prévenir et intervenir en cas de déversements massifs d'hydrocarbures ou d'autres substances chimiques potentiellement dangereuses.

- Mise en œuvre des réglementations existantes concernant les rejets d'eaux usées afin de respecter les normes sanitaires et de qualité, assurant ainsi la préservation de la vie aquatique, accompagnée de programmes de recherche adaptés.
- Dans le cadre des objectifs de lutte contre la pollution, il est également crucial de souligner l'importance de réduire la production de déchets. Les industries devraient être encouragées à adopter des technologies générant peu voire pas du tout de déchets tout au long du cycle de vie d'un produit, depuis l'extraction de la matière première jusqu'à son élimination.
- Sensibiliser la population aux dangers de la contamination par le biais de spots télévisés et radiophoniques nationaux, ainsi que par la distribution de brochures sur la valeur de notre environnement océanique et l'importance cruciale de sa préservation pour les générations présentes et futures.

Pour enrichir cette recherche sur la contamination métallique sur le littoral extrême ouest algérien, d'autres études peuvent être envisagées pour une approche analytique visant à approfondir la compréhension des phénomènes toxicologiques dans leur ensemble.

*VI-Références
bibliographiques*

A. M. Oliveira Ribeiro, J. G. O., B. C. de Souza (2019). "Mercury and selenium bioaccumulation and their interactions in tissues of a top predator fish, *Hoplias malabaricus*, in a tropical reservoir." Environmental Science and Pollution Research **vol. 26, no. 11**: pp. 11208-11217.

Aboussouan, A. and J. Lahaye (1979). "Les potentialités des populations ichtyologiques. Fécondité et ichtyoplancton." Cybium **6**: 29-46.

Adami, G., P. Barbieri, et al. (2002). "Levels of cadmium and zinc in hepatopancreas of reared *Mytilus galloprovincialis* from the Gulf of Trieste (Italy)." Chemosphere **48(7)**: 671-677.

Alzieu, C., A. Abarnou, et al. (1999). "Dragages et environnement marin Etat des connaissances."

Amiard, J., A. Pineau, et al. (1987). "Application de la spectrométrie d'absorption atomique Zeeman aux dosages de huit éléments traces (Ag, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Se) dans des matrices biologiques solides." Water Research **21(6)**: 693-697.

Asso, A. (1982). Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L.) dans la région d'Alger, France.

Astruc, M. (2001). "Les effets des Métaux lourds sur l'environnement et la santé." 366.

Aubert, M. and J. Aubert (1987). "Pollution de la mer et aménagement des rivages." Cahiers Nantais **29(1)**: 57-62.

Bagenal, T., F. Mackereth, et al. (1973). "The distinction between brown trout and sea trout by the strontium content of their scales." Journal of Fish Biology **5(4)**: 555-557.

Barnabé, G. (1991). "Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture." (No Title).

Batista, B. L., J. L. Rodrigues, et al. (2009). "Exploiting dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry (DRC-ICP-MS) for sequential determination of trace elements in blood using a dilute-and-shoot procedure." Analytica chimica acta **639(1-2)**: 13-18.

Baxter, I. (1963). "A comparison of fecundities of early and late maturity stages of herring in the north-western North Sea." Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer **154**: 170-174.

Bektas, Y. and A. O. Belduz (2009). "Morphological variation among Atlantic horse mackerel, *Trachurus trachurus* populations from Turkish coastal waters." Journal of Animal and Veterinary Advances **8(3)**: 511-517.

Benguedda-Rahal, W. (1993). Contribution à l'étude de quelques polluants métalliques chez la moule Perna-perna (L) et le rouget Mullus sumerlatus (L) dans la partie occidentale du golfe d'Arzew, Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Mer et Aménagement du

Bervoets, L. and R. Blust (2003). "Metal concentrations in water, sediment and gudgeon (*Gobio gobio*) from a pollution gradient: relationship with fish condition factor." Environmental pollution **126**(1): 9-19.

Billard, R. (1979). "La gamétogenèse, le cycle sexuel et le contrôle de la reproduction chez les poissons téléostéens." Bulletin Français de Pisciculture(273): 117-136.

Billard, R. (1986). "Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species." Reproduction Nutrition Développement **26**(4): 877-920.

Billard, R., B. Jalabert, et al. (1972). LES CELLULES DE SERTOLI DES POISSONS TÉLÉOSTÉENS. I.—ÉTUDE ULTRASTRUCTURALE. Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique, EDP Sciences.

Billard, R., C. Weil, et al. (1992). "Testicular and some hormonal changes during the first four years of life in the mirror carp, *Cyprinus carpio* L." Journal of fish biology **41**(3): 473-487.

Bisson, M., C. Hulot, et al. (2003). "Plomb et ses dérivés." Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, 82p.[En ligne] URL: <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le **10**(04): 2012.

Bliefert, C. and R. Perraud (2007). Chimie de l'environnement: air, eau, sols, déchets, De Boeck Supérieur.

Bougis, P. (1952). Recherches biométriques sur les Rougets (*Mullus barbatus* L. et *Mullus surmuletus* L.), Centre national de la recherche scientifique Paris, France.

Bruslé, S. (1982). Contribution à la connaissance de la sexualité de Poissons Téléostéens Marins Gonochoriques (Mugilidés) et Hermaphrodites (Serranidés).

Bryden, H. L., J. Candela, et al. (1994). "Exchange through the Strait of Gibraltar." Progress in Oceanography **33**(3): 201-248.

Burger, J. and M. Gochfeld (2005). "Heavy metals in commercial fish in New Jersey." Environmental Research **99**(3): 403-412.

Burger, J. and M. Gochfeld (2011). "Conceptual environmental justice model for evaluating chemical pathways of exposure in low-income, minority, Native American, and other unique exposure populations." American Journal of Public Health **101**(S1): S64-S73.

Campbell, N. (2005). "The myxosporean parasitofauna of the Atlantic horse mackerel, *Trachurus trachurus* (L.) in the North-East Atlantic Ocean and Mediterranean Sea." *Acta Parasitologica* **50**(2): 97-101.

Canli, M. and G. Atli (2003). "The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species." *Environmental pollution* **121**(1): 129-136.

Carpene, E. and S. George (1981). "Absorption of cadmium by gills of *Mytilus edulis* (L.)." *Mol. Physiol* **1**(1): 23-34.

Casas, S. (2005). Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen, Université de Toulon.

Cauty, C. and M. Loir (1995). "The interstitial cells of the trout testis (*Oncorhynchus mykiss*): ultrastructural characterization and changes throughout the reproductive cycle." *Tissue and Cell* **27**(4): 383-395.

Cedre (2008). "www.marees-noires.com."

Çelik, E. Ş., H. Kaya, et al. (2013). "Effects of zinc exposure on the accumulation, haematology and immunology of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus*." *African Journal of Biotechnology* **12**(7).

Cheftel, J.-C., H. Cheftel, et al. (1977). *Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments*, Technique et documentation-Lavoisier.

Chiffolleau, J.-F., J.-L. Gonzalez, et al. (1999). "Le cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire."

Chiffolleau, J., D. Claisse, et al. (2001). "La contamination métallique, Programme scientifique "Seine Aval", Fascicule no 8." *IFREMER Plouzané (France)*.

Chong, K. and W.-X. Wang (2001). "Comparative studies on the biokinetics of Cd, Cr, and Zn in the green mussel *Perna viridis* and the Manila clam *Ruditapes philippinarum*." *Environmental Pollution* **115**(1): 107-121.

Claisse, D. and C. Alzieu (1993). "Copper contamination as a result of antifouling paint regulations?" *Marine Pollution Bulletin* **26**(7): 395-397.

Coombs, T. L. and S. G. George (1978). Mechanisms of immobilization and detoxication of metals in marine organisms. *Physiology and behaviour of marine organisms*, Elsevier: 179-187.

Cossa, D., F. Elbaz-Poulichet, et al. (1993). "Le plomb en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie." *Repères océans*(3).

Cossa, D. and P. Lassus (1989). "Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie."

D.P.R.H.T (2006). "Le Secteur De La Pêche Et L'état Environnemental Du Littoral De La Wilaya De Tlemcen." 41.

Derache, R. (1989). Toxicologie et sécurité des aliments, Technique et Documentation-Lavoisier.

Djabali, I. (1988). "Résultats des travaux réalisés sur les stocks de sardines et des anchois des côtes algéroises." FAO, Rap. Pêches **395**: 112-120.

Dural, M., M. Z. L. Göksu, et al. (2007). "Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon." Food chemistry **102**(1): 415-421.

Dziewulska, K. and J. Domagala (2003). "Histology of salmonid testes during maturation." Reprod Biol **3**(1): 47-61.

Engel, D. (1999). "Accumulation and cytosolic partitioning of metals in the American oyster *Crassostrea virginica*." Marine Environmental Research **47**(1): 89-102.

Eymard, S. (2003). Mise en évidence et suivi de l'oxydation des lipides au cours de la conservation et de la transformation du chinchard (*Trachurus trachurus*): choix des procédés, Université de Nantes.

FAO (2011). "Food and Agriculture Organization of the United Nations." Caramel Colours. Combined Compendium of Food Additive Specification, Monograph **11**: 1817-7077.

FAO & WHO, W. H. O. (1989). "Évaluation toxicologique de certains additifs alimentaires et contaminants." <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41268>.

FAO, S. F. S. (2019). "*Anadara granosa* (Linnaeus, 1758), Food and Agriculture Organization of the United Nations." Fisheries and Aquaculture Department.

Fishelson, L., Y. Delarea, et al. (2006). "Testis structure, spermatogenesis, spermatocytogenesis, and sperm structure in cardinal fish (Apogonidae, Perciformes)." Anatomy and embryology **211**: 31-46.

Fletcher, G. and M. King (1978). "Seasonal dynamics of Cu²⁺, Zn²⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ in gonads and liver of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*): evidence for summer storage of Zn²⁺ for winter gonad development in females." Canadian Journal of Zoology **56**(2): 284-290.

Fontana, A. and J.-C. Le Guen (1969). "Etude de la maturité sexuelle et de la Fécondité de *Pseudolithus (Fonticulus) elongatus*."

Gaujous, D. (1995). La pollution des milieux aquatiques: aide-mémoire, Technique & Documentation-Lavoisier.

George, S. G., E. Carpene, et al. (1978). The effect of salinity on the uptake of cadmium by the common mussel, *Mytilus edulis* (L.). Physiology and behaviour of marine organisms, Elsevier: 189-193.

GESAMP (1990). United nation group of expert on the scientific aspect of marine pollution. Article premier, paragraphe: 4.

Gherram, M., A. B. Talet, et al. (2018). "Study of reproductive aspects of *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758) from western coast of Algeria."

Gilbin, R. (2001). Caractérisation de l'exposition des écosystèmes aquatiques à des produits phytosanitaires: spéciation, biodisponibilité et toxicité. Exemple du cuivre dans les eaux de ruissellement de parcelles viticoles (Roujan, Hérault, France), Université Montpellier I; University of Geneva.

Grier, H. (1993). "Comparative organization of Sertoli cells including the Sertoli cell barrier." The Sertoli Cell: 703-739.

Grier, H., J. Linton, et al. (1980). "Structural evidence for two different testicular types in teleost fishes." American journal of anatomy **159**(3): 331-345.

Grier, H. and F. L. Nostro (2000). The germinal epithelium in fish gonads: the unifying concept. Proceedings of the 6th International Symposium on the Reproductive Biology of Fish.

Grimes (2010). Peuplements benthiques des substrats meubles de la côte algérienne: taxonomie, structure et statut écologique, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella.

Groman, D. B. (1982). "Histology of the striped bass."

Hattab, M. and S. B. S. Gaouar (2018). "Morphometric characterization and identification of sardines at the Ghazaouet station and Béni-Saf bay." Genetics & Biodiversity Journal **2**(2): 33-40.

Hojo, R. E. S., G. B. Santos, et al. (2004). "Reproductive biology of *Moenkhausia intermedia* (Eigenmann)(Pisces, Characiformes) in Itumbiara Reservoir, Goiás, Brazil." Revista Brasileira de Zoologia **21**: 519-524.

Hong, H., B. Zhang, et al. (2021). "Seasonal variation and ecological risk assessment of heavy metal in an estuarine mangrove wetland." Water **13**(15): 2064.

I.S.M.A.L (1994). Etude de la qualité des sédiments du port de Ghazaouet. Qualité chimique

et biosédimentaire. Rapp. Final. Alger: 50.

Ip, C. C., X.-D. Li, et al. (2007). "Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area, South China." Environmental Pollution **147**(2): 311-323.

Jamieson, B. and L. Leung (1991). "Introduction to fish spermatozoa and the micropyle." Fish evolution and systematics: evidence from spermatozoa: 56-72.

Jeziarska, B., K. Ługowska, et al. (2009). "The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review)." Fish physiology and biochemistry **35**: 625-640.

Joint, F. (2011). "Food and Agriculture Organization of the United Nations." Caramel Colours. Combined Compendium of Food Additive Specification, Monograph **11**: 1817-7077.

Kalay, M., Ö. Ay, et al. (1999). "Heavy metal concentrations in fish tissues from the Northeast Mediterranean Sea." Bulletin of environmental contamination and toxicology **63**: 673-681.

Karadede, H. and E. Ünlü (2000). "Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey." Chemosphere **41**(9): 1371-1376.

Kestemont, P. P. (1989). "Etude du cycle reproducteur du goujon, *Gobio gobio* L. 2 Variations saisonnières dans l'histologie des testicules." Journal of applied ichthyology **5**(3): 111-121.

Knauer, K., R. Behra, et al. (1997). "Effects of free Cu²⁺ and Zn²⁺ ions on growth and metal accumulation in freshwater algae." Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal **16**(2): 220-229.

Koulish, S., C. R. Kramer, et al. (2002). "Organization of the male gonad in a protogynous fish, *Thalassoma bifasciatum* (Teleostei: Labridae)." Journal of Morphology **254**(3): 292-311.

Labat, L. (2010). La préparation des matrices biologiques pour l'analyse des métaux. Annales de Toxicologie Analytique, EDP Sciences.

Laflamme, G. (1991). Caractéristiques biométriques et morphologiques de la transformation mâle-femelle chez la crevette *Pandalus borealis* Kroyer, Université du Québec à Chicoutimi.

Lahaye, J. (1972). "Cycles sexuels de quelques poissons plats des cotes bretonnes." Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes **36**(2): 191-207.

Lahnsteiner, F., N. Mansour, et al. (2004). "Seminal plasma proteins prolong the viability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa." Theriogenology **62**(5): 801-808.

Lahnsteiner, F. and R. Patzner (1997). "Fine structure of spermatozoa of four littoral teleosts, *Symphodus ocellatus*, *Coris julis*, *Thalassoma pavo* and *Chromis chromis*." Journal of submicroscopic cytology and pathology: 477-485.

Lauwerys, R., V. Haufroid, et al. (2007). "Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles."

Le Cren, E. D. (1951). "The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)." The Journal of Animal Ecology: 201-219.

Leclaire, L. (1972). "LA SEDIMENTATION HOLOCENE SUR LE VERSANT MERIDIONAL DU BASSIN ALGERO-BALEARES.(PRECONTINENT ALGERIEN.)"

Lee, J.-W., H. Choi, et al. (2019). "Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review." Environmental toxicology and pharmacology **68**: 101-108.

Legendre, M. and B. Jalabert (1988). Physiologie de la reproduction, Editions de l'ORSTOM.

Letaconnoux, R. (1951). "Contribution à l'étude des espèces du genre *Trachurus* et spécialement du *Trachurus trachurus* (Linné 1758)."

Levit, S. M. (2010). "A literature review of effects of cadmium on fish." no. November.

Liehr, G., M. Zettler, et al. (2005). "The ocean quahog *Arctica islandica* L.: a bioindicator for contaminated sediments." Marine biology **147**: 671-679.

Luoma, S. N. and G. Bryan (1982). "A statistical study of environmental factors controlling concentrations of heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* and the polychaete *Nereis diversicolor*." Estuarine, Coastal and Shelf Science **15**(1): 95-108.

Luoma, S. N. and P. S. Rainbow (2005). "Why is metal bioaccumulation so variable? Biodynamics as a unifying concept." Environmental Science & Technology **39**(7): 1921-1931.

Makaoui, A., A. Orbi, et al. (2005). "L'upwelling de la côte atlantique du Maroc entre 1994 et 1998." Comptes Rendus Geoscience **337**(16): 1518-1524.

Malhotra, N., T.-R. Ger, et al. (2020). "Review of copper and copper nanoparticle toxicity in fish." Nanomaterials **10**(6): 1126.

Manley, A., L. D. Gruffydd, et al. (1984). "The effect of copper and zinc on the shell growth of *Mytilus edulis* measured by a laser diffraction technique." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom **64**(2): 417-427.

Marchand, M. and R. Kantin (1997). "Les métaux traces en milieu aquatique." Océanis **23**(4): 595-629.

Mason, D. M., A. Goyke, et al. (1995). "A spatially explicit bioenergetics measure of habitat quality for adult salmonines: comparison between Lakes Michigan and Ontario." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **52**(7): 1572-1583.

Mattei, X., Y. Siau, et al. (1993). "Peculiarities in the organization of testis of Ophidian sp.(Pisces Teleostei). Evidence for two types of spermatogenesis in teleost fish." Journal of Fish Biology **43**(6): 931-937.

MEKKAOUI, T. E. K. (2013). Evaluation de l'accumulation métallique chez une espèce d'algue verte *Enteromorpha linza* sur le littoral de Ghazaouet (W. Tlemcen).

Mellinger, J. (2002). Sexualité et reproduction des poissons, CNRS.

Mikac, N., M. Branica, et al. (1996). "Organolead compounds in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the eastern Adriatic coast." Environmental science & technology **30**(2): 499-508.

Millot, C. (1989). La circulation générale en Méditerranée occidentale: Aperçu de nos connaissances et projets d'études. Annales de géographie, JSTOR.

Millot, C. and I. Taupier-Letage (2005). "Circulation in the Mediterranean sea." The Mediterranean Sea: 29-66.

Miquel, M. (2001). Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Dir.). Rapport Sénat n°261. France, : 360 p.

Miura, T. (1999). "Spermatogenetic cycle in fish." Encyclopedia of reproduction **4**: 571-578.

Morelli, E. and G. Scarano (2001). "Synthesis and stability of phytochelatins induced by cadmium and lead in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*." Marine environmental research **52**(4): 383-395.

Munawar, M. and M. Luotola (1995). The Contaminants in the Nordic Ecosystem: The Dynamics, Processes and Fate, SPB Academic Pub.

Muñoz, M., Y. Koya, et al. (2002). "Histochemical analysis of sperm storage in *Helicolenus dactylopterus dactylopterus* (Teleostei: Scorpaenidae)." Journal of Experimental Zoology **292**(2): 156-164.

Murozumi, M., T. J. Chow, et al. (1969). "Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata." Geochimica et cosmochimica acta **33**(10): 1247-1294.

Nagahama, Y. (1983). 6 The functional morphology of teleost gonads. Fish physiology, Elsevier. **9**: 223-275.

Naqib (2010). Mise au point d'une technique d'extraction des éléments traces métalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique, Université de Constantine. **Mémoire de magistère** P 29-54.

Nas/Nrc (1989). "Recommended dietary allowances, National Academy of Science/National Research Council, Washington."

Nostro, F. L., H. Grier, et al. (2003). "Ultrastructure of the testis in *Synbranchus marmoratus* (Teleostei, Synbranchidae): the germinal compartment." Tissue and Cell **35**(2): 121-132.

Nriagu, J. O. (1983). "Lead and lead poisoning in antiquity." (No Title).

Olmedo, P., A. Pla, et al. (2013). "Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers." Environment international **59**: 63-72.

Oosthuizen, E. and N. Daan (1974). "Egg fecundity and maturity of North Sea cod, *Gadus morhua*." Netherlands Journal of Sea Research **8**(4): 378-397.

P.D.A.U (1996). Rapport d'orientation Phase 3.U.R.S.A. Saïda 1-27.

Parenti, L. R. and H. J. Grier (2004). "Evolution and phylogeny of gonad morphology in bony fishes." Integrative and comparative biology **44**(5): 333-348.

Pichard, A., M. Bisson, et al. (2005). "Cadmium et ses dérivés." Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. INERIS, Verneuil-en-Halatte.

Pinta, M., G. Baudin, et al. (1979). Spectrométrie d'absorption atomique: Problèmes généraux.-v. 2 Application à l'analyse chimique, Masson. ORSTOM.

Price, N. and F. Morel (1990). "Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom." Nature **344**(6267): 658-660.

Prisco M., L. A., D'onghia B., Ricchiari L., Andreuccetti P., Angelini F. 2002. (2002). "Fine structure of Leydig and Sertoli cells in the testis of immature and mature spotted ray *Torpedo marmorata*." Mol. Reprod. Dev., **63**: 192-201.

Prolonge-Chevalier, C. (2007). Etude histologique du développement sexuel de l'apron du Rhône Zingel asper L., Percidé endémique menacé d'extinction, PhD thesis. EPHE, Lyon.

Pudney, J. (1995). "Spermatogenesis in nonmammalian vertebrates." Microscopy research and technique **32**(6): 459-497.

Quero, J.-C. (1998). Les poissons en vente au marché de La Rochelle en 1603. Annales de la Société des Sciences naturelles de la Charente-Maritime, Société des sciences naturelles de la Charente-Maritime.

RAHMANI, K. and F. KOUDACHE (2019). "Étude du régime alimentaire du chinchard commun (*Trachurus trachurus* L. 1758) dans la baie de Béni Saf, Nord-Ouest algérien." Afrique SCIENCE **15**(4): 191-202.

Rainbow, P. S. (2002). "Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what?" Environmental pollution **120**(3): 497-507.

Raizada, A. (1975). "The testicular cycle of a percoid teleost--*Nandus nandus* (Ham.)." Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch **121**(1): 77-87.

Ramade, F. (1979). "Ecotoxicologie. Masson. Ed, Fr,." 228p.

Ramade, F. (1982). "Elément écologie appliquée. Edition Mc Graw-Hill Fr ": 452.

Ramade, F. (2000). "les polluants de l'environnement et de l'homme» dictionnaire encyclopédique des pollutions." Ediscience international, Paris, pages (13, 33,424).

Rashed, M. (2001). "Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake." Environment international **27**(1): 27-33.

Renard, S. (2002). "La biorémediation: techniques de réhabilitation des sites pollués par l'action des microorganismes." Mém. Maîtrise BG, Fac. Sci. Amiens.

Riisgård, H. U. and S. Hansen (1990). "Biomagnification of mercury in a marine grazing food-chain: algal cells *Phaeodactylum tricornutum*, mussels *Mytilus edulis* and flounders *Platichthys flesus* studied by means of a stepwise-reduction-CVAA method." Marine Ecology Progress Series: 259-270.

Rossi, N. and J.-L. Jamet (2008). "In situ heavy metals (copper, lead and cadmium) in different plankton compartments and suspended particulate matter in two coupled Mediterranean coastal ecosystems (Toulon Bay, France)." Marine Pollution Bulletin **56**(11): 1862-1870.

Russo, A., F. Angelini, et al. (2000). "Spermatogenesis in some Antarctic teleosts from the Ross Sea: histological organisation of the testis and localisation of bFGF." *Polar Biology* **23**: 279-287.

Rutaisire, J., R. T. Muwazi, et al. (2003). "Structure and cytology of the testes of *Labeo victorinus* (Pisces: Cyprinidae)." *African Zoology* **38**(1): 119-126.

Saha, M., S. Sarkar, et al. (2006). "Interspecific variation in heavy metal body concentrations in biota of Sunderban mangrove wetland, northeast India." *Environment International* **32**(2): 203-207.

Santos, R., C. Andrade, et al. (2006). "Testicular maturation of *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier)(Actinopterygii, Characidae) in a brazilian tropical reservoir." *Brazilian Journal of Biology* **66**: 143-150.

Schulz-Baldes, M. (1974). "Lead uptake from sea water and food, and lead loss in the common mussel *Mytilus edulis*." *Marine Biology* **25**(3): 177-193.

Simkiss, K. and M. Taylor (1995). "Transport of metals across membranes." *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems* **3**: 1-44.

Somoue, L. (2004). "Structure des communautés planctoniques de l'écosystème pélagique de l'atlantique sud marocain entre Cap Boujdor et Cap Blanc (26° 30'–21° N)." *Fac Sc Ain chock. Univ Hassan II*.

Stauber, J. and T. Florence (1989). "The effect of culture medium on metal toxicity to the marine diatom *Nitzschia closterium* and the freshwater green alga *Chlorella pyrenoidosa*." *Water Research* **23**(7): 907-911.

Storelli, M. M., G. Barone, et al. (2007). "Metals and organochlorine compounds in eel (*Anguilla anguilla*) from the Lesina lagoon, Adriatic Sea (Italy)." *Food Chemistry* **100**(4): 1337-1341.

Storelli, M. M., G. Cuttone, et al. (2011). "Distribution of trace elements in the tissues of smooth hound *Mustelus mustelus* (Linnaeus, 1758) from the southern–eastern waters of Mediterranean Sea (Italy)." *Environmental monitoring and assessment* **174**: 271-281.

Storelli, M. M. and G. Marcotrigiano (2002). "Subcellular distribution of heavy metals in livers and kidneys of *Stenella coeruleoalba* and *Tursiops truncatus* from the Mediterranean Sea." *Marine pollution bulletin* **44**(1): 74-79.

Storelli, M. M. and G. O. Marcotrigiano (2005). "Bioindicator organisms: heavy metal pollution evaluation in the Ionian Sea (Mediterranean Sea—Italy)." *Environmental Monitoring and Assessment* **102**: 159-166.

Sunda, W. G. and S. A. Huntsman (1998). "Processes regulating cellular metal accumulation and physiological effects: phytoplankton as model systems." Science of the Total Environment **219**(2-3): 165-181.

Turner, C. L. (1919). The seasonal cycle in the spermary of the perch.

Tüzen, M. (2003). "Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry." Food chemistry **80**(1): 119-123.

UNEP (2003). Assessment of transboundary pollution issues in the Mediterranean Sea. UNEP Athens: P292.

Wang, D., H. Zhang, et al. (2022). "Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Haikou Bay and Adjacent Seas." International Journal of Environmental Research and Public Health **19**(13): 7896.

Wootton, R. (1973). "Fecundity of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* (L.)." Journal of Fish Biology **5**(6): 683-688.

Yilmaz, A. B. and L. Yilmaz (2007). "Influences of sex and seasons on levels of heavy metals in tissues of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus* de Hann, 1844)." Food Chemistry **101**(4): 1664-1669.

Zhang, L. and W.-X. Wang (2007). "Waterborne cadmium and zinc uptake in a euryhaline teleost *Acanthopagrus schlegeli* acclimated to different salinities." Aquatic toxicology **84**(2): 173-181.



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 **Mohamed CHERIF**, a présenté une communication **affichée** intitulée :
«**Heavy metals levels (Zn, Pb) in fillets and gonads of Horse mackerel collected from
Ghazaouet bay (western Mediterranean coast of Algeria) .**»

Co-auteur : Wacila BENGUEDDA



Le Président du Comité Scientifique
Dr. BOUCHIKHI TANI Zoheir

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



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
 Direction Générale des Etudes Technologiques
 Institut Supérieur des Etudes Technologiques de ZAGHOUAN



Mme Congrès International de Traitement des Effluents
 Liquides et Préservation de l'Environnement
 Du 16 au 18 Décembre 2018 Hammamet-Tunisie

ATTESTATION DE COMMUNICATION

Le Comité d'organisation du 3^{ème} congrès international TELPE 2018 atteste que :

Mme, Mlle, Mr: Mohamed CHERIF

A présenté la communication: e-POSTER

Intitulé: Evaluation de la contamination chimique par les métaux lourds Pb, Zn, Cu et Cd d'un carangidé *Trachurus trachurus* du littoral extrême ouest algérien

Co-auteur(s): W. Benguedda

En foi de quoi, la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Le Président de l'association ATPNE

Kamel YAHYAOU



Le Président du 3^{ème} Congrès International TELPE

RYM RIAHI



Le Directeur de l'Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Zaghouan

Mondher FERJANI



Heavy metal levels in tissues (gonads and fillets) of Horse mackerel collected from Ghazaouet Bay (Western Mediterranean coast of Algeria)

M Cherif^{*a}, W Benguedda-Rahal^a, M Belhadj^b & F Z Mokri^c

^aLaboratory of Valorisation of Human Actions for Environment Protection and Application in Public Health, PB 119, University of Tlemcen, Algeria

^bLaboratory of Analytical chemistry and electrochemistry, PB 119, University of Tlemcen, Algeria

^cLaboratory of catalysis and synthesis in organic chemistry, PB 119, University of Tlemcen, Algeria

*[E-mail: cherif_mohamed13@hotmail.com]

Received 21 April 2021; revised 28 February 2022

The concentration levels of Zn, Pb, Cd and Cu were evaluated in the gonads and fillets of Horse mackerel (*Trachurus trachurus*) collected from Ghazaouet bay. The results showed the accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in the gonads and fillets. The metal concentrations in the fillets and gonads decreased in the following order: Zn > Cd > Pb > Cu and Zn > Cd > Cu > Pb, respectively. The levels of essential metals (zinc and copper) in both target organs generally complied with the recommended value for fish while the levels of non-essential metals like cadmium and lead, which are toxic and present in traces, greatly exceeded the recommended values in both target organs, which are ascribed mainly to the industrial pollution in Ghazaouet area. Therefore, it can be concluded that these heavy metals in different tissues of Horse mackerel, which is highly consumed in the Algerian coastal regions, could pose adverse health effects on consumers.

[**Keywords:** Algeria, Fillets, Ghazaouet bay, Gonads, Heavy metals, Horse mackerel]

Introduction

Human activities are responsible for introducing a large number of substances such as heavy metals into the marine environment. According to UNEP (United Nations Environment Program), 80 % of marine pollution is from land-based sources and is anthropogenic. The sources of marine pollution are the industrial, agricultural, domestic and urban effluents, and many such factors.

Pollution related to heavy metals, particularly in the aquatic environment, raises several concerns both for the health of aquatic populations and for humans. Heavy metal ions are persistent environmental contaminants¹⁻⁴ and can accumulate in living organisms. Some metals are essential for living organisms (Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, Cr, V, Se, As) and for certain biological functions but their higher concentration can lead to toxicity. For other elements, such as Ag, Cd, Hg and Pb, this essential character was not detected⁵. They cause deleterious biological effects at very low concentrations and therefore, are considered to be priorities for marine environmental monitoring.

The metals introduced into the aquatic environment can remain in the water column, adsorbed into the bottom sediments or accumulate in the tissues of organisms such as fish and mussels⁶⁻¹⁸.

Horse mackerel, *T. trachurus* (Linnaeus, 1758), a carangid species is a pelagic fish species that prefers temperate waters and can be found off the Atlantic coasts up to Norway and across the whole Mediterranean Sea. It grows to 15 – 40 cm in length and may reach 60 cm¹⁹. Their growth is fast during the initial years but becomes much slower after the age of 3. Horse mackerel is of commercial interest in the Mediterranean Sea, since it is highly consumed in the Algerian coastal regions.

This work aimed to evaluate the concentration level of Zn, Pb, Cd and Cu in different tissues (gonads and fillets) of Horse mackerel collected from Ghazaouet bay (western Mediterranean coast of Algeria), and to shed light on the relationship between the industrial plant of zinc electrolysis in the Ghazaouet city and the resulting heavy metal contamination in the Horse mackerel as a bio-indicator. So far, there is no report published on heavy metal contamination in different tissues of Horse mackerel from the Ghazaouet bay.

Materials and Methods

Fish samples were purchased monthly from local fishermen at the fishing harbour of Ghazaouet (Fig. 1)

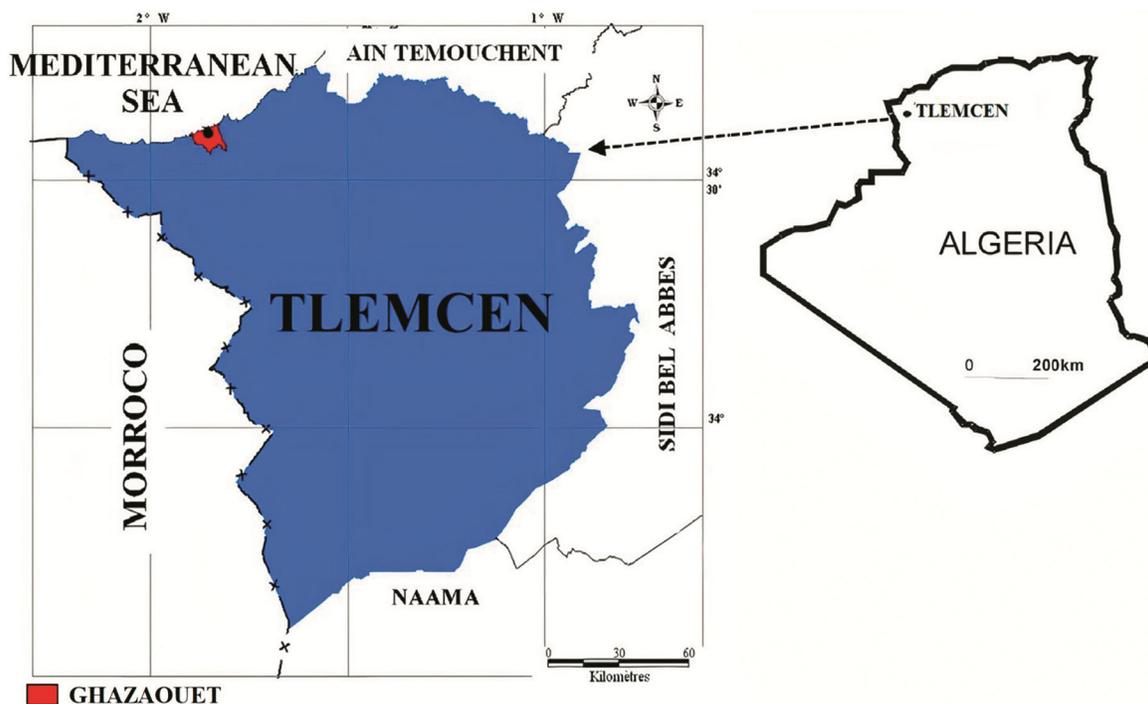


Fig. 1 — Map showing the Ghazaouet bay where samples were collected (Reprinted with permission from Belhadj *et al.*¹⁸)

between January and December, 2018. This station was chosen as it is subjected to the industrial and domestic effluents²⁰.

One hundred twenty individuals of Horse mackerel (HM) were purchased at different intervals. The fishes were immediately preserved in a cooler and brought to the laboratory on the same day. Thereafter, total length and weight were measured for each fish. After the measurements, the gonads and fillets were taken out and kept in petri dishes. The protocol of mineralization was performed using the Malaiyandi & Barette method²¹. One gram of each organ was placed in a flask and treated with concentrated nitric acid at 95 °C for 1 h 30 min to mineralize the sample. After cooling, the flask content was filtered using swinex and a 0.45 µm porosity membrane. Double-distilled water was added to the filtrate for a final volume of 20 mL. The resulting filtrate was stored in the refrigerator until further analysis.

The concentrations of Zn, Pb, Cu, and Cd were determined by an atomic absorption spectrometer PERKIN-ELMER A analyst 300 model. Blank and standard solutions were used to check the accuracy of these analytical procedures. Metal contents were expressed as mg/kg dry weight for the gonads and fillets. These analyses were carried out at the Laboratory of catalysis and synthesis in organic chemistry, University of Tlemcen.

Statistical analysis was performed using Minitab 16 software.

Results and Discussion

The mean and the standard deviation of the weight and the total length of the samples for each month (between January and December 2018) are shown in Table 1. Pearson coefficient and *p*-value were employed to exhibit the correlation between weight and total length of *T. trachurus*.

The variations in the mean content of Zn, Pb, Cu, and Cd in the gonads and fillets during the study period are depicted in Figure 2. Moreover, the recommended value for each metal in fish according to FAO/WHO²² is shown by the horizontal line in each graph. As seen in Figure 2, the extent of accumulation of studied heavy metals in HM depends on the metal type, organ and exposure period.

Variations of metal distribution in the fillets and gonads

Zinc

The mean concentration of zinc observed in the fillets and gonads is 37.67±17.175 mg/kg and 51.88±31.60 mg/kg, respectively. The highest accumulation of zinc is observed in the gonads (116.54±123.21 mg/kg) during October. This value outstrips the recommended²² value which is 50 mg/kg. Zinc is an essential element for the conduct of

Table 1 — Correlation between weight (W) (g) and total length (L) (cm) of *Trachurus trachurus* between January and December 2018

Months	L ranges	W ranges	Regression equation	R value	P value
January	21.760 ± 0.997	85.302 ± 11.117	L = 0.0773 W + 15.2	0.862	0.001
	21.047 – 22.473	77.350 – 93.254			
February	21.350 ± 1.901	74.99 ± 21.317	L = 0.0858 W + 14.9	0.962	0.000
	19.990 – 22.710	59.743 – 90.241			
March	18.030 ± 0.906	47.084 ± 8.673	L = 0.0850 W + 14.0	0.814	0.004
	18.382 – 18.678	40.880 – 53.88			
April	18.960 ± 0.886	52.507 ± 8.559	L = 0.0918 W + 14.1	0.887	0.001
	18.326 – 19.954	46.384 – 58.630			
May	20.150 ± 1.827	71.000 ± 18.578	L = 0.0889 W + 13.8	0.904	0.000
	18.843 – 21.457	57.710 – 84.290			
June	16.500 ± 0.698	39.151 ± 4.824	L = 0.127 W + 11.5	0.878	0.001
	16.001 – 16.999	35.700 – 42.602			
July	17.190 ± 1.601	41.740 ± 7.642	L = 0.120 W + 12.2	0.574	0.083
	16.045 – 18.335	36.273 – 47.207			
August	24.180 ± 0.898	125.33 ± 17.96	L = 0.0463 W + 18.4	0.926	0.000
	23.538 – 24.822	112.48 – 138.17			
September	18.200 ± 0.583	47.927 ± 6.183	L = 0.0837 W + 14.2	0.888	0.001
	17.783 – 18.617	43.504 – 52.350			
October	21.130 ± 0.542	77.693 ± 7.030	L = 0.0549 W + 16.9	0.713	0.021
	20.742 – 21.518	72.664 – 82.772			
November	21.830 ± 0.989	81.964 ± 8.431	L = 0.0960 W + 14.0	0.818	0.004
	21.123 – 22.537	75.933 – 87.995			
December	19.720 ± 0.990	60.623 ± 6.199	L = 0.138 W + 11.3	0.867	0.001
	19.012 – 20.428	56.189 – 65.057			
January-December	19.91 ± 2.42	67.10 ± 26.06	L = 0.0875W + 14.0	0.942	0.000
	19.47 – 20.35	62.39 – 71.82			

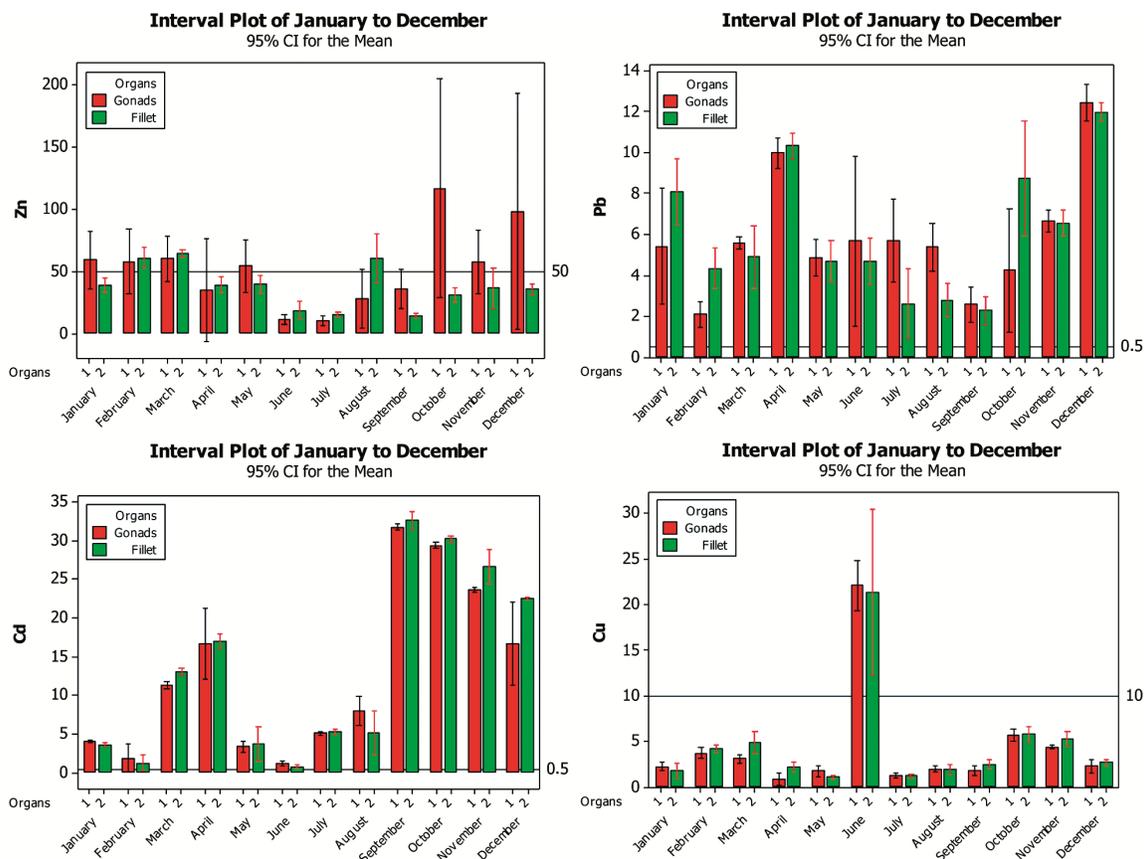


Fig. 2 — Temporal variations in the concentrations of Zn, Cd, Pb and Cu in the gonads and fillets

biological processes²³ and also serves as a cofactor in many enzyme systems implicated in the use of almost all nutrients. However, at higher concentrations, it may have deleterious effects on fish^{24,25}. The lowest (10.24±5.45 mg/kg) accumulation of zinc is observed in the gonads during July. Metal concentrations in gonads may vary with season²⁶. It is also worth noting that Zn is less toxic to fish as compared to Cu²⁷.

Cadmium

Throughout the study duration, the cadmium concentrations greatly exceeded the recommended value of 0.1 mg/kg, with the approximate mean level of accumulation of 13.42±11.90 mg/kg for fillet and 12.68±10.82 mg/kg for Gonads. The maximum concentration was in the fillet (32.58±1.67 mg/kg) in September and the minimum in the same organ (0.70±0.34 mg/kg) in June. Cadmium can be taken directly from seawater or assimilated with contaminated food. At low concentrations, dissolved cadmium and its compounds are toxic to all life, especially to aquatic biota²⁸.

Lead

The average lead concentrations in fillet (5.99±3.19 mg/kg) and gonads (5.87±2.87 mg/kg) are significantly higher than the recommended value for fish (0.5 mg/kg) according to FAO/WHO²². The highest concentration of lead was observed in the gonads in December (12.47±0.95 mg/kg), and the lowest was obtained in the same organ during February (2.07±0.91 mg/kg). Lead is an extremely toxic metal in aquatic environments. Fishes are most vulnerable to the toxic effects of Pb exposure, which can be fatal even at lower concentrations due to bioaccumulation²⁹.

Copper

The highest (22.03±2.23 mg/kg) and the lowest (0.84±0.54 mg/kg) copper concentrations were observed in the gonads in June and April, respectively.

During the study period, all copper concentrations, except for June, comply with the recommended value for fish (10 mg/kg)²² with an average concentration of 4.51±5.51 mg/kg and 6.95±15.16 mg/kg in the fillet and gonads, respectively. The significant increase in the copper levels, during June, in both target organs remains unexplained.

Copper is an important micronutrient that serves as a cofactor in many enzyme systems linked to body processes indispensable for survival in both humans and

animals³⁰. However, it is known that high concentrations of copper can be toxic to both fish and humans³⁰.

The heavy metals uptake mainly occurs through water, food and the sediments. Various studies show that the metal accumulation in fish tissues depends mainly on the concentrations of metals in the environment, but also on the exposure duration and other environmental factors such as salinity, pH and temperature³¹. In addition, the toxicity of metals with regard to living organisms depends on their nature, mode of action, speciation and therefore, their bioavailability³². Furthermore, metal concentrations in organisms depend on whether they are essential or not, while non-essential metals are present in traces and are toxic, essential metals tend to be highly regulated.

The metal concentrations in the fillets and gonads decreased in the following order: Zn >Cd >Pb >Cu and Zn >Cd >Cu >Pb, respectively. It is worth noting that most of the time, metal accumulations were different between the target organs (fillets and gonads) (Fig. 2).

The levels of essential metals (zinc and copper) are higher in the gonads than in the fillets probably owing to their function as a cofactor in many enzymes systems^{23,30}. Yilmaz³³ reported that generally heavy metals are more concentrated in the gonads than in the skins or muscles of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus*.

In this study, it is important to note that the levels of non-essential metals (cadmium and lead), greatly exceed the recommended values both in the gonads and fillets. These results are in agreement with Belhadj *et al.*¹⁸ where it was reported that the sediments of Ghazaouet Bay are highly polluted by the heavy metals such as Cd and Pb.

Jovanović *et al.*³⁴ reported that direct transfer of heavy metals from sediments is the major route of passage in many aquatic species *i.e.* metals accumulate in the body of bottom feeders and transfer up the food chain through biomagnification.

The data on heavy metals concentrations in the muscles and gonads of *T. trachurus* collected from Ghazaouet Bay were compared with other studies and are presented in Tables 2 & 3. The data revealed that all heavy metals levels reported in the current study are higher than those reported by the previous studies, except the Zn level in the muscles reported by Tuzen³⁵. It is important to note that Pb and Cd levels largely exceed those reported by other studies.

Table 2 — Comparison of the overall heavy metal concentrations in the muscles of *T. trachurus* collected from Ghazaouet bay (western Mediterranean coast of Algeria) with other studies

Studies	Sites	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Tuzen ³⁶	Middle Black Sea, Turkey	12.05	0.85	1.52	0.47
Tuzen ³⁷	Purchased from popular supermarkets in Turkey	13.20	0.16	1.10	0.25
Tuzen ³⁵	Black Sea, Turkey	52.70	0.82	0.65	0.32
Mendil <i>et al.</i> ³⁸	Black Sea, Turkey	25.70	0.64	2.40	0.22
Mingant <i>et al.</i> ³⁹	Cavi di Lavagna, Liguriansea, Italy	15-22	-	1.30 ± 2.20	<0.01
Nisbet <i>et al.</i> ⁴⁰	Middle Black Sea, Turkey	27.70	0.60	1.79	0.012
Gundogdu <i>et al.</i> ⁴¹	Coast of Sinop Black Sea, Turkey	19.98	0.02	3.25	0.01
Present study	Ghazaouet bay	37.67 ± 17.17	5.99 ± 3.19	4.51 ± 5.51	13.42 ± 11.90

Table 3 — Comparison of the overall heavy metal concentrations in the gonads of *T. trachurus* collected from Ghazaouet bay (western Mediterranean coast of Algeria) with other studies

Studies	Sites	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Alkan <i>et al.</i> ⁴²	Black Sea	4.63	0.10	2.43	0.29
Aydın & Tokaloğlu ⁴³	Black Sea	/	3.85	/	/
Present study	Ghazaouet bay	51.88 ± 31.60	5.87 ± 2.87	6.95 ± 15.16	12.68 ± 10.82

Conclusion

The results of the present study reveal the accumulation levels of Pb, Cd, Cu and Zn in different tissues (gonads and fillets) of Horse mackerel collected from Ghazaouet Bay. The metal concentrations in the fish fillets and gonads decreased in the order of Zn > Cd > Pb > Cu and Zn > Cd > Cu > Pb, respectively. It is worth noting that most of the time, metal accumulations were different between the target organs. For both organs, copper levels, except for June, comply with the recommended value for fish²². Zinc levels in the fillets also comply with the recommended value for fish by WHO²² and are slightly above this value in the gonads. Further, the levels of essential metals (zinc and copper) are higher in the gonads than in the fillets. Moreover, it is also important to note here that the levels of non-essential metals (cadmium and lead), greatly exceed the recommended values in both the target organs, the gonads and fillets, which is ascribed mainly to the industrial pollution in the Ghazaouet area. Therefore, it can be concluded that these heavy metals in different tissues (gonads and fillets) of Horse mackerel, which is highly consumed in the Algerian coastal regions, could pose adverse health effects for the consumers. Hence, effective legislation and proper implementation of appropriate industrial waste treatment measures can help reduce heavy metal pollution and the toxic levels of ambient fishery in the Ghazaouet Bay.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Algerian DGRSDT-MESRS, and the University of Tlemcen for funding this work.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical Statement

This is to certify that the reported work in the paper entitled “Heavy metals levels in tissues of Horse mackerel collected from Ghazaouet Bay, Algeria” submitted for publication is an original one and has not been submitted for publication elsewhere. We further certify that proper citations to the previously reported work have been given and no data/table/figure has been quoted verbatim from other publications without giving due acknowledgement and without the permission of the author(s). The consent of all the authors of this paper has been obtained for submitting the paper to the “Indian Journal of Geo-Marine Sciences”.

Author Contributions

MC: Investigation, writing - review & editing; WBR: Supervision; MB: Statistical analysis; and FZM: Atomic absorption analysis.

References

- 1 Tewari P K & Singh A K, Amberlite XAD-7 impregnated with Xylenol Orange: a chelating collector for preconcentration of Cd (II), Co (II), Cu (II), Ni (II), Zn (II) and Fe (III) ions prior to their determination by flame AAS, *Fresenius J Anal Chem*, 367 (2000) 562-567.
- 2 Baral A & Engelken R D, Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA, *Environ Sci Policy*, 5 (2002) 121-133.
- 3 Demirbas A, Pehlivan E, Gode F, Altun T & Arslan G, Adsorption of Cu (II), Zn (II), Ni (II), Pb (II), and Cd (II) from aqueous solution on Amberlite IR-120 synthetic resin, *J Colloid Interface Sci*, 282 (2005) 20-25.

- 4 Abramson S, Beauquier P, Borensztajn S, Dupuis V, Perrigaud L, *et al.*, Magnetic silica nanocomposites prepared by green methods: synthesis, properties and application in water-treatment, *Matér Tech*, 100 (3) (2012) 221-239.
- 5 Mason A & Jenkins K, Metal detoxification in aquatic organisms, *Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems*, 3 (1995) 479-578.
- 6 Behera P, Bharti V, Ahirwal S, Purushothaman C & Vennila A, Assessment of heavy metals distribution in a coastal environment of Versova coast, Mumbai, India, *Indian J Geo-Mar Sci*, 50 (2021) 1058-1065.
- 7 Mamatchi M, Rajaram R & Ganeshkumar A, Toxic metals (Cd and Pb) induced dysfunctioning of antioxidant system in marine fish *Sphyræna barracuda* (Edwards, 1771) collected from Kpeme, South of Togo, *Indian J Geo-Mar Sci*, 50 (2021) 44-51.
- 8 Shaabani Z, Esmaili-Sari A, Moradi A M, Taghavi L & Farsad F, Possible health risk assessment for heavy metal concentrations in water, sediment, and fish species and Turkmen pregnant women's biomonitoring in Miankaleh Peninsula, Iran, *Environ Sci Pollut Res*, 29 (2022) 37187-37203.
- 9 Benguedda W, DaliYoucef N & Amara R, Heavy Metals in the three fish species from Honaine Bay in western part of Algerian coast, *Int J Curr Eng Technol*, 5 (3) (2015) 2198-2205.
- 10 Benguedda W & Amara R, Trace metals in sediments, macroalgae and benthic species from the western part of Algerian coast, *J Environ Sci Eng*, 5 (3) (2011) 2198-2205.
- 11 Reboa A, Mandich A, Cutroneo L, Carbone C, Malatesta A, *et al.*, Baseline evaluation of metal contamination in teleost fishes of the Gulf of Tigullio (north-western Italy): histopathology and chemical analysis, *Mar Pollut Bull*, 141 (2019) 16-23.
- 12 Walker T R & Grant J, Metal (loid) s in sediment, lobster and mussel tissues near historical gold mine sites, *Mar Pollut Bull*, 101 (2015) 404-408.
- 13 Vikas M & Dwarakish G, Coastal pollution: a review, *Aquatic Procedia*, 4 (2015) 381-388.
- 14 Gupta S K & Singh J, Evaluation of mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquatic system: a review, *The IIOAB J*, 2 (2011) 49-57.
- 15 Montaser M, Mahfouz M E, El-Shazly S A, Abdel-Rahman G H & Bakry S, Toxicity of heavy metals on fish at Jeddah coast KSA: Metallothionein expression as a biomarker and histopathological study on liver and gills, *World J Fish Mar Sci*, 2 (2010) 174-185.
- 16 Derrag Z & Dali Youcef N, Bioaccumulation of heavy metals in the *Cyprinus carpio* organs of the El Izdihar dam (Algeria), *Desalin Water Treat*, 52 (2014) 2293-2300.
- 17 Dali Youcef N, Benguedda W & Youbi F, Levels of heavy metals (Zn, Pb, Cu, Cd, Ni) in tissues of *Sarpa salpa* from Honaine bay in the Western part of the Algerian Coast, *Desalin Water Treat*, 52 (2014) 2850-2855.
- 18 Belhadj H, Aubert D & Dali Youcef N, Geochemistry of major and trace elements in sediments of Ghazaouet Bay (western Algeria): an assessment of metal pollution, *Comptes Rendus Geosci*, 349 (2017) 412-421.
- 19 Smith-Vaniz W F, Carangidae, In: *Fish of the Northeastern Atlantic and the Mediterranean*, Vol II, edited by Whitehead P J P, Bauchot M-L, Hureau J-C, Nielsen J & Tortonese E, Paris, 1986.
- 20 Touahri H G, Boutiba Z, Benguedda W & Shaposhnikov S, Active biomonitoring of mussels *Mytilus galloprovincialis* with integrated use of micronucleus assay and physiological indices to assess harbor pollution, *Mar Pollut Bull*, 110 (2016) 52-64.
- 21 Malaiyandi M & Barrette J, Wet oxidation method for the determination of submicrogram quantities of mercury in cereal grains, *J Assoc Official Anal Chem*, 55 (1972) 951-959.
- 22 FAO & WHO, World Health Organization, 1989. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41268>
- 23 Casas S, *Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, Mytilus galloprovincialis en milieu méditerranéen*, Thèse de Doctorat, Université du Sud Toulon Var, Toulon, 2005.
- 24 Malik D, Sastry K & Hamilton D, Effects of zinc toxicity on biochemical composition of muscle and liver of murrel (*Channa punctatus*), *Environ Intern*, 24 (1998) 433-438.
- 25 Çelik E Ş, Kaya H, Yılmaz S, Akbulut M & Tülgar A, Effects of zinc exposure on the accumulation, haematology and immunology of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus*, *African J Biotech*, 12 (2013) 744-753.
- 26 Fletcher G & King M, Seasonal dynamics of Cu²⁺, Zn²⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ in gonads and liver of winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*): evidence for summer storage of Zn²⁺ for winter gonad development in females, *Canadian J Zool*, 56 (1978) 284-290.
- 27 Dara S S, *Environmental Chemistry and Pollution Control*, (S. Chand Publishers, India), 1998.
- 28 Levit S M, A literature review of effects of cadmium on fish, *Nat Conser*, 15 (2010) pp. 16.
- 29 Lee J-W, Choi H, Hwang U-K, Kang J-C, Kang Y J, *et al.*, Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review, *Environ Toxicol Pharmacol*, 68 (2019) 101-108.
- 30 Malhotra N, Ger T-R, Uapipatanakul B, Huang J-C, Chen K H-C, *et al.*, Review of copper and copper nanoparticle toxicity in fish, *Nanomaterials*, 10 (2020) p. 1126.
- 31 Yılmaz A B & Yılmaz L, Influences of sex and seasons on levels of heavy metals in tissues of green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus* de Hann, 1844), *Food Chem*, 101 (2007) 1664-1669.
- 32 Alzieu C, Abamou A, Bassoullet P & Boutier B, *Dragage et environnement marin: état des connaissances*. Plouzane: Edition Ifremer, 1999, pp. 223.
- 33 Yılmaz A B, Levels of heavy metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, and Zn) in tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from Iskenderun Bay, Turkey, *Environ Res*, 92 (2003) 277-281.
- 34 Jovanović D A, Marković R V, Teodorović V B, Šefer D S, Krstić M P, *et al.*, Determination of heavy metals in muscle tissue of six fish species with different feeding habits from the Danube River, Belgrade—public health and environmental risk assessment, *Environ Sci Pollut Res*, 24 (2017) 11383-11391.
- 35 Tuzen M, Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey, *Food Chem Toxicol*, 47 (2009) 1785-1790.

- 36 Tüzen M, Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Food Chem*, 80 (2003) 119-123.
- 37 Tuzen M & Soylak M, Determination of trace metals in canned fish marketed in Turkey, *Food Chem*, 101 (2007) 1378-1382.
- 38 Mendil D, Demirci Z, Tuzen M & Soylak M, Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black Sea, Turkey, *Food Chem Toxicol*, 48 (2010) 865-870.
- 39 Mingant V, Drava G, De Pellegrini R & Siccardi C, Trace elements in farmed and wild gilthead seabream, *Sparus aurata*, *Mar Pollut Bull*, 60 (2010) 2022-2025.
- 40 Nisbet C, Terzi G, Pilgir O & Sarac N, Determination of heavy metal levels in fish samples collected from the Middle Black Sea, *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 16 (2010) 119-125.
- 41 Gundogdu A, Culha S T, Kocbas F & Culha M, Heavy metal accumulation in muscles and total bodies of *Mullus barbatus*, *Trachurus trachurus* and *Engraulis encrasicolus* captured from the coast of Sinop, Black Sea, *Pak J Zool*, 48 (2016) pp. 25-34.
- 42 Alkan N, Alkan A, Gedik K & Fisher A, Assessment of metal concentrations in commercially important fish species in Black Sea, *Toxicol Ind Health*, 32 (2016) 447-456.
- 43 Aydın D & Tokaloğlu Ş, Trace metals in tissues of the six most common fish species in the Black Sea, Turkey, *Food Addit Contam: Part B*, 8 (2015) 25-31.