

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العلي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie Mémoire

Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Écotoxicologie Animale

Intitulé :

**Evaluation de la bioaccumulation en métaux lourds chez des
poissons d'intérêt économique pêchés du barrage de Guenitra Oum Toub Skikda**

Présenté par : Bounmoura Ouided
Dani Djemana
Elachi Rahma
Sedrati Yasmine

Membre de Jury :

Dr. FEKRACHE Fadila	MCA	Présidente	Univ. 20 Août 1955 – Skikda
Dr. BOUDEFFA Khaled	MCA	Promoteur	Univ. 20 Août 1955 – Skikda
Dr. ZAOUI Lilia	MCA	Examinatrice	Univ. 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

À la fin de cette étude, nous remercions Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné tant de courage, de patience et de déni pour compléter ce travail. Nous tenons également à exprimer notre gratitude aux membres du jury au présidente **Dr. Fekrache Fadila** et à l'examinatrice **Dr Zaoui lilia** qui ont honoré la présidence de notre jury et accepté l'examen de notre travail.

Nos remerciements s'adressent à notre encadrant **Dr Boudeffa Khaled** pour nous avoir permis de bénéficier de son encadrement, pour l'encouragement, l'aide et la patience, la sympathie qu'elle nous a témoignée et son accompagnement tout au long de la période d'étude.

Grâce à ses conseils, nous avons pu terminer et achever notre travail, et son efficacité et son encadrement suscitent toujours notre profond respect nous, vous remercions pour votre accueil et vos conseils judicieux, vos qualités éducatives et humanitaires sont un modèle pour nous et pour vous, la gentillesse nous a toujours impressionnés.

Nos remercie aussi **Badiss Aouzal**, et **Salah bourkeb** afin de nous assister dans ce travail.

Enfin, Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés.

DEDICACES

A mes parents, Ammar et Noura

Auxquels je dois exprimer mes gratitudes, et j'espère qu'ils trouvent dans ce travail,
un humble témoignage de mon amour et les fruits de leurs sacrifices.

A mes frères

Ilyes et Mohamed lamine

Je n'arriverai jamais à trouver le mot juste pour leur exprimer tout mon attachement.

Ma sœur amina et son mari achref

A mes amis

Maroua , Rayen et ilef pour leurs encouragements

Enfin,

Je présente mes profonds remerciements à mon collègue "Ouided , Rahma "

Yasmine

Dédicace

Tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail, et je le dédie à :

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents. Ma mère bouregaa Zoubida pour m'avoir mis au monde et pour m'avoir accompagné tout le long de ma vie. Je lui dois une fière chandelle. Mon père " Ahcen " qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici. 'espère toujours reste fidèle aux valeurs morales que vous m'avez apprise.

A mes chers frères et sœur " Ikram , temer louai et sabar"

À toute ma famille, spécialement mes cousins radja et naouel

Sans oublier mes chers amis "Ahlem ,Sofia ,Rahma ,Yasmine "

Je voudrais remercier mon encadreur "Dr boudeffa Khaled" pour tous ses précieux conseils, sa disponibilité et son assistance qui ont assuré le bon déroulement de cette recherche

"

Ouïded

Dédicace

Je tiens c'est grand plaisir que je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, pour leur soutien

Indéfectible tout au long de ce parcours académique.

À mes chers frères Boubaker et Midou ainsi qu'à mes sœurs Imene et Nadjet, merci pour votre soutien constant, votre humour contagieux et votre présence réconfortante.

À ma belle-sœur Djihane qui est devenue une amie et une confidente, merci pour ta gentillesse, ton soutien et ton amour.

À mes deux nièces Bayane et Layane que ont rempli ma vie de tant de bonheur et de joie.

À mes amies, pour leur présence et leurs encouragements, et surtout mon amie Maroua qui a été mon pilier dans les moments difficiles, merci pour votre amitié sincère.

À mon encadrant « dr.Boudeffa khaled » pour son enseignement précieux et ses conseils avisés.

Sans oublier mes binômes « Ouidad, Yasmin » pour leur patience et leur compréhension tout au long de ce projet.

Ce travail est le fruit de vos efforts combinés,
et je vous en suis profondément reconnaissant.

Rahma

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect. Avec l'expérience de ma reconnaissance. Je dédie ma remise de diplôme et ma joie. A mon paradis à la prunelle de mes yeux, à la source de mon bonheur maman « DANI HAFIDA »

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir à toi mon père « MUSTAPHA »

A mon soutien moral mon frère « MOHAMED LAZHAR »

Mes sœurs Maroua, Safa et Massa.

A mon Ange" Adam Mohamed Salah"

Je souhaite exprimer ma reconnaissance envers mon mari « ABDELFETTAH BOUTAGHANE », qui a été mon pilier tout au long de cette période intense. Depuis notre rencontre, il m'a soutenue avec amour, compréhension et patience, faisant de chaque obstacle un défi surmontable.

Djoumana

Résumé

Cette étude vise à évaluer les concentrations de métaux lourds (Zn, Cu, Fe, et Cd) dans les muscles de cinq espèces de poissons (*Rutilus rutilus*, *Sander lucioperca*, *Carassius auratus*, *Abramis brama*, et *Alburnus alburnus*) pêchés dans le barrage Oum Toub à Skikda. Les résultats ont révélé des niveaux de cadmium variant de 0,73 à 1,66 mg/kg, ce qui dépasse les valeurs observées dans d'autres études en Algérie, indiquant une contamination significative.

L'indice de pollution par les métaux (IPM) a été calculé pour chaque espèce, montrant des valeurs allant de 1,26 pour le Gardon à 2,25 pour la Brème. Ces valeurs indiquent une pollution métallique plus élevée par rapport aux études précédentes réalisées dans d'autres régions d'Algérie.

Les sources potentielles de pollution, telles que les rejets miniers et agricoles, semblent influencer la bioaccumulation des métaux lourds. La Brème et le Sandre ont montré les niveaux de contamination les plus élevés, ce qui représente un risque potentiel pour la santé humaine en raison de la consommation de ces poissons.

Les résultats mettent en évidence la nécessité de surveiller continuellement la qualité de l'eau et les niveaux de pollution métallique dans le barrage. Des mesures de gestion doivent être mises en place pour réduire la contamination et protéger la santé des écosystèmes aquatiques et des populations locales. Des recherches futures devraient inclure des études longitudinales, une évaluation des sources de pollution et des méthodes de décontamination pour améliorer la gestion de la pollution métallique.

Mots clés: Métaux lourds, Bioaccumulation, Contamination, poissons, Écosystèmes aquatiques, éléments traces métalliques.

Abstract

The aim of this study was to assess the concentrations of heavy metals (Zn, Cu, Fe, and Cd) in the muscles of five species of fish (*Rutilus rutilus*, *Sander lucioperca*, *Carassius auratus*, *Abramis brama*, and *Alburnus alburnus*) caught in the Oum Toub dam at Skikda. The results revealed cadmium levels ranging from 0.73 to 1.66 mg/kg, which exceed the values observed in other studies in Algeria, indicating significant contamination.

The metal pollution index (MPI) was calculated for each species, showing values ranging from 1.26 for Gardon to 2.25 for Bream. These values indicate higher metal pollution compared with previous studies carried out in other regions of Algeria.

Potential sources of pollution, such as mining and agricultural discharges, appear to influence the bioaccumulation of heavy metals. Bream and pike-perch showed the highest levels of contamination, representing a potential risk to human health from consumption of these fish.

The results highlight the need for ongoing monitoring of water quality and metal pollution levels in the dam. Management measures need to be put in place to reduce contamination and protect the health of aquatic ecosystems and local populations. Future research should include longitudinal studies, assessment of pollution sources and decontamination methods to improve the management of metal pollution.

Key words: Heavy metals, Bioaccumulation, Contamination, fish, Aquatic ecosystems, trace metals.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تراكيز المعادن الثقيلة (الزنك والنحاس والحديد والكاديميوم) في عضلات خمسة أنواع من الأسماك (*Alburnus alburnus*، *Abramis brama*، *Carassius auratus*، *Sander lucioperca*، *Rutilus rutilus*) التي تم اصطيادها في سد أم. طوب بسكيكة. وكشفت النتائج عن مستويات الكادميوم تتراوح بين 0.73 إلى 1.66 ملغم/كغم، وهو ما يتجاوز القيم الملاحظة في دراسات أخرى في الجزائر، مما يشير إلى تلوث كبير. تم حساب مؤشر التلوث المعدني (MPI) لكل نوع، حيث أظهرت قيم تتراوح بين 1.26 للروتش إلى 2.25 للبرايم. وتشير هذه القيم إلى ارتفاع التلوث المعدني مقارنة بالدراسات السابقة التي أجريت في مناطق أخرى من الجزائر. ويبدو أن مصادر التلوث المحتملة، مثل التعدين والتصريفات الزراعية، تؤثر على التراكم الحيوي للمعادن الثقيلة. وأظهرت أسماك الدنيس والزاندر أعلى مستويات التلوث، مما يمثل خطراً محتملاً على صحة الإنسان بسبب استهلاك هذه الأسماك. تسلط النتائج الضوء على ضرورة المراقبة المستمرة لجودة المياه ومستويات التلوث المعدني في السد. ويجب وضع تدابير الإدارة للحد من التلوث وحماية صحة النظم الإيكولوجية المائية والسكان المحليين. وينبغي أن تشمل البحوث المستقبلية دراسات طولية، وتقييم مصادر التلوث، وطرق إزالة التلوث لتحسين إدارة التلوث المعدني.

الكلمات المفتاحية: المعادن الثقيلة، التراكم الحيوي، التلوث، الأسماك، النظم البيئية المائية، العناصر المعدنية النزرة.

Liste d'abréviation

Cu: Cuivre

Fe: Fer

Zn : Zinc

Cd : Cadmium

SAAF : Spectromètre d'absorption atomique à flamme

IMP : L'indice de pollution métallique

Mg/Kg : Milligramme par Kilo gramme

Ph: Potentiel hydrogène

BCF : facteur de bioconcentration

BAF : Facteur de bioaccumulation

L'ONA : Office National d'Assainissement d'Alger

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Effet sur la santé humaine et l'utilisation de chaque métal lourd.	08
02	Données biométriques (moyenne \pm écart-type et intervalle) des poissons du barrage Oum Toub à Skikda	34
03	Concentrations des métaux traces dans les muscles des poissons (moyenne \pm écart-type, intervalle en mg/kg de poids sec)	35
04	Indice de pollution par les métaux (MPI) des espèces de poissons examinées du barrage Oum Toub à Skikda	44

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
01	Carte géographique de la Wilaya de Skikda	13
02	Carte satellitaire (google earth, 2014) montrant le barrage du Guenitra et les différents oueds qui alimentent.	15
03	Variations des températures annuelles entre 1968 et 2003 dans la région du barrage Guenitra (Tandjir, 2007).	16
04	Variations des précipitations annuelles entre 1968 et 2003 dans la région du barrage Guenitra (Tandjir, 2007).	16
05	Le gardon (<i>Rutilus rutilus</i>).	17
06	Situation géographique de gardon dans le monde.	18
07	Sandre (<i>Sander lucioperca</i>).	20
08	Carassin (<i>Carassius auratus</i>)	21
09	Situation géographique du Carassin dans le monde	22
10	Brème (<i>Abramis sp.</i>).	23
11	Ablette (<i>Alburnus alburnus</i>).	25
12	Transporter les poissons dans glacières (photo originale 2024).	28
13	Stérilisation du matériel de travail (photo originale 2024).	29
14	Mensuration et pesée des échantillons (photo originale 2024).	30
15	Dissection des poissons (photo originale 2024).	30
16	Séchage des échantillons à l'étuve (photo originale 2024).	31
17	Filtration des échantillons et conservé au frais dans des tubes (Photo originale 2024).	32
18	Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez le Gardon (<i>Rutilus rutilus</i>), dans la station d'étude	36
19	Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez le Carassin (<i>Carassius auratus</i>) dans la station d'étude.	37
20	Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez le Sandre (<i>Sander lucioperca</i>) dans la station d'étude.	38
21	Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez Brème (<i>Abramis brama</i>) dans la station d'étude.	39
22	Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez l'Ablette (<i>Alburnus alburnus</i>) dans la station d'étude.	40
23	Variabilité des concentrations moyennes de cadmium chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.	41
24	Variabilité des concentrations moyennes de cuivre chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.	42
25	Variabilité des concentrations moyennes du fer chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.	43
26	Variabilité des concentrations moyennes du zinc chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.	44

Sommaire

	Page
Introduction	01
CHAPITRE01 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	04
1.Généralités	04
1.1. Définition des métaux lourds	04
1.2.Origine des métaux lourds	04
1.3.Classification des métaux lourds	05
1.4.Les caractéristiques des métaux lourds	05
1.5.Les propriétés physicochimiques des métaux lourds	07
1.6.Bioaccumulation des métaux lourds	10
1.7.Biodisponibilité des métaux lourds	11
1.8.Importances physiologiques des métaux lourds	11
1.9.Mécanismes de pénétration des métaux lourds chez l'organisme marin	11
1.10.Toxicité des métaux lourds sur vie aquatique	12
CHAPITRE02 : Matériels et Méthodes	13
1.Présentation de la région d'étude	13
1.1. Situation géographique de la Wilaya Skikda	13
1.2. Situation géographique de la région d'étude	14
1.2.1. Objectif de la réalisation du barrage de Guenitra	15
1.2.2. Caractéristiques du barrage Guenitra	15
1.2.3.Le climat	16
2. Présentation des modèles biologiques	17
2.1. Le gardon (<i>Rutilus rutilus</i>)	17
2.2. Sandre (<i>Sander lucioperca</i>)	19
2.3. Carrassin (<i>Carassius auratus</i>)	20
2.4. Brème (<i>Abramis brama</i>)	23
2.5. Ablette (<i>Alburnus alburnus</i>)	24
3. Echantillonnage	26

3.1. Choix du matériel biologique	26
3.2. Prélèvement et traitement des échantillons	27
3.3 Protocole au niveau de laboratoire	28
3.3.1. Traitement des matériaux avant usage	28
3.3.2. Mensurations	29
3.3.3. Dissection	30
3.3.4. Minéralisation	30
3.3.5. Protocole expérimental de la minéralisation des échantillons	31
3.3.6 Analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique	32
3.3.6.1. Définition	32
3.3.6.2 Principe	32
4. Analyses statistiques	33
5. L'indice de pollution métallique	33
CHAPITRE 03 : RESULTATS ET DISCUSSION	
1. Données biométriques	34
2. Concentrations des Métaux lourds	35
2.1. Variations métalliques pour chaque espèce de poisson	36
2.2. Variations des concentrations pour chaque métal	40
3. L'indice de pollution métallique (MPI)	44
Discussion	45
Conclusion	48
Références bibliographiques	51

INTRODUCTION

La contamination des écosystèmes marins et littoraux constitue un problème environnemental majeur, rendant les écosystèmes méditerranéens dangereusement vulnérables et représentant ainsi une menace sérieuse pour la santé humaine. Les facteurs responsables de cette situation se multiplient, principalement en raison de l'activité humaine au cours des dernières décennies. Cette augmentation est due notamment à la pression démographique, au développement technologique des villes côtières, à la pêche irresponsable, et à d'autres activités anthropogéniques (Md Shahidul et Masaru, 2004).

En Algérie la contamination des réserves naturelles en eau par les eaux usées sont devenues un problème de plus en plus préoccupant, et les barrages étant des retenues naturelles, sont devenus de jour en jour des décharges pour les eaux des rejets urbains et industrielles. Par sa biologie et son apparence, un poisson d'eau douce ne diffère pas essentiellement d'un poisson d'eau de mer, et plusieurs poissons ont leurs plus proches parents dans la mer (Mbega et Teugels, 2003).

De nos jours, le problème des métaux lourds présents dans les eaux et les sols contaminés est de plus en plus préoccupant. Incapables d'être biodégradés, ces métaux persistent dans l'environnement pendant de longues périodes, même lorsqu'ils sont rejetés en petites quantités, en raison de leur toxicité qui se développe par bioaccumulation. Leur accumulation dans l'environnement peut avoir des répercussions graves sur la santé humaine, affectant les systèmes nerveux, le sang, la moelle osseuse, ainsi que sur la santé des animaux (Ademola et al., 2013).

Parmi les substances chimiques susceptibles de constituer un danger pour la vie aquatique en général, nous signalons des métaux lourds comme le plomb et le cadmium. Ces éléments sont particulièrement toxiques et leur utilisation croissante dans divers secteurs industriels accentue le risque qu'ils représentent pour les écosystèmes aquatiques. En effet, le plomb, souvent utilisé dans la fabrication de batteries, de peintures et de divers alliages, ainsi que le cadmium, employé dans les industries de galvanoplastie, de pigments et de plastiques,

peuvent avoir des effets dévastateurs sur la faune et la flore aquatiques (Godeaux et Voss, 1985).

Le plomb, même à faible concentration, peut altérer les fonctions neurologiques des organismes aquatiques, affectant leur comportement, leur croissance et leur reproduction. Quant au cadmium, il peut provoquer des dysfonctionnements rénaux et des perturbations endocriniennes chez les poissons, et sa toxicité est amplifiée par son aptitude à se bioaccumuler dans les organismes vivants (Scott et Sloman, 2004 ; Rainbow, 2007).

D'autres métaux, tels que le cuivre et le zinc, bien que généralement considérés comme moins toxiques, posent également des risques significatifs en raison de leur pouvoir bioaccumulateur et de leur rémanence dans le milieu aquatique. Le cuivre, utilisé dans les pesticides, les engrais et les produits industriels, peut être toxique pour les poissons et les invertébrés à des concentrations élevées. Le zinc, présent dans de nombreux produits de consommation courante, peut également causer des dommages à la vie aquatique s'il est relâché en grandes quantités (Rainbow, 2007 ; Main Uddin et al., 2021).

Ces métaux non toxiques à faibles doses deviennent dangereux lorsque leurs concentrations augmentent dans les sédiments et les eaux en raison de leur incapacité à se dégrader biologiquement. Une fois introduits dans l'environnement aquatique, ils peuvent persister pendant de longues périodes, accumulant progressivement des concentrations toxiques dans les organismes aquatiques. Ces effets combinés de bioaccumulation et de rémanence augmentent le risque de contamination des chaînes alimentaires aquatiques, affectant non seulement les organismes directement exposés, mais également les prédateurs qui se nourrissent de ces organismes contaminés (Rainbow, 2007).

La pollution par les métaux lourds et autres éléments chimiques pose une menace sérieuse pour la biodiversité aquatique. Les impacts à long terme de ces substances sur les écosystèmes nécessitent une vigilance accrue et des mesures de gestion rigoureuses pour minimiser leur libération dans l'environnement. Selon Borsali (2015), la surveillance continue et la mise en œuvre de stratégies de réduction des polluants sont essentielles pour protéger la santé et la diversité des écosystèmes aquatiques.

Il s'est avéré que les poissons sont des vecteurs de contamination aux métaux lourds chez l'homme, de sorte que certaines espèces servent aujourd'hui d'outils biologiques à l'évaluation de la pollution des eaux par les métaux lourds. Il n'est pas donc surprenant que de

nombreuses études aient été menées sur ce type de pollution chez les différentes espèces de poissons. Effectivement, les organismes aquatiques en particulier les poissons sont capables grâce à leur métabolisme d'accumuler des éléments contaminants de l'environnement dans certains de leurs organes (Chaffai, 1993).

Les métaux lourds s'accumuleront dans la peau, les branchies, les intestins, le foie, les reins et d'autres organes du poisson, causant des dommages physiologiques et internes au corps du poisson (Ali, 2021). L'accumulation des métaux lourds dans ces compartiments peut résulter à la suite de sérieux changements écologiques. L'une des causes sérieuses de leur persistance est la bioamplification de ces métaux dans la chaîne alimentaire (Unlu & Gumgum, 1993).

D'après (Chen et al., 2000), les métaux qui sont transférés à travers le milieu aquatique aux poissons, aux hommes et autres animaux piscivores, peuvent avoir des impacts sur l'environnement et la santé humaine. Notre étude s'inscrit dans ce contexte et vise à évaluer la bioaccumulation des métaux lourds chez différentes espèces de poissons d'intérêt économique qui vivent dans les eaux du barrage d'Oum Toub de Skikda.

Notre travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre est une synthèse bibliographique sur les métaux lourds.
- Le deuxième chapitre présente la partie expérimentale, incluant une description de la zone d'étude (Skikda), la méthodologie générale, la présentation de la station de prélèvement et la méthode utilisée pour détecter les métaux lourds.
- Le troisième chapitre est consacré aux résultats des analyses des éléments traces métalliques, accompagnés d'une discussion.
- Enfin, nous concluons et proposons quelques perspectives.

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralités

1.1. Définition des métaux lourds

Les métaux lourds sont les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm³. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse etc.....(Arriss, 2008).

Certains auteurs cités par (Vertigo, 2006) définissent les métaux lourds selon leurs densités minimums de 3,5 à 6 g/cm³, d'autres en fonction de leurs masses atomiques ou de leurs numéros atomiques.

1.2. Origine des métaux lourds

1.2.1. Les sources naturelles

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelier & Berthelin, 1998).

Parmi les importantes sources naturelles, citons l'activité volcanique, l'altération des continents et les incendies de forêts. La contribution des volcans peut se présenter sous forme d'émissions volumineuses dues à une activité explosive, ou d'émissions continues de faible volume, résultant notamment de l'activité géothermique et du dégazage du magma (Afnor, 1988).

1.2.2. Les sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Weiss et al., 1999).

1.3.Caractéristique et classification des métaux lourds

Certains des métaux lourds sont essentiels pour la croissance, le développement et la santé des organismes vivants, tandis que d'autres sont non essentiels comme ils sont indestructibles et la plupart d'entre eux sont classés en tant que des espèces toxiques sur les organismes, néanmoins la toxicité des métaux dépend de leur l'environnement (Zamani et al., 2012).

1.3.1.Eléments traces métalliques essentiels

Ce sont des oligoéléments importants impliqués dans différentes fonctions physiologiques de la cellule. Par exemple, Zn, Ni, Cr, Cu, et Co sont des métaux de modérée à forte importance physiologique. Ils sont des micronutriments essentiels nécessaires pour plusieurs fonctions cellulaires et les composants de l'ADN et ARN polymérase (Zn), urease (Ni), cytochrom (Cr) et cytochrom c oxydase (Cu). Pb, Cd, Hg, Ag et l'or (Au) ont réduit la pertinence en tant qu'éléments nutritifs trace et ils ont limité la fonction physiologique. La toxicité des traces métalliques tels que le Zn, Ni, Cu, Co et Cr sont fortement dépendante de leurs concentrations (Seiler & Berendonk, 2012).

1.3.2.Eléments traces métalliques non essentiels

Le cadmium (Cd), le mercure (Hg), Ag, Cd, Hg, Pb, Sb et U sont des toxines cellulaires fortes en raison de leur capacité de forme nocive. La toxicité des métaux lourds dans l'environnement dépend fortement des conditions environnementales car ces conditions influencent la valence des ions métalliques et, par conséquent, leur biodisponibilité. Le Cr environnemental, par exemple survient principalement sous deux formes différentes : sous forme d'ions Cr^{3+} , ou comme l'Hexavalent Cr associé à oxygène comme chromate (par exemple Cr^{6+}). Les ions Cr^{3+} sont moins toxiques pour les bactéries que le chromate (Seiler & Berendonk, 2012).

1.4.Les caractéristiques des métaux lourds





A. Le Cuivre

Élément chimique métallique de couleur rouge-brun, de symbole Cu. Il possède une haute conductivité thermique et électrique à température ambiante. Il est un des rares métaux

qui existe à l'état natif. L'occurrence du cuivre natif est cependant assez faible (Hurbut & Klein, 1982).

L'ion Cu^{2+} forme de nombreux complexes stables avec des ligands minéraux, comme les chlorures ou l'ammonium, ou avec des ligands organiques (ATSDR, 1990).

Dans les milieux aqueux, le comportement du cuivre est influencé par de nombreux processus :

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

B. Le cadmium

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

C. Le Zinc

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

D. Le plomb

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, de symbole Pb et de numéro atomique 82, peu ou rarement disponible à l'état natif, il est présent dans de nombreux minerais, la galène PbS, associé au zinc PbZn. Il existe sous trois formes essentielles : le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire. Sous forme dissoute, les espèces dominantes dans l'eau de mer par exemple sont PbCO_3 , PbCl_2 ou PbCl^+ . Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute et le fait que le plomb, dans l'eau de mer, se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques labiles. De même que pour le mercure, le plomb peut-être méthylyé par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance.

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

E. Le Cobalt

Le cobalt est un Élément chimique métallique de symbole Co et c'est le second élément du huitième groupe secondaire, ce métal de transition fait partie du groupe du fer. Le corps simple cobalt a des propriétés physiques assez voisines de celles du fer et du nickel. D'un point de vue chimique, il est moins réactif que le fer. Il est l'un des quatre éléments qui sont ferromagnétiques au voisinage de la température ambiante, les trois autres étant le fer, le nickel et le gadolinium.

1.5. Les propriétés physicochimiques des métaux lourds

1.5.1. Propriétés physiques

Les minéraux ont une variété de caractéristiques physiques, y compris : brillant. La chaleur et l'électricité conduisent bien la chaleur et l'électricité. Il a une haute densité. Il a un point de fusion élevé. Rétractable et malléable. Sauf pour le mercure, qui est solide à température ambiante (INERIS, 2010).

1.5.2. Propriétés chimiques

Les minéraux contiennent une variété de caractéristiques chimiques, y compris la capacité de perdre des électrons dans l'orbite finale. Les types d'oxydes les plus simples. L'électronégativité n'est pas très élevée. Excellents réducteurs (tableau 01) (INERIS, 2010).

Tableau 01: Effet sur la santé humaine et l'utilisation de chaque métal lourd.

Métaux lourds	Effet sur la santé humaine	Utilisation
Al	Des effets nocifs sur la santé humaine (sa toxicité est associée à diverses pathologies telles que la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, l'anémie et l'obésité (Zatta, et al., 2002)	Transport, bâtiment, emballage, construction électrique (Sirven, 2006)
Cd	Le cadmium est connu par son pouvoir cancérogène, mutagène et perturbateur endocrinien. Il est aussi responsable de la dysfonction rénale, des maladies pulmonaires, du cancer du poumon, des défauts osseux (Ostéomalacie et Ostéoporose), de l'augmentation de la tension artérielle, des lésions rénales, de la bronchite, des troubles gastro-intestinaux et des troubles de moelle osseuse (Singh, 2011)	Piles, pigments, autres usages industriels (Sirven, 2006)
Cr	Perte des cheveux, dommages au système nerveux, fatigue, irritabilité (Singh, 2011)	Aciers inoxydables, chimie de réfractaires, utilisations métallurgiques diverses (Sirven, 2006)
Cu	Des dommages au cerveau et aux reins, des niveaux élevés entraînent une cirrhose du foie, une anémie chronique, des effets sur l'estomac et une irritation intestinale (Singh, 2011)	Constructions électrique, bâtiment, équipement industriel, transport (Sirven, 2006)

Fe	<p>Le fer est responsable à des effets toxiques et des fonctions essentielles du métal</p> <p>L'intoxication aiguë au fer entraîne des vomissements sanglants, de la diarrhée, des convulsions, une hypotension et un coma avec insuffisance hépatique et rénale (EFSA, 2006).</p>	Sidérurgie (Sirven, 2006)
Ni	<p>un cancer des poumons, du larynx et de la prostate</p> <p>Asthme et bronchite chronique, réactions allergiques telles que des éruptions cutanées</p>	Aciers inoxydable, alliages de nickel, aciers et fontes alliées, revêtements de surface (Sirven, 2006)
Pb	<p>Cause de plusieurs maladies telles que, le retard mental chez l'enfant, le retard du développement, l'encéphalopathie fatale du nourrisson, la paralysie congénitale, la surdité neurale du capteur. Il peut également engendrer des dommages aigus ou chroniques du système nerveux, d'épilepsie, des effets toxiques sur le foie et les reins et des dommages gastro-intestinaux (Singh, 2011)</p>	Batteries, laminés et munitions, chimie (Sirven, 2006).
Zn	<p>Les fumées de zinc ont un effet corrosif sur la peau et causent des dommages à la membrane nerveuse (Singh, 2011)</p>	Galvanisations, pièces moulés, laiton et autres métaux d'alliages, demi produits, chimie et autres (Sirven, 2006)

Hg	Il peut causer des maladies auto-immunes, de dépression, de somnolence, de fatigue, de perte des cheveux, d'insomnie, de perte de la mémoire, d'agitation, des troubles de la vision, des tremblements, des crises d'humeur, des lésions cérébrales, d'insuffisance pulmonaire et rénale et d'avortement spontané (Singh, 2011)	Cellules d'électrolyse, construction électrique (Sirven, 2006)
Ar	Affecte les processus cellulaires essentiels comme la phosphorylation et la synthèse de l'ATP, il peut provoquer aussi la bronchite, la dermatite et l'insuffisance rénale (Singh, 2011)	

1.6. Bioaccumulation des métaux lourds

La bioaccumulation est l'accumulation des substances toxiques dans les tissus des organismes vivants. C'est le cas par exemple des toxiques cumulatifs qui vont s'accumuler dans les tissus des organismes et dont les effets toxiques ne se produiront que lorsque leur dose d'effets sera atteinte. Tous les organismes vivants sont ainsi capables, à divers degrés, d'accumuler des substances toxiques, ce qui peut, dans un certain nombre de cas, entraîner des phénomènes de transfert d'amplification dans la chaîne alimentaire, avec des teneurs observées d'autant plus fortes que l'organisme est élevé dans la chaîne alimentaire. Le facteur de bioconcentration (BCF) et le facteur de bioaccumulation (BAF) sont deux paramètres utilisés pour la mesure des concentrations d'un polluant dans l'organisme (Boudin, 2005).

La présence des métaux lourds dans les milieux aquatiques induit des effets dévastateurs sur la balance écologique de l'environnement aquatique. Les milieux aquatiques sont très sensibles aux éléments traces métalliques par la coexistence des phénomènes de bioaccumulation. En effet, ces éléments traces se concentrent dans l'eau et les microorganismes aquatiques entraînant ainsi leur bioaccumulation dans les ressources

aquatiques. Ces organismes vivants peuvent accumuler les polluants à des concentrations supérieures à celles de leur biotope (Ouro-Sama et al., 2014).

1.7. Biodisponibilité des métaux lourds

La concentration en métal total dans un environnement ne peut donc pas permettre de prédire l'impact toxicologique et la bioaccumulation de ce métal dans les organismes. La fraction bio disponible d'un micropolluant, représente l'ensemble des molécules présentes dans le milieu et susceptibles d'entrer en contact et/ou de contaminer les organismes (Benguedda-Rahhal, 2012).

La biodisponibilité des métaux lourds concerne la fraction labile, c'est-à-dire libre dans l'eau et les sédiments pouvant être ingérée par les organismes aquatiques et transportée vers les sites pour exercer leurs actions, la biodisponibilité d'un même contaminant est variable selon les caractéristiques du milieu (caractéristiques, physiques, chimiques, pH... etc.), les indicateurs biologiques (récepteurs écologiques), la nature du (des) contaminant(s) et l'âge de la contamination (Allen, 1996; Belabed, 2010).

1.8. Importances physiologiques des métaux

Certains des métaux sont nécessaires à faible quantité pour les organismes vivants : Zn, Cu, Mn, Ni, Fe, B, Co et Se sont des oligo-éléments nécessaires à la nutrition des plantes. Ils interviennent également dans les réactions métaboliques, ou dans des réactions biochimiques telles que l'oxydoréduction ou l'hydrolyse (Bosinco, 1996). Les oligo-éléments sont généralement présents dans l'eau et aliments. Leur absence peut entraîner des carences. D'autre part, l'augmentation de la concentration de ces éléments est nocive pour les organismes vivants. D'autre éléments comme le cadmium, le plomb, le mercure, etc... ne sont pas essentielles pour les organismes vivants et ne produisent que les effets toxiques (Kumar, 1980).

1.9. Mécanismes de pénétration des métaux lourds chez l'organisme marin

Chez l'organisme marin, la pénétration de ces éléments toxiques se fait selon trois voies (Ramade, 1979) :

- ✚ La voie transtégumentaire: mode de contamination directe à partir du milieu extérieur.
- ✚ La voie respiratoire (branchiale): c'est le mode prépondérant de contamination.

✚ La voie trophique : dépend du régime alimentaire

1.10.Toxicité des métaux lourds sur vie aquatique

Selon (Thomazeau, 1981), il existe trois types de toxicité, suivant la rapidité d'apparition, la sévérité et la durée des symptômes et la rapidité d'absorption de la substance toxique :

1.10.1.Toxicité sublétales

Dans ce cas, des expositions fréquentes ou répétées sur une période de plusieurs jours ou semaines sont nécessaires avant que les symptômes n'apparaissent.

1.10.2.Toxicité chronique

Elle se manifeste par les effets toxiques produit non pas par l'absorption en une brève période de doses assez fortes, mais au contraire, de l'exposition à de très faibles concentrations, parfois même à des doses infimes, à des substances polluantes dans la répétition d'effets cumulatifs qui sont mesurés sur les paramètres généralement plus sensible comme la reproduction, les modifications du comportement, cette toxicité chronique finit par provoquer des troubles beaucoup plus graves (Ramade, 1982).

CHAPITER 02: MATERIELS ET METHODES

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Situation géographique de la Wilaya Skikda

La wilaya de Skikda est située dans le nord-est de l'Algérie et couvre une superficie de 4118 km². Elle est bordée au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la wilaya de Annaba, à l'ouest par la wilaya de Jijel, au sud par les wilayas de Constantine et Guelma, et au sud-ouest par la wilaya de Mila. Ses coordonnées géographiques se situent entre les latitudes 36°5'N et 36°15'N et les longitudes 7°15'E et 7°30'E (figure 01).



Figure 01 : Carte géographique de la Wilaya de Skikda.

1.2. Situation géographique de la région d'étude

Le sous-bassin versant de Guenitra, d'une superficie de 202 km², est situé à environ trente kilomètres au sud-ouest de la wilaya de Skikda, dans le nord-est de l'Algérie. Il occupe la partie sud-ouest du bassin versant de l'Oued Guebli, qui s'étend sur 993 km² et fait partie du bassin côtier constantinois centre (0307). Le sous-bassin de Guenitra se distingue par un réseau hydrographique dense, drainé par cinq principaux oueds qui alimentent le barrage de Guenitra, d'une capacité totale de 125 hm³. Ces oueds sont : l'Oued Fessa, l'Oued Charfa, l'Oued Mégramène, l'Oued Mellouh et l'Oued Essouk (figure. 02).

- Oued Fessa prend sa source au sud-ouest de la chaîne numide de Sidi Dris et est le principal affluent de la région étudiée.

- Oued Charfa longe la limite est du sous-bassin versant, au pied d'un relief escarpé.

- Oued Mégramène et Oued Mellouh bordent de part et d'autre le village d'Oum Toub.

- Oued Essouk traverse la zone minière de Sidi Kamber et présente la pente la plus élevée de la région.

Ces cours d'eau sont caractérisés par un régime d'écoulement très irrégulier, torrentiel en période hivernale et sec en été, ce qui dénote une variation importante des apports au Barrage, ces derniers sont importants en saison pluvieuse et presque inexistantes en période de sèche.

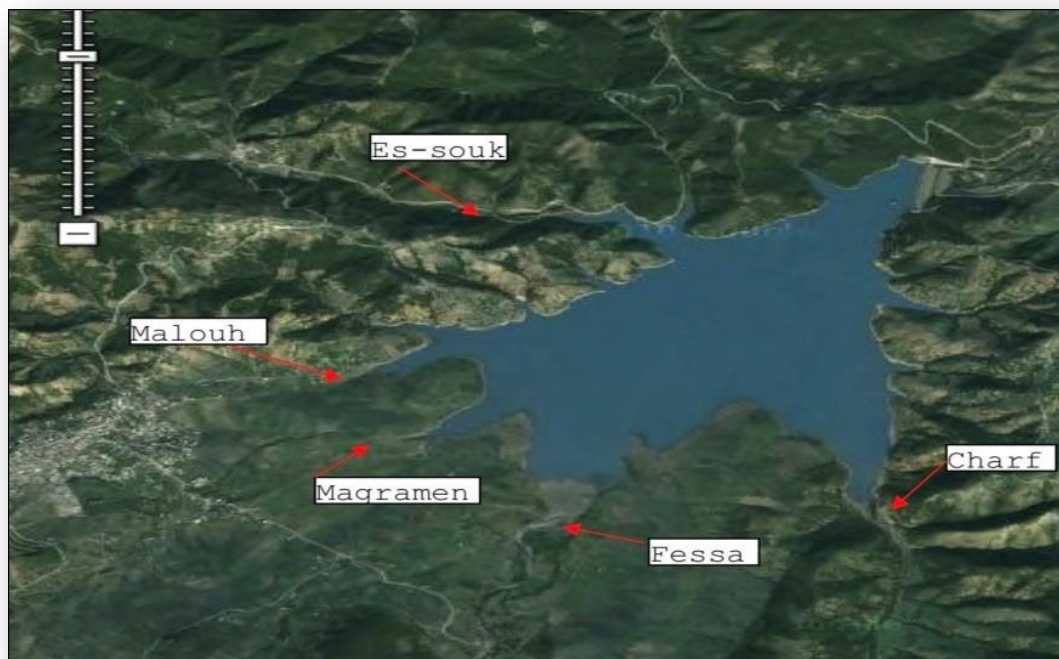


Figure 02: Carte satellitaire (google earth, 2024) montrant le barrage du Guenitra et les différents oueds qui alimentent.

1.2.1. Objectif de la réalisation du barrage de Guenitra

Ce barrage a un double objectif :

- Alimentation en eau potable: Il fournit 37 000 m³ d'eau par jour à la ville de Skikda, ainsi que 16 000 m³ supplémentaires aux agglomérations environnantes et à la zone industrielle.
- Irrigation agricole: Il assure l'irrigation des périmètres d'Emdjez-Edechich et de la vallée du Saf-Saf, couvrant une superficie totale de 5 650 hectares.

1.2.2. Caractéristiques du barrage Guenitra

- Les travaux ont été entamés en juillet 1978 et terminés fin 1984.
- Le barrage de Guenitra est construit à un point de cote 110 m.
- La digue est en terre et son noyau central en argile, la hauteur du dessus du lit est de 58m, la largeur à la base de 350m et la longueur de 480m.
- La capacité brute de retenue est de 125 hm³ d'eau.
- La capacité utile de retenue est de 115,5 hm³ d'eau.
- Le volume annuel régularisable est de 48 hm³.

- La cote de retenue normale 164 m.
- La cote de retenue minimal 133 m.
- La cote de retenue maximale : 167,70 m.
- Les cotes de prises d'eau : 134,15 m, 144,6 m, 154,5 m.
- Superficie du bassin versant : 202 km².
- Altitude du bassin : 1364 m à 110 m.

1.2.3. Le climat

La plaine d'Oum Toub est caractérisée par un climat méditerranéen avec deux périodes :

- Une période froide et pluvieuse en hiver.
- Une période chaude et sèche en été.

La température moyenne annuelle est de 17.9C° (figure 03).

La précipitation annuelle est de l'ordre de 729,25 mm (figure 04).

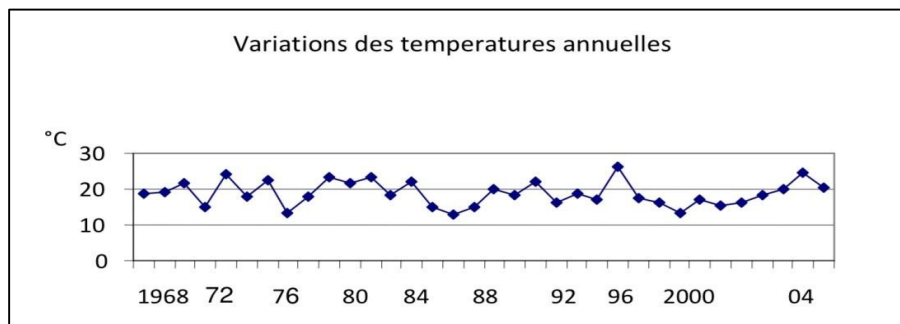


Figure 03 : Variations des températures annuelles entre 1968 et 2003 dans la région du barrage Guenitra (Tandjir, 2007).

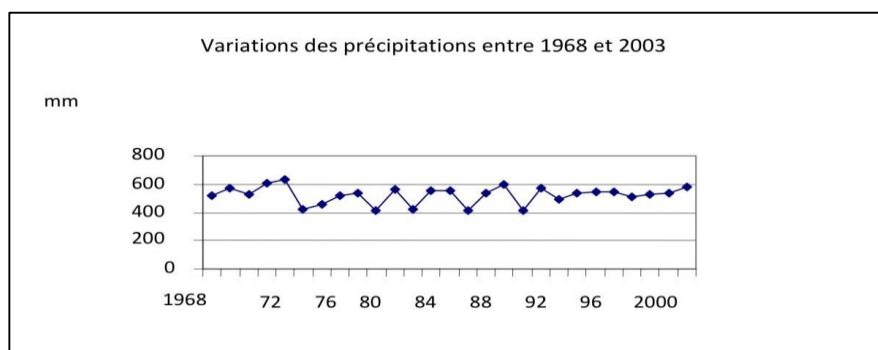


Figure 04 : Variations des précipitations annuelles entre 1968 et 2003 dans la région du barrage Guenitra (Tandjir, 2007).

2. Présentation des modèles biologiques

Dans cette étude, la recherche de résidus de métaux lourds a été effectuée sur des individus appartenant aux espèces suivantes : Gardon (*Rutilus rutilus*), Ablette (*Alburnus alburnus*), Carassin (*Carassius auratus*), Brème (*Abramis brama*) et Sandre (*Sander lucioperca*). Ces poissons sont très répandus et largement consommés dans la région d'Oum Toub, près du barrage Guenitra, dans la wilaya de Skikda.

2.1. Le gardon (*Rutilus rutilus*)

2.1.1. Description

Le corps est aplati latéralement, le dos plus ou moins haut est vert bleu, les flancs argentés ont quelques reflets dorés ; le ventre est blanc-rouge, les nageoires pelviennes et anale sont rouges. La bouche est étroite et légèrement orientée vers le haut, les écailles sont grandes (42 à 45 le long de la ligne latérale), les yeux sont rouges. Sa taille est de 15 à 30 cm jusqu'à 45 cm pour un poids de 200 g jusqu'à 2,4 kg, c'est toutefois assez rare mais le gardon de 1kg est relativement courant (figure 5) (Atlas, 2001).



Figure 05. Le gardon (*Rutilus rutilus*)

2.1.2. Systématique

Règne: Animale

Embranchement : Vertébrés

Classe : Ostéichtyes

Super ordre: Téléostéens

Ordre: Cypriniformes

Famille: Cyprinidae

Genre: Rutilus

Espèce: rutilusrutilus

2.1.3. Reproduction

En période de reproduction (avril-juin), les mâles se parent de tubercules nuptiaux. Les ovules (50 000 à 100 000 par femelle) sont pondus dans la végétation des eaux peu profondes. L'incubation dure 1 à 2 semaines. Les larves et les adultes vivent en bancs parmi la végétation (Atlas, 2001).

2.1.4. Origine et distribution

Le gardon est répandu dans les eaux stagnantes et lentes. C'est un poisson originaire de l'Europe centrale et occidentale (figure 06) (Atlas, 2001).



Figure 06. Situation géographique de gardon dans le monde

2.1.5. Régime alimentaire

Le gardon est un poisson omnivore, il adapte son alimentation aux diverses disponibilités du milieu. Surtout végétarien, il se nourrit de plantes tendres ou flétries, d'algues fixées, de

mousses. Mais sur les fonds, il se nourrit de vers et autres petits invertébrés. En pleine eau, il saura se nourrir des algues planctoniques et de petits crustacés (Atlas, 2001).

2.2. Sandre (*Sander lucioperca*)

2.2.1. Distribution

Le corps est élancé, cylindrique et fusiforme et la tête est allongée (figure, 7). On note la présence de dents (dont certaines forment de puissantes canines) sur le prémaxillaire, le vomer et le palatin mais pas sur la langue. Les branchiospines sont munies d'épines. L'œil est globuleux et vitreux avec une rétine munie d'un tapis réflecteur, le tapetum lucidum, riche en pigments rétinien qui réfléchissent la lumière et augmentent l'acuité visuelle aux faibles intensités lumineuses. Le sandre dispose de deux nageoires dorsales, la première pourvue de rayons épineux séparée de la seconde par un court intervalle. Les écailles sont petites et de type cténoïde. Le dos présente une coloration grise verdâtre avec des bandes verticales foncées alors que les flancs sont plus clairs. Le ventre est blanc sauf chez le mâle en période de reproduction qui exhibe une teinte plus sombre. Ce critère semble être d'ailleurs le seul dimorphisme sexuel fiable (Nicolas, 2004).

2.2.2. Systématique

Classe : Téléostéen

Ordre : Perciformes

Famille : Percidae

Genre : Sander

Espèce : lucioperca

2.2.3. Habitat

Le sandre fréquente des eaux calmes et profondes (lacs, réservoirs, ballastières ...) et des eaux courantes (fleuves, rivières ...) à cours plutôt lent et présentant des zones profondes (fondes de sable, de graviers, de cailloux ou de rochers) (Bruslé et Quignard, 2001).

2.2.4. Reproduction

La reproduction du sandre, comme celle de nombreuses autres espèces de poissons, est influencée par la température de l'eau. La reproduction commence lorsque la température at-

teint environ 12°C, ce qui se produit généralement entre avril et juin, selon les régions. Les mâles atteignent la maturité sexuelle entre 2 et 3 ans (mesurant alors 33 à 37 cm), tandis que les femelles y parviennent entre 3 et 4 ans (mesurant 40 à 45 cm) (Amina, 2011).

2.2.5. Origine et distribution

Le sandre a une aire de répartition indigène s'étendant dans une grande partie de l'Europe, de l'Allemagne à l'ouest à la Russie centrale à l'est, avec leur aire de répartition envahissante comprenant désormais la France, l'Espagne, le Portugal et la Grande-Bretagne). Cette espèce a été introduite pour la première fois en Grande-Bretagne à la fin du 19e siècle, (Emma et Nolan 2020).

2.2.6. Régime alimentaire

Presque exclusivement ichtyophage dès la taille de 7-8 cm (4 mois d'âge), le sandre est un carnassier capturant des proies (ablettes *Alburnus alburnus*, brèmes *Abramis brama*, goujon gobio, petites gardons *Rutilus rutilus*, rotengles *Scardinius erythrophthalmus* et barbeaux *Barbus barbus*...), il consomme aussi des écrevisses dans certains plans d'eau (Bruslé et Quignard, 2001).



Figure 07. Sandre (*Sander lucioperca*)

2.3. Le Carassin (*Carassius auratus*)

2.3.1. Description

La Carpe à la lune (*Carassius auratus*) dite encore Carassin commun, Cyprin, Carache, carouche, gibèle ou meule, est un poisson de la famille des cyprinidés, celle des carpes et des vairons. C'est un cyprinidé de taille moyenne qui excède rarement 1.5 kg. Il a habituellement

un dos vert foncé, des flancs argentés et des branchies rouges mais peut posséder d'autres variations de couleurs (figure 08) (Raicu et al., 1981).

Il se distingue immédiatement de la carpe par l'absence de barbillons. Les dents pharyngiennes sont disposées sur un rang. La nageoire dorsale haute et convexe, finement dentée, comporte un grand rayon dur tandis que le rayon dur de la nageoire anale est peu épais. La nageoire caudale est bien développée et fourchue (FAO, 2004; Godin, 2005).



Figure 08. *Carassin (Carassius auratus)*

2.3.2. Systématique

Embranchement : Chordata

Classe : Actinopterygii

Ordre : Cypriniformes

Famille : Cyprinidae

Genre : Carassius

Espèce : carassius (Linnaeus, 1758).

2.3.3. Habitat

C'est un poisson qui affectionne particulièrement les eaux dormantes ou stagnantes comme les lacs, les étangs ou les mares mais aussi les rivières à courant très lent, préférentiellement si les berges et les fonds sont abondamment couverts de végétation, et qui

présente un attrait important pour les fonds vaseux où il aime s'enfoncer pendant la saison sèche ou pendant l'hiver (Allardi & Keith, 1991; Rasouli et al., 2012).

Il survit très facilement dans les milieux très dégradés et pollués (Rasouli et al., 2012). Peut survivre à des températures élevées et à de très faibles concentrations d'oxygène pendant l'été et sous la couverture de glace (Kottelat & Freyhof, 2007).

2.3.4. Reproduction

Le frai se déroule près des rives recouvertes d'herbes en mai et juin, lorsque les eaux se réchauffent aux environs de 18°C (Olsen, 2006). Chaque femelle libère, en fonction de son poids, de 100.000 à 300.000 ovules qui fécondées par le mâle adhèrent et s'agglutinent sur les tiges des plantes aquatiques. L'incubation dure une semaine environ (Spillman, 1961).

2.3.5. Origine et distribution

Originaire d'Asie, il a été progressivement introduit en Russie, puis dans le reste de l'Europe. Aujourd'hui, on le retrouve dans presque toutes les eaux douces européennes sauf en Suède, où les eaux sont trop fraîches, et au Sud de l'Espagne et de l'Italie, où la température de l'eau est trop élevée. Il est également présent au Japon (figure 09) (Khelifi et al., 2018).

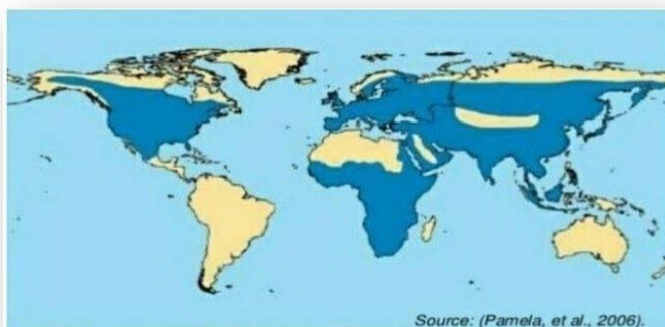


Figure 09. Situation géographique du Carasine dans le monde

2.3.6. Régime alimentaire

Le carassin est à la base un omnivore qui se nourrit naturellement de débris organiques, d'algues filamenteuses, de petits animaux benthiques mais aussi d'insectes et de larves d'insectes (Diptères et Ephémères), et de morceaux et graines d'algues aquatiques.

Cependant, les alevins/larves se nourrissent de zooplanctons (FAO, 2004; Godin, 2005; Beck, 2011), mais, en aquaculture, ils acceptent l'aliment artificiel, ainsi que des granulés formulés (Xianwen, 1964).

2.4. Brème (*Abramis brama*)

Le corps très aplati latéralement est bossu en arrière de la tête. Il est couvert de grandes écailles (49 à 57 sur la ligne latérale et plus de 10 entre la dorsale et la ligne latérale) et recouvert d'un épais mucus. La tête, porte des petits yeux, par rapport à la longueur du museau (caractère distinctif par rapport à la brème bordelière). L'anale est longue alors que la caudale possède des lobes inégaux. La bouche peut s'étirer en forme de tube (protractile), elle est dépourvue de barbillons (figure 10).

Vert-bronze sur le dos, elle s'éclaircit sur les flancs, les nageoires sont grises. Les plus gros sujets ont des reflets jaune-doré d'où leur nom de "brèmes carpées". Les sujets les plus fréquents mesurent 30 à 45 cm (500 g à 2 kg), les plus gros 60 cm pour 3 kg.



Figure 10. Brème (*Abramis brama*)

2.4.1. Systématique

Embranchement : Chordés

Sous-embranchement : vertébré

Classe : Actinopteryens

Ordre : Cypriniformes

Famille : Cyprinidés

Genre et espèce : *Abramis brama* (Linnaeus, 1758).

2.4.2. Habitat

La grande brème fréquente les eaux calmes des étangs, lacs, ou lentes des rivières et fleuves. La brème supporte au stade adulte des eaux faiblement salées et méso halines jusqu'à 8-10 g/l dans les eaux plus salées. En revanche, elle exige des eaux douces une concentration très faiblement haline pour sa reproduction, d'où la nécessité de migrations de reproduction entre eaux saumâtres et eaux oligohalines. Elle est parfois présente dans certains lacs de moyenne montagne. La maturité sexuelle est tardive en raison d'une croissance lente : 5 à 7 ans (taille de 18-50 cm) et la ponte se situe en avril-mai-juin, dans des eaux à 12-16°C (Bruslé et Quignard, 2001).

2.4.3. Régime alimentaire

La grande brème est un poisson benthophage fouisseur des fonds vaseux à la recherche de proies animales (Vers Oligochètes, et surtout larves d'insectes). Elle peut aussi être un consommateur de débris de plantes aquatiques (algues filamenteuses et macrophytes), parfois elle mélange à des particules de sédiment (vase, sable). Durant ses 3 premières années de vie, elle est zooplanctonophage et consomme surtout des crustacés zooplanctoniques en milieu lacustre. Les adultes âgés sont parfois ichtyophages (Bruslé et Quignard, 2001).

2.5. Ablette (*Alburnus alburnus*)

Le corps fin, comprimé latéralement est couvert d'écailles peu adhérentes. La bouche est nettement dirigée vers le haut, la mâchoire inférieure dépasse la supérieure. Argentée, brillante, le dos est gris-bleu et les nageoires sont grisées. Elle mesure le plus souvent de 10 et 15 cm (figure 11).



Figure 11 : Ablette (*Alburnus alburnus*)

2.5.1. Systématique

Phylum : Vertébrés.

Sous phylum:Gnathostomes.

Super classe : Poissons.

Classe : Ostéichtyens.

Sous classe : Actinoptérygiens.

Super ordre : Téléostéens.

Ordre : Cypriniformes.

Sous ordre : Cyprinoidae.

Famille : Cyprinidae.

Genre/espèce : *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758).

2.5.2. Habitat

L'ablette, espèce limnophile et pélagique, est présente dans tous les types d'eau. Mais c'est la rivière lente, riche en nourriture, qu'elle semble le plus apprécier. Toutes les tailles y sont présentes. Dans les canaux, elles sont souvent petites mais très nombreuses. En lac, leur nombre diminue, mais leur taille augmente. Dans certaines eaux closes, étangs, sablières où elles ont été introduites soit par l'homme soit par les crues, les ablettes grossissent très vite mais ne se reproduisent pas. Quel que soit le type d'eau, les ablettes, poissons grégaires, se

rassemblent en très grand nombre au moment de leur reproduction. Le reste du temps, dispersés en petits groupes, elles évoluent proche de la surface à la recherche de leur nourriture. Elles sont toujours en mouvement et vu le nombre de leurs prédateurs, toujours sur la défensive (Bruslé et Quignard, 2001 ; Keith et Allardi, 2001 ; Anonyme, 2009). L'Ablette est une espèce tolérante vis-à-vis de la pollution organique et des fortes températures (Keith et Allardi, 2001).

2.5.3. Reproduction

Les ablettes atteignent la maturité sexuelle à l'âge de 2 ans. Les mâles à maturité sexuelle portent des boutons nuptiaux sur le dos (Bruslé et Quignard, 2001 ; Anonyme, 2009). Les ovaires à maturité représentent près de 18 % du poids corporel (RGS) dans la Meuse (Rinchard et Kestemont, 1996).

2.5.4. Régime alimentaire

Comme tous les cyprinidés, l'ablette a un régime alimentaire très varié, omnivore et opportuniste, elle s'adapte constamment à la nourriture disponible selon le milieu qu'elle occupe. Les alevins se nourrissent exclusivement de phytoplancton et zooplancton, tandis que les adultes mangent le plus souvent ce qu'ils trouvent, vers, larves, mollusques, algues et divers débris végétaux. Pouvant évoluer à toutes les hauteurs d'eau, l'ablette consomme également des insectes aquatiques à tous les stades de leur évolution, mais aussi terrestres qui tombent accidentellement dans l'eau (Bruslé et Quignard, 2001 ; Keith et Allardi, 2001 ; Vašek, et Kubečka, 2004 ; Jankauskienė et Jenciūtė, 2007).

3. Echantillonnage

3.1. Choix du matériel biologique

Cette étude se concentre sur cinq espèces de poissons : l'Ablette (*Alburnus alburnus*), le Sandre (*Sander lucioperca*), la Brème (*Abramis brama*), le Carassin (*Carassius auratus*), et le Gardon (*Rutilus rutilus*). Le choix de ces espèces est motivé par leur valeur nutritionnelle élevée et leur consommation répandue parmi les populations locales. Ces poissons jouent un rôle crucial dans l'alimentation humaine, offrant des protéines de qualité et divers micronutriments essentiels.

L'étude cible spécifiquement les filets de ces poissons, qui sont la partie la plus couramment consommée par l'homme. En se concentrant sur les filets, l'objectif est d'évaluer les niveaux de contamination par les métaux lourds dans la portion de poisson effectivement ingérée, ce qui a des implications directes pour la santé publique. De plus, la disponibilité de ces espèces dans la région étudiée facilite leur inclusion dans le programme de recherche, permettant une collecte de données représentative et pertinente pour l'évaluation des risques sanitaires associés à la consommation de poissons locaux.

3.2. Prélèvement et traitement des échantillons

Pour notre étude, nous avons prélevé un échantillon composé de vingt-huit individus de ces cinq espèces de poisson au barrage Oum Toub au cours du mois de mai. Ces prélèvements ont été réalisés le même jour pour garantir la fraîcheur des échantillons. Afin de maintenir l'intégrité du matériel biologique et d'éviter toute contamination métallique, les poissons ont été immédiatement placés séparément dans une glacière (Figure 12).

La glacière utilisée était soigneusement préparée pour éviter toute introduction de métaux pouvant interférer avec les analyses ultérieures. Dès leur prélèvement, les poissons ont été transportés rapidement au laboratoire où ils ont été traités sans délai. Cette procédure rigoureuse vise à garantir la fiabilité des résultats, en minimisant les risques de contamination externe et en assurant que les niveaux de métaux lourds mesurés reflètent fidèlement les conditions naturelles des poissons au moment de leur capture.

Une fois au laboratoire, chaque individu a été soigneusement examiné et les filets ont été prélevés pour les analyses. Cette étape critique permet de cibler précisément la partie consommée par l'homme, offrant ainsi des données pertinentes pour l'évaluation des risques sanitaires. Ce protocole d'échantillonnage et de traitement vise à fournir des résultats précis et fiables, contribuant à une meilleure compréhension de la contamination par les métaux lourds dans les poissons de la région.



Figure 12 : Transportez les poissons dans glacières (photo originale2024)

3.3. Protocole au niveau de laboratoire

Lors de nos travaux expérimentaux en laboratoire, nous avons utilisé une variété d'outils et d'instruments essentiels, parmi lesquels :

- Boîtes de dissection : Utilisées pour les prélèvements précis des tissus de poisson.
- Boîtes de Pétri : Employées pour la manipulation et la préparation des échantillons.
- Balance : Permettant de mesurer avec précision les masses des échantillons.
- Étuve : Utilisée pour sécher les échantillons.
- Verrerie : Comprenant des tubes, des béchers, des entonnoirs, etc., indispensables pour diverses étapes de manipulation et de préparation des solutions et des échantillons.
- Papier aluminium : Utilisé pour envelopper les échantillons et éviter la contamination.
- Papier filtre : Employé pour la filtration des solutions.
- Mortier : Utilisé pour broyer les échantillons solides en une poudre fine.
- Four à moufle : Utilisé pour calciner les échantillons et éliminer les matières organiques.
- Spectromètre d'absorption atomique à flamme : Instrument clé pour la détermination des concentrations de métaux lourds dans les échantillons de poisson.

Ces équipements et instruments nous ont permis de mener nos analyses de manière précise et fiable, garantissant ainsi la qualité et l'exactitude des données obtenues sur la contamination des poissons par les métaux lourds.

3.3.1. Traitement des matériaux avant usage

Afin de minimiser tout risque de contamination pendant la manipulation, des précautions particulières doivent être prises :

- Nettoyage des instruments: Avant toute manipulation du matériel biologique, tous les instruments doivent être trempés dans de l'eau distillée, puis rincés à une solution d'acide nitrique à 0,1 N (HNO_3 0,1N). Cette étape permet d'éliminer toute trace de contaminants potentiels.
- Utilisation d'instruments inoxydables : Les échantillons ont été disséqués à l'aide d'instruments en acier inoxydable, afin de réduire les risques de contamination par des métaux provenant des outils de dissection.
- Nettoyage systématique: Une fois chaque échantillon préparé, les instruments ont été systématiquement lavés. Ce nettoyage rigoureux entre chaque manipulation garantit que les instruments sont exempts de contaminants avant d'être réutilisés pour d'autres échantillons.

Ces mesures de précaution sont essentielles pour assurer l'intégrité des échantillons et la fiabilité des résultats obtenus, en éliminant les risques de contamination croisée et en maintenant des conditions expérimentales propres et contrôlées (figure 13).



Figure 13 : Stérilisation du matériel de travail (photo originale2024)

3.3.2. Mensurations

À leur arrivée au laboratoire, les 28 échantillons de poissons ont été soumis à une série de mesures. Le poids total de chaque poisson a été mesuré à l'aide d'une balance de précision, garantissant une évaluation précise de leur masse. Parallèlement, la longueur totale de chaque poisson a été déterminée en mesurant la distance entre les deux extrémités du poisson, de la

tête à la queue, à l'aide d'un instrument de mesure approprié, tel qu'un ruban métrique ou une règle calibrée. Ces mesures de poids et de longueur fournissent des données essentielles pour l'analyse comparative et l'évaluation des caractéristiques des poissons échantillonnés (figure 14).



Figure14 : Mensuration et pesée des échantillons (photo originale2024).

3.3.3. Dissection

Une fois les mensurations effectuées, l'ensemble des poissons a fait l'objet d'une dissection afin de prélever la chair. Cette dissection a été réalisée manuellement, à l'aide d'une pince et de ciseaux (figure 15).



Figure 15: Dissection des poissons (photo originale 2024)

3.3.4. Minéralisation

Afin de déterminer la concentration en métaux traces dans la chair prélevée, ces derniers sont d'abord séchés puis soumis à une minéralisation. Cette étape de minéralisation consiste à détruire la matière organique des échantillons par attaque acide, permettant ainsi de libérer les métaux traces qui y étaient liés. L'acide nitrique (HNO_3) est l'agent réactif utilisé pour cette procédure.

3.3.5. Protocole expérimental de la minéralisation des échantillons

3.3.5.1. Séchage à l'étuve

Cette étape consiste à sécher les échantillons de chair. Ceux-ci sont étalés sur du papier d'aluminium et placés dans une étuve à une température de 55°C pendant 6 heures. L'objectif est d'éliminer toute l'eau afin d'obtenir une matière sèche facilement conservable (figure 16).



Figure 16 : Séchage des échantillons à l'étuve (photo originale 2024).

3.3.5.2. Réduction en cendres

Une fois le séchage terminé :

- Placer les échantillons (1 g du poids sec pour chaque échantillon) humectés avec de l'acide nitrique dans un four à moufle pendant 1 heure et 50 minutes à 350°C .
- Ensuite, broyer finement les échantillons à l'aide d'un mortier en agate.

3.3.5.3. Filtration et mise en solution

Après le refroidissement des échantillons dans la température de laboratoire, les cendres obtenues sont filtrées à l'aide d'un papier filtre. Le filtrat obtenu est ajusté à 25 ml par

l'acide nitrique à 1% et conservé au frais dans des tubes en verre étiquetés jusqu'à l'analyse par la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (figure 17).



Figure17 : Filtration des échantillons et conservé au frais dans des tubes (Photo originale 2024)

3.3.6. Analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Le dosage des métaux étudiés (Pb, Cu, Fe et Zn) est réalisé par la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAAF) au niveau du laboratoire central de l'ONA (office national d'assainissement) d'Alger.

3.3.6.1. Définition.

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une méthode analytique permettant de déterminer la concentration d'une substance par l'absorption d'une radiation spécifique à l'élément chimique contenu dans la substance.

3.3.6.2. Principe.

Proposée par (WALSH, 1955), la spectrophotométrie d'absorption atomique est une méthode d'analyse quantitative s'adressant essentiellement aux métaux. Elle est basée sur la propriété des atomes de l'élément qui peuvent absorber des radiations de longueur d'onde déterminée.

La solution de l'élément à analyser est nébulisée dans une flamme, ce qui provoque successivement l'évaporation du solvant, la vaporisation de l'élément sous forme de combinaisons chimiques, la dissociation de ces combinaisons avec production d'atomes libres à l'état fondamental.

4. Analyses statistiques:

Pour tous les paramètres nous avons calculé les moyennes et l'écart-type, et donner le maximum et le minimum. Les statistiques et les graphiques ont été réalisés sous Excel.

5. L'indice de pollution métallique (MPI)

Pour évaluer la pollution métallique, l'indice de pollution métallique (MPI) a été calculé comme suit (Usero et al., 2005 ; Abdel-Khalek et al., 2016) :

$$\text{MPI} = (\text{CM}_1 \times \text{CM}_2 \times \text{CM}_3 \times \dots \times \text{CM}_n)^{1/n}$$

où CM_1 est la concentration du premier métal concerné, CM_2 est la concentration du deuxième métal concerné, CM_3 est la concentration du troisième métal concerné, CM_n est la concentration du nième métal (mg/kg de poids sec) dans l'échantillon de tissu d'une espèce particulière.

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

Cette étude vise à analyser les concentrations de quatre métaux lourds dans les muscles de diverses espèces de poissons prélevées au barrage Om Toub à Skikda. Les espèces étudiées sont le Gardon (*Rutilus rutilus*), l'Ablette (*Alburnus alburnus*), le Carassin (*Carassius auratus*), la Brème (*Abramis brama*) et le Sandre (*Sander lucioperca*). L'objectif est de quantifier et comparer les niveaux de contamination métallique chez ces poissons pour évaluer les risques potentiels pour l'écosystème et la santé humaine.

1. Données biométriques

Le tableau 2 détaille les données biométriques des poissons capturés au barrage. Avant la dissection, le poids et la longueur de cinq espèces de poissons ont été soigneusement mesurés. Ces informations biométriques sont essentielles pour évaluer l'état de santé des poissons et établir des corrélations avec les niveaux de contamination par les métaux lourds dans leurs muscles.

Tableau 2. Données biométriques (moyenne \pm écart-type et intervalle) des poissons du barrage Oum Toub à Skikda

Espèces	Sexes	n	Poids (g)	Tailles (cm)
Gardon (<i>Rutilus rutilus</i>)	Male	13	74,8 \pm 11,67 (47,5-99,4)	17,23 \pm 0,94 (15,7-19)
	Femelle	0	/	/
Sandre (<i>Sander lucioperca</i>)	Male	3	231,63 \pm 17,58 (215,7-250,5)	28,5 \pm 0,86 (27,5-29)
	Femelle	0	/	/
Carassin (<i>Carassius auratus</i>)	Male	2	407,95 \pm 7,57 402,6-413,3	27 \pm 0 (27-27)
	Femelle	6	455,1 \pm 42,2 (424,8-535,3)	27,25 \pm 1,33 (25-29)
Brème (<i>Abramis brama</i>)	Male	1	190,35 \pm 88,9 (234,8-145,9)	22,75 \pm 2,5
	Femelle	1		(24-21,5)
Ablette (<i>Alburnus alburnus</i>)	Male	1	15,15 \pm 1,9091 (16,5-13,8)	11,1 \pm 0,5656
	Femelle	1		(11,5-10,7)

2. Concentrations des Métaux lourds

Le tableau 3 expose les concentrations de métaux traces détectées dans les poissons prélevés au barrage. Ce tableau fournit des détails sur les niveaux de contamination par différents métaux lourds pour chaque espèce étudiée, permettant ainsi une comparaison précise et une évaluation des risques environnementaux et sanitaires associés.

Tableau 3. Concentrations des métaux traces dans les muscles des poissons (moyenne \pm écart-type, intervalle en mg/kg de poids sec)

Espèces	n	Cd	Cu	Fe	zn
Sandre (<i>Sander lucioperca</i>)	3	1,661 \pm 0,31 1,422-2,018	3,13 \pm 0,33 2,748-3,38	2,897 \pm 1,08 2,2-4,15	0,915 \pm 0,12 0,81-1,045
Brème (<i>Abramis brama</i>)	2	1,1713 \pm 0,09 1,1075-1,235	3,675 \pm 0,38 3,405-3,945	7,641 \pm 1,27 6,74-8,543	0,78 \pm 0 0,78-0,78
Ablette (<i>Alburnus alburnus</i>)	2	1,0888 \pm 0,037 1,0625-1,115	3,149 \pm 0,15 3,042-3,255	2,716 \pm 0,22 2,56-2,873	0,82625 \pm 0,002 0,825-0,8275
Carassin (<i>Carassius auratus</i>)	8	0,7994 \pm 0,14 0,575-1,0075	3,085 \pm 0,32 2,655-3,56	3,419 \pm 0,30 2,813-3,782	0,6469 \pm 0,22 0,2175-0,94
Gardon (<i>Rutilus rutilus</i>)	13	0,7315 \pm 0,053 0,64-0,845	2,174 \pm 1,04 0,432-3,39	3,098 \pm 0,83 1,257-4,42	0,5438 \pm 0,15 0,2075-0,78

2.1. Variations métalliques pour chaque espèce de poisson

2.1.1. Le Gardon (*Rutilus rutilus*)

Chez le Gardon (*Rutilus rutilus*), la concentration moyenne la plus élevée de métaux traces a été enregistrée pour le fer, atteignant 3,10 mg/kg de poids sec. À l'inverse, la concentration moyenne la plus faible a été observée pour le zinc, avec 0,54 mg/kg de poids sec (figure 18). L'ordre d'accumulation des quatre métaux dans les muscles du Gardon dans notre zone d'étude est le suivant : Fe > Cu > Cd > Zn. Ces résultats indiquent une prédominance du fer, suivie par le cuivre, le cadmium et enfin le zinc, soulignant des variations significatives dans les niveaux de contamination métallique.

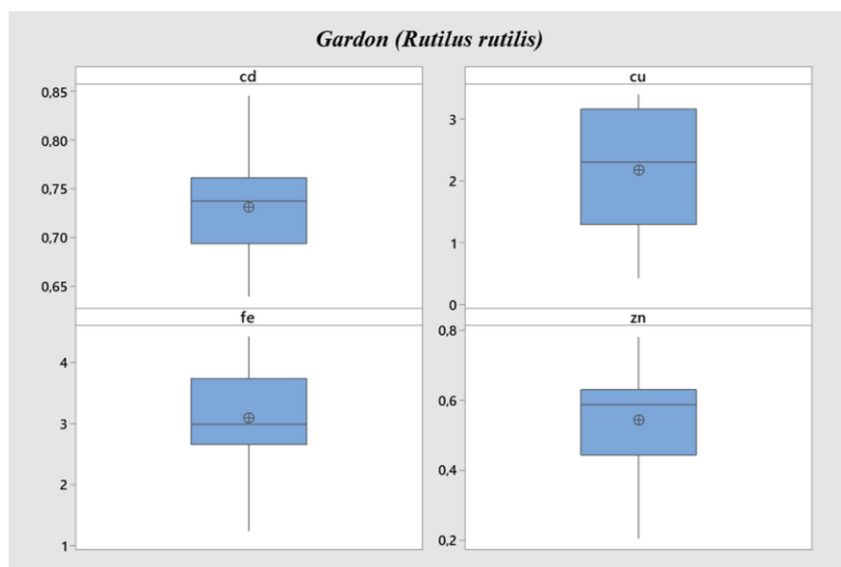


Figure 18 : Teneurs des quatre métaux analysés (en mg/kg d.w) chez le Gardon (*Rutilus rutilus*), dans la station d'étude.

2.1.2. Le Carassin (*Carassius auratus*)

Chez le Carassin (*Carassius auratus*), la concentration moyenne la plus élevée de métaux traces a été enregistrée pour le fer, avec une valeur de 3,41 mg/kg de poids sec. La concentration moyenne la plus faible a été observée pour le zinc, avec une valeur de 0,65 mg/kg de poids sec (figure 19). Le gradient d'accumulation des quatre métaux dans les muscles du Carassin dans notre région d'étude se présente comme suit : Fe > Cu > Cd > Zn. Ces résultats montrent que le fer est le métal le plus accumulé, suivi par le cuivre, le cadmium, et enfin le zinc, indiquant des variations significatives dans les niveaux de contamination métallique.

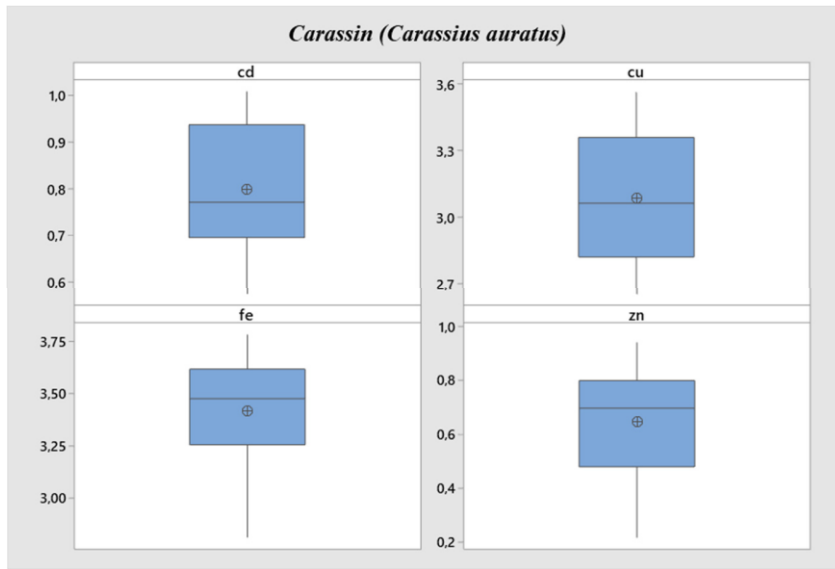


Figure 19 : Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez le Carassin (*Carassius auratus*) dans la station d'étude.

2.1.3. Le Sandre (*Sander lucioperca*)

Chez le Sandre (*Sander lucioperca*), la concentration moyenne la plus élevée de métaux traces a été observée pour le cuivre, atteignant 3,13 mg/kg de poids sec. La concentration moyenne la plus faible a été enregistrée pour le zinc, avec une valeur de 0,91 mg/kg de poids sec (figure 20). Le gradient d'accumulation des quatre métaux dans les muscles du Sandre dans notre région d'étude se présente comme suit : Cu > Fe > Cd > Zn. Ces résultats indiquent une prévalence marquée du cuivre, suivi par le fer, le cadmium, et enfin le zinc, soulignant des différences notables dans les niveaux de contamination métallique.

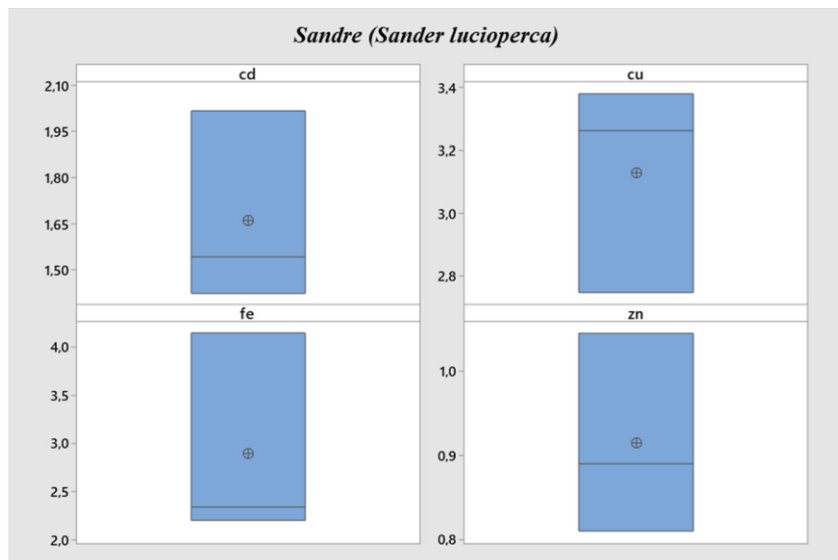


Figure 20 : Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez le Sandre (*Sander lucioperca*) dans la station d'étude.

2.1.4. La Brème (*Abramis brama*)

Chez la Brème (*Abramis brama*), la concentration moyenne la plus élevée de métaux traces a été observée pour le cuivre, atteignant 7,64 mg/kg de poids sec. La concentration moyenne la plus faible a été enregistrée pour le zinc, avec une valeur de 0,78 mg/kg de poids sec (figure 21). Le gradient d'accumulation des quatre métaux dans les muscles de la Brème dans notre région d'étude se présente comme suit : Fe > Cu > Cd > Zn. Ces résultats révèlent une accumulation prédominante de fer, suivie par le cuivre, le cadmium, et enfin le zinc, soulignant les variations dans les niveaux de contamination métallique.

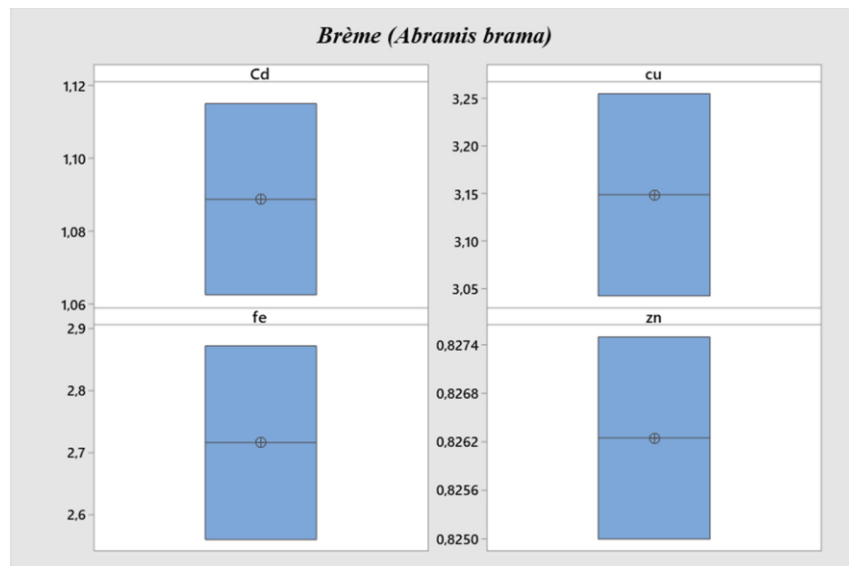


Figure 21. Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez Brème (*Abramis brama*) dans la station d'étude.

3.5. L'Ablette (*Alburnus alburnus*)

Chez l'Ablette (*Alburnus alburnus*), la concentration moyenne la plus élevée de métaux traces a été observée pour le cuivre, atteignant 3,15 mg/kg de poids sec. La concentration moyenne la plus faible a été enregistrée pour le zinc, avec une valeur de 0,82 mg/kg de poids sec (figure 22). Le gradient d'accumulation des quatre métaux dans les muscles de l'Ablette dans notre région d'étude est le suivant : Cu > Fe > Cd > Zn. Ces résultats mettent en évidence une prédominance de l'accumulation de cuivre, suivie par le fer, le cadmium, et enfin le zinc, illustrant des différences significatives dans les niveaux de contamination métallique.

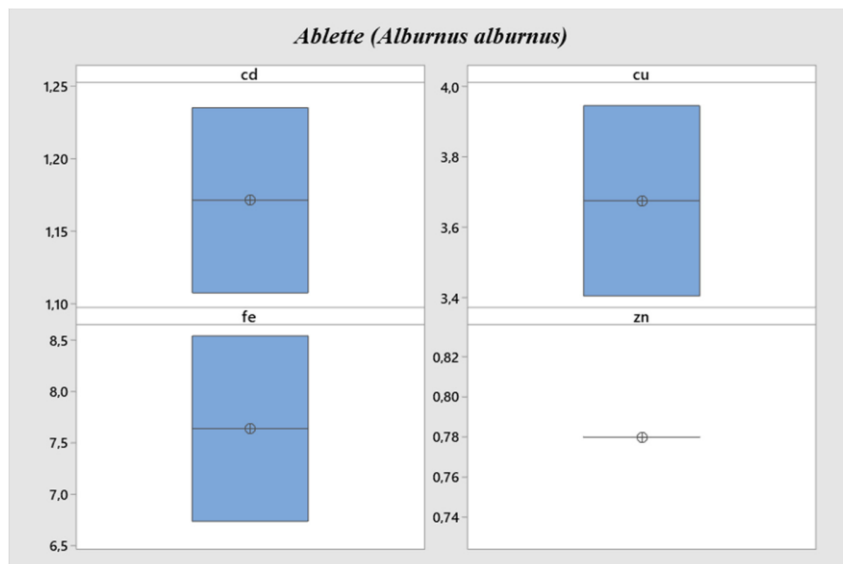


Figure 22. Teneurs des quatre métaux analysés en (mg/kg d.w) chez l'Ablette (*Alburnus alburnus*) dans la station d'étude.

2.2. Variations des concentrations pour chaque métal

2.2.1. Le Cadmium

Les concentrations moyennes de cadmium parmi les cinq espèces de poissons ont varié de 0,73 à 1,66 mg/kg de poids sec. Le Sandre (*Sander lucioperca*) a montré la concentration maximale de cadmium, tandis que le Gardon (*Rutilus rutilus*) affichait la concentration minimale (voir figure 23). Notamment, la concentration en cadmium chez toutes les espèces dans notre site d'étude dépasse largement la norme établie par l'Union Européenne qui est de 50 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (EC, 2014).

Ces observations mettent en évidence une contamination par le cadmium chez les cinq espèces de poissons étudiées, soulignant des risques potentiels pour la santé humaine. La présence de cadmium dans les tissus des poissons, même à des concentrations variables, est préoccupante en raison de ses effets toxiques sur l'organisme humain. L'exposition au cadmium peut entraîner des problèmes de santé graves, tels que des maladies rénales, des troubles osseux et des risques accrus de cancer. Ces résultats indiquent la nécessité d'une surveillance continue et d'une gestion rigoureuse de la qualité de l'eau et des ressources halieutiques pour protéger la santé publique et l'environnement.

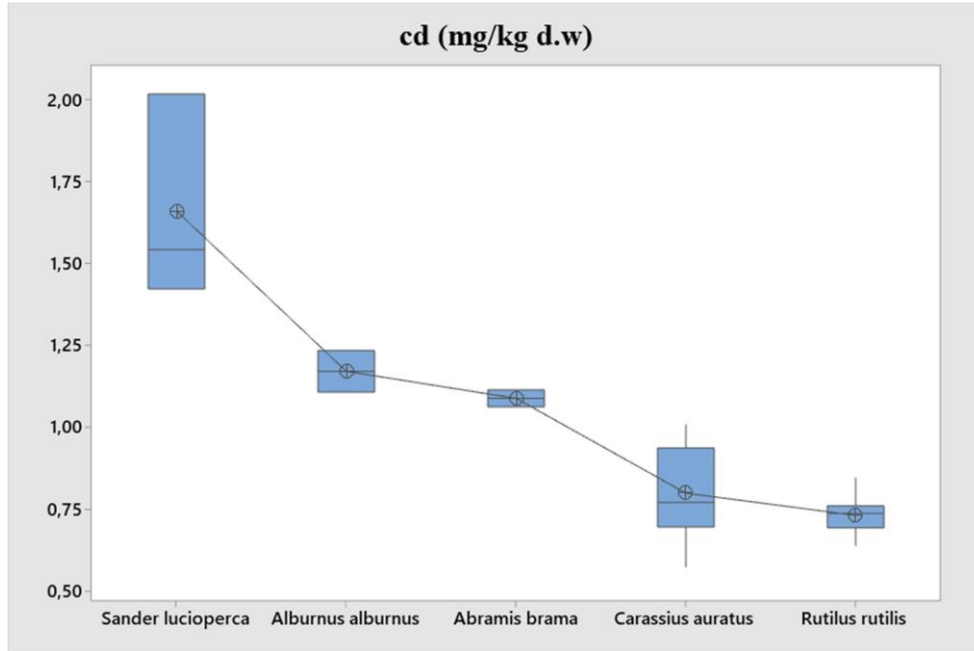


Figure 23: Variabilité des concentrations moyennes de cadmium chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.

2.2.2. Le Cuivre

Les concentrations moyennes de cuivre parmi les cinq espèces de poissons ont varié de 2,18 à 3,66 mg/kg de poids sec (figure 24). La plus haute concentration de cuivre a été observée chez l'Ablette (*Alburnus alburnus*), tandis que la plus basse a été relevée chez le Gardon (*Rutilus rutilus*).

Les concentrations de cuivre (Cu) observées chez toutes les espèces de poissons de notre étude restent en dessous de la dose maximale admissible de 30 mg/kg selon les normes de WHO (1996).

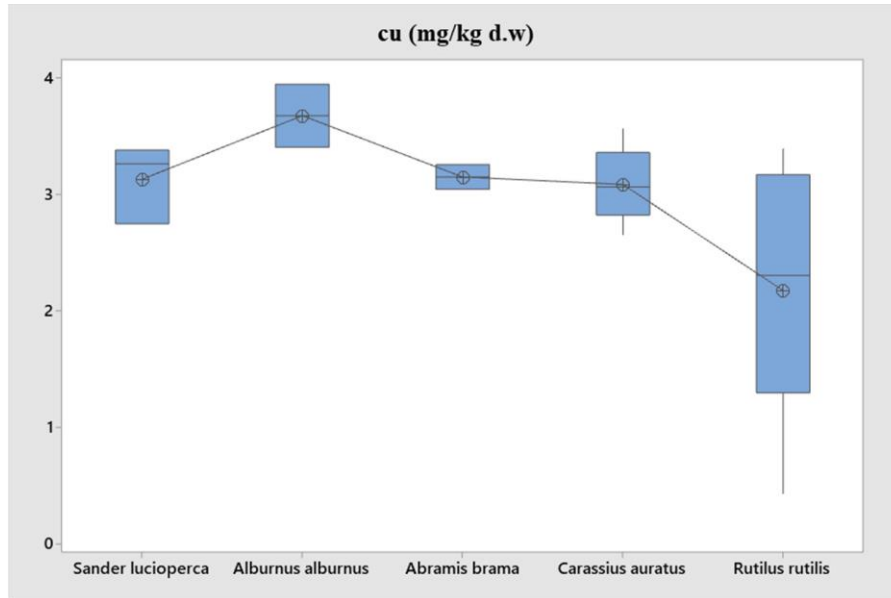


Figure 24: Variabilité des concentrations moyennes de cuivre chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.

2.2.3. Le Fer

Les concentrations moyennes de fer parmi les cinq espèces de poissons variaient de 2,62 à 7,66 mg/kg de poids sec (figure 25). La concentration maximale de fer a été observée chez l'Ablette (*Alburnus alburnus*), tandis que la concentration minimale a été relevée chez la Brème (*Abramis brama*). En ce qui concerne les normes, les concentrations de fer chez toutes les espèces de notre station d'étude restent largement en dessous de la dose maximale admissible de 109 mg/kg selon WHO (1996).

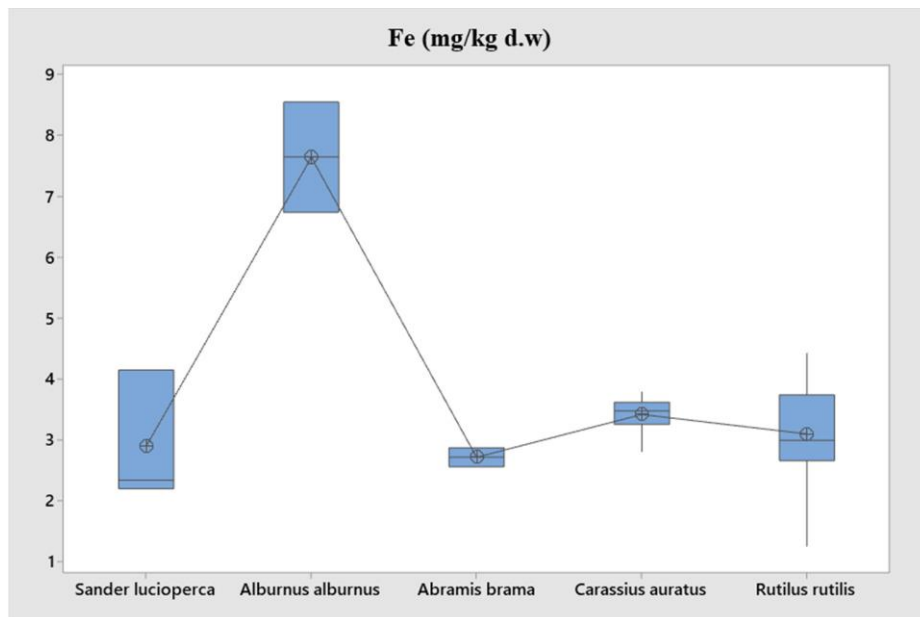


Figure 25: Variabilité des concentrations moyennes du fer chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.

2.2.4. Le Zinc

Les concentrations moyennes de zinc parmi les cinq espèces de poissons variaient de 0,54 à 0,92 mg/kg de poids sec (figure 26). La concentration maximale de zinc a été observée chez le Sandre (*Sander lucioperca*), tandis que la concentration minimale a été relevée chez le Gardon (*Rutilus rutilus*). En ce qui concerne les normes, les concentrations de zinc chez toutes les espèces de notre station d'étude restent en dessous de la dose maximale admissible de 30 mg/kg selon WHO (1996).

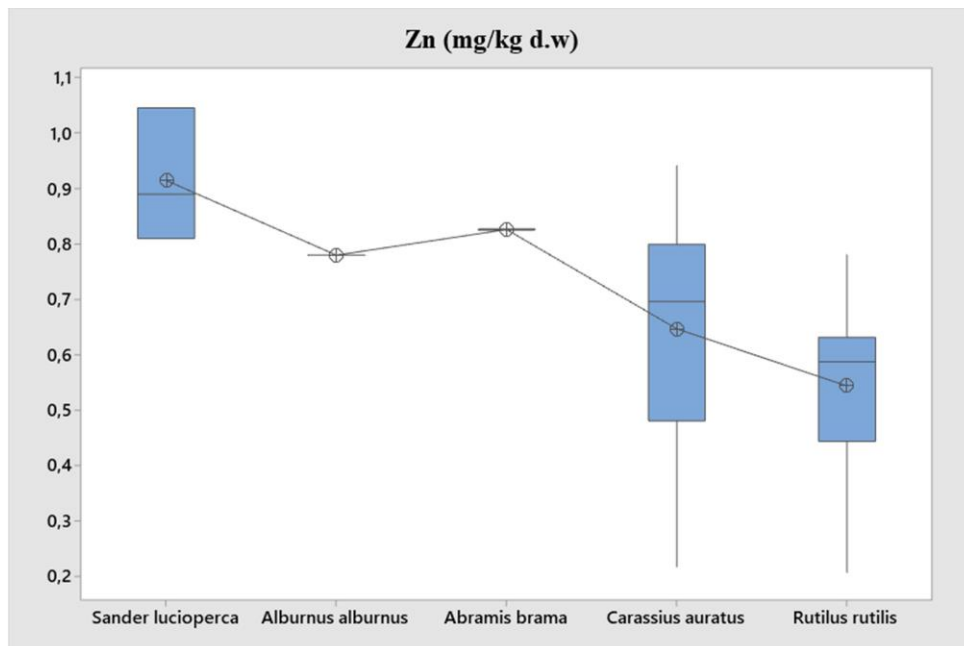


Figure 26: Variabilité des concentrations moyennes du zinc chez les cinq espèces de poissons dans le barrage, exprimées en mg/kg de poids sec.

3. L'indice de pollution métallique (MPI)

L'Indice de Pollution Métallique (IPM) a été calculé à partir des concentrations de métaux lourds dans les espèces de poissons pour évaluer la charge totale de ces métaux dans leurs tissus. L'IPM est largement utilisé comme indicateur du niveau de pollution par les métaux lourds chez les poissons, où une valeur plus élevée indique un degré de contamination plus élevé (Ju et al., 2017). La Brème (*Abramis brama*) a affiché l'IPM le plus élevé, tandis que le Gardon (*Rutilus rutilus*) a montré le plus bas. Les concentrations totales de métaux lourds dans les différentes espèces de poissons suivent l'ordre : Brème > Sandre > Ablette > Carassin > Gardon (voir Tableau 4). Ainsi, le haut IPM de la Brème suggère un risque accru pour la santé publique en raison de la contamination métallique.

Tableau 4. Indice de pollution par les métaux (MPI) des espèces de poissons examinées du barrage Oum Toub à Skikda

Espèce	Indice de pollution par les métaux (MPI)
Sandre (<i>Sander lucioperca</i>)	1.92
Brème (<i>Abramis brama</i>)	2.25
Ablette (<i>Alburnus alburnus</i>)	1.66
Carassin (<i>Carassius auratus</i>)	1.52
Gardon (<i>Rutilus rutilus</i>)	1.26

Discussion

Les résultats de notre étude révèlent la présence des métaux lourds (Zn, Cu, Fe, et Cd) dans les muscles des espèces de poissons *Rutilus rutilus*, *Sander lucioperca*, *Carassius auratus*, *Abramis brama*, et *Alburnus alburnus*. Les valeurs de bioaccumulation des métaux analysés indiquent des différences significatives entre les cinq espèces présentes dans le barrage Oum Toub à Skikda. Ces variations dans les niveaux de métaux lourds soulignent l'importance de surveiller et de gérer la contamination métallique pour protéger l'écosystème aquatique et la santé des populations locales.

Le fer, le cuivre et le zinc sont des oligo-éléments essentiels pour les organismes aquatiques, car ils jouent des rôles cruciaux dans divers processus métaboliques. En revanche, le cadmium n'a aucun rôle physiologique connu et est extrêmement toxique même à des concentrations infimes. La toxicité des métaux, en général, dépend des concentrations et de la forme physicochimique de ces éléments, influençant leur absorption et leurs effets biologiques sur les organismes aquatiques.

Les résultats d'analyses toxicologiques des poissons étudiés ont révélé la présence de cadmium (Cd) à des concentrations assez importantes; ces concentrations oscillent entre 0,73 et 1,66 mg/kg. En Comparaison avec l'étude de **Bat et al. (2015)**, Bat et ses collègues ont étudié les concentrations de métaux lourds, y compris le cadmium, dans différentes espèces de poissons de la mer Noire. Ils ont trouvé que les concentrations de Cd dans les muscles des poissons variaient entre 0,01 et 0,1 mg/kg. En comparaison, nos résultats montrent des concentrations de Cd significativement plus élevées, allant de 0,73 à 1,66 mg/kg, indiquant une contamination plus importante dans les poissons du barrage Oum Toub à Skikda.

En Algérie, (**Khelfaoui et al., 2012**). ont analysé les concentrations de métaux lourds dans les muscles de poissons du lac Fetzara. Les niveaux de Cd signalés dans leurs échantillons de poissons variaient de 0,02 à 0,15 mg/kg. Nos résultats montrent des concentrations de Cd beaucoup plus élevées (0,73 à 1,66 mg/kg), indiquant une contamination plus significative dans le barrage Oum Toub. (**Reggam et al., 2015**) ont étudié la contamination par les métaux lourds des poissons dans la rivière Seybouse. Les concentrations de Cd dans les poissons variaient de 0,05 à 0,3 mg/kg. En comparaison, vos valeurs de Cd sont considérablement plus élevées, soulignant une pollution plus intense dans votre zone d'étude. **Taleb et al. (2009)** ont examiné

les niveaux de métaux lourds, y compris le cadmium, dans les poissons du barrage de Beni Haroun. Les concentrations de Cd observées étaient de 0,01 à 0,25 mg/kg. Encore une fois, vos résultats dépassent largement ces valeurs, suggérant des sources de contamination spécifiques au barrage Oum Toub. **Kamel et al. (2015)** ont mesuré les concentrations de Cd dans les poissons du lac Timgad. Les valeurs signalées étaient de 0,03 à 0,2 mg/kg. Les niveaux de Cd dans vos échantillons (0,73 à 1,66 mg/kg) sont nettement plus élevés, ce qui pourrait indiquer des conditions environnementales particulières ou des sources de pollution locales.

Les concentrations de cadmium observées dans nos échantillons de poissons du barrage Oum Toub sont significativement plus élevées que celles rapportées dans d'autres études similaires en Algérie. Ces différences peuvent être attribuées à plusieurs facteurs :

- Sources de Pollution Locale: Il est possible que le barrage Oum Toub soit exposé à des sources de pollution spécifiques, telles que les rejets urbains, les activités agricoles et les ruissellements minier, qui contribuent à des niveaux plus élevés de Cd.

- Conditions Environnementales: Les conditions physicochimiques locales de l'eau, comme le pH, la salinité, et la présence de matières organiques, peuvent influencer la bioaccumulation du Cd dans les poissons.

- Variabilité des Espèces: Différentes espèces de poissons peuvent avoir des capacités de bioaccumulation variées, et les différences dans les régimes alimentaires et les habitats peuvent également jouer un rôle.

En ce qui concerne l'Indice de Pollution par les Métaux (IPM) des espèces de poissons du barrage Oum Toub à Skikda. Nos résultats du Sandre (1.92), la Brème (2.25) et l'Ablette (1.66) du barrage Oum Toub montrent des IPM plus élevés par rapport à l'étude de **Khelfaoui et al., (2012)** dans le Lac Fetzara, sur les espèces: *Cyprinus carpio*, *Barbus callensis*, *Silurus glanis*, indiquant une pollution métallique plus prononcée. Pour le Carassin (1.52) et le Gardon (1.26), les IPM sont similaires à ceux des poissons du lac Fetzara.

Les IPM du Sandre (1.92) et de la Brème (2.25) sont plus élevés par rapport aux résultats de (**Reggam et al., 2015**) dans la rivière Seybouse ce qui suggère une pollution par les métaux plus intense dans le barrage Oum Toub. Pour l'Ablette (1.66), il présente un IPM similaire à celui de *Anguilla anguilla* de la rivière Seybouse.

Pour l'Étude de **Taleb et al. (2009)** sur le Barrage de Beni Haroun, le Sandre (1.92), la Brème (2.25) et l'Ablette (1.66) ont des IPM plus élevés par rapport aux *Labeobarbus callipterus*

et *Salmo trutta*, indiquant une pollution plus forte. Le Carassin (1.52) et le Gardon (1.26) ont des IPM légèrement plus élevés ou similaires.

Les résultats de notre étude révèlent des IPM généralement plus élevés pour les espèces de poissons du barrage Oum Toub par rapport à ceux des autres études en Algérie. Cela peut être attribué à plusieurs facteurs : Sources de Pollution Locale, Environnement Spécifique et aussi la variabilité des Espèces.

CONCLUSION

L'étude réalisée sur les espèces de poissons du barrage Oum Toub à Skikda a révélé des concentrations significatives de métaux lourds (Zn, Cu, Fe, et Cd) dans les muscles de *Rutilus rutilus*, *Sander lucioperca*, *Carassius auratus*, *Abramis brama*, et *Alburnus alburnus*. Les résultats montrent que les niveaux de cadmium oscillent entre 0,73 et 1,66 mg/kg, des valeurs qui dépassent largement celles observées dans d'autres études menées en Algérie, indiquant une contamination notable de l'environnement aquatique de cette région.

Les indices de pollution par les métaux (IPM) calculés pour les différentes espèces révèlent également des niveaux de pollution variés. La Brème (*Abramis brama*) affiche l'IPM le plus élevé à 2,25, suivie du Sandre (*Sander lucioperca*) à 1.92, de l'Ablette (*Alburnus alburnus*) à 1.66, du Carassin (*Carassius auratus*) à 1.52, et du Gardon (*Rutilus rutilus*) à 1.26. Ces résultats suggèrent que la Brème est particulièrement vulnérable à la bioaccumulation des métaux lourds, représentant ainsi un risque plus élevé pour la santé publique en cas de consommation.

La comparaison avec d'autres études menées sur les poissons d'eau douce en Algérie montre que les concentrations de cadmium et les IPM des poissons du barrage Oum Toub sont significativement plus élevés. Ces différences peuvent être attribuées à des sources locales de pollution, telles que les rejets industriels, les activités agricoles, et les ruissellements urbains, ainsi qu'à des conditions environnementales spécifiques qui favorisent la bioaccumulation des métaux lourds.

En conclusion, cette étude met en évidence une contamination préoccupante par les métaux lourds dans les poissons du barrage Oum Toub, soulignant la nécessité d'une surveillance environnementale rigoureuse et de stratégies de gestion pour réduire l'exposition aux métaux toxiques. Des mesures doivent être prises pour identifier et contrôler les sources de pollution afin de protéger la santé des écosystèmes aquatiques et des populations locales. La mise en place de programmes de sensibilisation et d'éducation environnementale est également essentielle pour promouvoir des pratiques durables et réduire les impacts de la pollution métallique sur l'environnement et la santé humaine.

Perspectives pour des Travaux Futures

Études Longitudinales: Il serait pertinent de mener des études longitudinales pour surveiller les variations saisonnières et annuelles des concentrations de métaux lourds dans les poissons du barrage Oum Toub. Cela permettrait de comprendre les tendances à long terme de la contamination et d'identifier les périodes de risque accru.

Élargissement de l'Échantillonnage: Augmenter le nombre et la diversité des sites d'échantillonnage autour du barrage pour obtenir une vue d'ensemble plus complète de la distribution des métaux lourds. Inclure des échantillons d'eau, de sédiments et de végétation aquatique pour une évaluation holistique de l'écosystème.

Évaluation de l'Impact sur la Santé Humaine: Réaliser des études épidémiologiques pour évaluer l'impact de la consommation de poissons contaminés sur la santé des populations locales. Cela inclut l'analyse de l'exposition au cadmium et à d'autres métaux lourds par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

Analyse des Sources de Pollution: Identifier et quantifier les sources potentielles de pollution métallique autour du barrage, telles que les activités industrielles, agricoles et domestiques. Utiliser des techniques de traçage isotopique pour différencier les contributions des diverses sources.

Recherche sur les Méthodes de Décontamination: Explorer des méthodes de bioremédiation et de phytoremédiation pour réduire les niveaux de métaux lourds dans l'eau et les sédiments du barrage. Cela inclut l'utilisation de plantes et de microorganismes capables de bioaccumuler ou de dégrader les métaux toxiques.

Études Comparatives: Comparer les niveaux de contamination et les effets écotoxicologiques dans d'autres barrages et plans d'eau similaires en Algérie et dans d'autres régions pour situer le barrage Oum Toub dans un contexte plus large et identifier des modèles de contamination régionale.

Sensibilisation et Éducation: Développer des programmes de sensibilisation pour informer les communautés locales des risques associés à la contamination par les métaux lourds et promouvoir des pratiques de pêche et de consommation plus sûres.

Développement de Politiques Environnementales: Collaborer avec les autorités locales et nationales pour élaborer et mettre en œuvre des politiques environnementales visant à réduire

les émissions de métaux lourds et à protéger les ressources en eau. Cela peut inclure des réglementations plus strictes sur les rejets industriels et agricoles.

Technologies Innovantes de Détection: Investir dans le développement et l'application de technologies innovantes de détection et de surveillance des métaux lourds, telles que les capteurs en temps réel et les drones équipés de dispositifs de mesure.

Ces perspectives peuvent guider les recherches futures et les actions de gestion pour mieux comprendre et atténuer les impacts des métaux lourds dans le barrage Oum Toub et les écosystèmes aquatiques similaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdel-Khalek, A.A., Elhaddad, E., Mamdouh, S., & Marie, M.-A.S. (2016). Assessment of metal pollution around sabal drainage in River Nile and its impacts on bioaccumulation level, metals correlation and human risk hazard using *Oreochromis niloticus* as a bioindicator. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 16, 227–239.

Ademola, O., Balgobind, A., & Pillay, B. (2013). Bioavailability of Heavy Metals in Soil: Impact on Microbial Biodegradation of Organic Compounds and Possible Improvement Strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 10197-10228. <https://doi.org/10.3390/ijms140510197>

Afnor. (1988). Prélèvement et dosage du plomb dans les aérosols. Paris-La Défense.

Arriss. (2008). Étude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous produits de céréale (Doctoral dissertation, Université de Constantine, Algérie).

ATSDR. (1990). Toxicological profiles for copper. Agency for toxic substances and disease registry, Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Public Health Services.

Belaifa, B. (2011). Contribution à l'étude du régime alimentaire du sandre, *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758), dans trois systèmes lacustres algériens (W. Boumerdès, Skikda et Ain Defla) (Doctoral dissertation, Alger).

Benguedda-Rahhal, W. (2012). Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien (Doctoral dissertation, Université de Tlemcen, Algérie).

Borchardt, T. (1985). Relationship between carbon and cadmium uptake in *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 85.

Bosinco, S., Roussy, J., & Guibal, E. (1996). Interaction mechanisms between hexavalent chromium and corn cob. *Environmental Technology*, 17, 55-60.

Boudin, N. (2005). Contamination des crustacés décapodes par les composés organohalogénés: Étude détaillée de la bioaccumulation des PCB chez l'araignée de mer *Maja Brachudactyla* (Doctoral dissertation, Université de Bretagne Occidentale, France).

Bourrelier, P.H., & Berthelin, J. (1998). Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Rapport n°42, Académie des Sciences. (Ed). Lavoisier.

Bruslé, J., & Quignard, J.P. (2001). Biologie des poissons d'eau douce européens. *Technique et documentation*.

Dameron, C., & Howe, P.D. (1998). Copper Environmental Health criteria n° 200. Genève, World Health Organization.

EC. (2014). No 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) no 1881/2006 as regards the maximum levels for cadmium in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, L 138/75.

EFSA. (2006). Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. Scientific Committee on Food, Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies, European Food Safety Authority.

Emma, T. (2020). Ecological and recreational interactions of the native pike *Esox lucius* and the invasive pikeperch *Sander lucioperca* in England.

Godeaux, J., & Voss, J. (1985). La recherche océanographique en Belgique francophone. Université de Liège, Belgique.

Godin, J. (2005). Les espèces animales invasives des milieux aquatiques et humides du Bassin Artois-Picardie. Agence de l'eau Artois-Picardie.

Gonzalez, J.L., Chiffolleau, J.F., Miramand, P., & Thouvenin, B. (1999). Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire. Programme scientifique Seine Aval, Editions Ifremer, Plouzané, France.

Hurbur Jr., & Klein, C. (1982). Manuel de minéralogie de Dana. Editorial Revert, Barcelona.

INERIS. (2010). Données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : mercure et dérivés, DRC-10-109974-00926A.

Jankauskienė, R., & Jenciūtė, A. (2007). Diurnal feeding rhythm of the bleak (*Alburnus alburnus*, L.) Fry (O+). Klaipėda University. *Ekologija*, 53(4), 44-51.

Ju, Y.-R., Chen, C.-W., Chen, C.-F., Chuang, X.-Y., & Dong, C.-D. (2017). Assessment of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwan and human consumption risk. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 124, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.04.003>

Keith, P., & Allardi, J. (2001). Atlas des poissons d'eau douce de France. Patrimoines Naturels, 47.

Khelifi, N., Boucenna, I., Boulleg, C., Kaouachi, N., Sahtout, A.F., & Bensouillah, M. (2018). Etude de la croissance du carassin commun *Carassius carassius* (LINNAEUS, 1758) du barrage Beni Haroun (Mila, Algérie). *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 143(4), 213-226.

Khelfaoui, H., Chaffai H., Hani, A., et Laouar, R. (2012). Impacts des rejets industriels sur les eaux de la région de Berrahal (Nord Est Algérien). *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 25 : 71- 81

Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol, Switzerland.

Kumar, P., & Dara, S. (1980). Removal of toxic heavy metal ions from waste waters using modified agricultural waste materials. *Progress in Water Technology*, 13, 353-361.

Main Uddin, M., Cassim, M., Zakeel, M., Zavahir, J.S., Faiz, M.M., Marikar, F., & Jahan, I. (2021). Heavy Metal Accumulation in Rice and Aquatic Plants Used as Human Food: A General Review. *Toxics*, 9(12), 360. <https://doi.org/10.3390/toxics9120360>

Md Shahidul, I., & Masaru, T. (2004). Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: A review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 624-649. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.004>

Nicolas, P. (2004). Le sandre (*Sander lucioperca*) : Biologie, comportement et dynamique des populations en Camargue (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III, France).

Olsen, K.H. (2006). Endocrine and milt responses of male crucian carp to preovulatory female under field condition. *Journal of Fish Biology*, 149, 294-302.

Ouro-Sama, K., Solitoke, H.D., Gnandi, K., Afiademanyo, K., & Bowessidjaou, E.J. (2014). Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *Vertigo*, 14(2).

Pape, T., Blagoderov, V., & Mostovski, M.B. (2011). Order Diptera Linnaeus, 1758. In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, 3148(1), 222-229.

Raicu, P., Taisescu, E., & Bănărescu, P. (1981). *Carassius carassius* and *C. auratus*, a pair of diploid and tetraploid representative species (Pisces, Cyprinidae). *Cytologia*, 46, 233-241.

Rainbow, P.S. (2007). The biology of heavy metals in the sea. *International Journal of Environmental Studies*, 25(3), 195–211. <https://doi.org/10.1080/00207238508710225>

Ramade, F. (1982). Éléments d'écologie, écologie appliquée. Megraw-Hill, 452.

Rasouli, S., Nekuifard, A., Azadikhah, D., Ahari, H., Anvar, A.A., Khodadadi, A., & Ghasemi, A. (2012). Ectoparasite infection of *Carassius carassius* in water resources of West Azerbaijan, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 11(4), 156-161.

Reggam, A., Bouchelaghem, E.H., Houhamdi, M. (2015). Physico-chemical quality of the waters of the Oued Seybouse (Northeastern Algeria): Characterization and Principal Component Analysis. *Journal of Materials and Environmental Sciences* 6(5):1417-1425

Remade, F. (1979). *Écotoxicologie*. Ed. Masson, France.

Rinchard, J., & Kestemon, T. (1996). Comparative study of reproductive biology in single and multiple spawner cyprinid fish. Morphological and histological features. *Journal of Fish Biology*, 49, 883-894.

Scott, G.R., & Sloman, K.A. (2004). The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. *Aquatic Toxicology*, 68(4), 369-392. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2004.03.016>

Seiler, C., & Berendonk, T.U. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 3, 1-10.

Sirven, J.B. (2006). Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (Doctoral dissertation, Université Bordeaux 1, France).

Spillmann, C.J. (1961). *Faune de France: poissons d'eau douce*. Éditions Chevalier, Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles, Paris.

Usero, J., Morillo, J., & Gracia, I. (2005). Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chemosphere*, 59, 1175–1181. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.089>

Thomazeau, R. (1981). *Station d'épuration, eaux potables-eaux usées: précis théoriques et techniques*.

Weiss, D., Shoty, W., & Kempf, O. (1999). Archives of Atmospheric Lead Pollution. *Naturwissenschaften*. Mémoire de magister de l'université de Tlemcen-Algérie.

WHO. (1996). *Health Criteria Other Supporting Information, Guidelines for Drinking Water Quality* (2nd ed.). Geneva, Switzerland: WHO.

Xianwen, W. (1964). *Ichthyography of Cyprinidae in China (Lower Volume)*. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai, China.

Zamani, A.A., Yaftian, M.R., & Parizanganeh, A. (2012). Multivariate statistical assessment of heavy metal pollution sources of groundwater around a lead and zinc plant. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 9(1).