

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de L'environnement
Spécialité : Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Impact potentiel de polluants marins sur
les stocks de poissons à l'Est de Béjaia**

Présenté par :

Boumezirene Thinhinane & Boudei lamia

Soutenues le : **30 / 09 / 2021**

Devant le jury composé de :

Mme. MANKOU N
Mlle. ABDELLI M
M. MOUSSAOUI R

MCA
MCB
MCB

Présidente
Examinatrice
Promoteur

Année universitaire : 2020/ 2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience pour mener à bout ce modeste travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de monsieur Moussaoui Rabia, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel mais aussi sa patience et sa disponibilité durant le travail de préparation de ce mémoire.

Nous remercions Mlle ABDELLI Meriem d'avoir accepté d'examiner notre travail et de contribuer à l'amélioration de sa qualité.

Nous remercions aussi Mme MANKOU Nadia d'avoir accepté de présider le jury de notre soutenance.

Nos remerciements vont aussi à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et répondu à nos questions.

Dédicaces

À mon père et ma mère

*Qui ont consacrés leur noble existence à bâtir la mienne.
Je leur témoigne ici mon éternelle reconnaissance et ma profonde
affection !*

*Que dieu le tout puissant les protège et leur prête une
longue et heureuse vie!*

À ma chère sœur ma petite princesse Sara !

À mon cher et unique frère Ghilas !

À toute ma famille paternelle et maternelle !

À ma binôme Lamia et sa famille !

*À ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration
de ce modeste travail!*

Thinhinane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À tous ceux qui me sont
chers !*

*À mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et
qui m'ont tout donné. Je souhaite qu'ils trouvent dans ce
travail toute ma reconnaissance et tout mon amour!*

*À mon frère Khaled et sa femme
Abla !*

*À mon frère Amir et sa femme
Khadija!*

À mes neveux Anes et Iyad !

À mon futur mari ainsi qu'à sa famille !

À ma grand-mère !

À ma binôme Thinhinane ainsi sa famille !

À mes amies

Nadjet, Rima, Massisiliya, et Fouzia !

À toute ma famille !

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin !

Lamia

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
Chapitre I. Pollution des milieux marins	
I.1 Causes et sources de la pollution marine	3
I.1.1 Sources continentales	3
I.1.2 Déversements d'hydrocarbures	3
I.1.3 Démolition des navires	3
I.1.4 Rejet d'eau de ballast	4
I.1.5 Les eaux usées	4
I.1.6 Sacs en plastique/polyéthylène	5
I.1.7 L'industrialisation et les déchets industriels	5
I.1.8 Croissance démographique et urbanisation	5
I.2 Effets de la pollution sur les organismes marins	6
I.2.1 Rejets des eaux usées	6
I.2.2 Pollution sonore	6
I.2.3 Débris microplastiques	6
I.2.4 Pollution aux hydrocarbures	7
I.3 Bio surveillance de la qualité de l'environnement	7
I.3.1 La bioindication	8
I.3.2 La biointégration	8
I.3.3 La bioaccumulation	8
I.3.4 Utilisation de biomarqueurs	8
Chapitre II. Les éléments traces et les microplastiques comme de potentiels contaminants marins	
II.1 Éléments traces métalliques ou métaux lourds	9
II.1.1 Définition	9
II.1.2 Sources d'émission	9
II.1.2.1 Sources naturelles	9
II.1.2.1a Gisements de métaux lourds	9
II.1.2.1b Passage du minerai au contaminant	9

II.1.2.2 Les sources anthropiques	10
II.1.3 Importance et toxicité des métaux lourds	11
II.1.3.1 Métaux essentiels	11
II.1.3.2 Métaux non essentiels	11
II.1.4 Spécificité de la pollution par les métaux lourds	11
II.1.5 Exemples d'éléments traces potentiellement toxiques	12
II.1.5.1 Plomb	12
II.1.5.1a Propriétés du métal	12
II.1.5.1b Effets du plomb sur l'environnement	13
II.1.5.2 Cadmium	14
II.1.5.2a Propriétés du métal	14
II.1.5.2b Effets sur les organismes vivants	14
II.1.5.3 Le Zinc	15
II.1.5.3a Propriétés du métal	15
II.1.5.3b Impact sur l'environnement	15
II.2 Les microplastiques	16
II.2.1 Définition	16
II.2.2 Les sources et origines des microplastiques	17
II.2.2.1 Les microplastiques primaires	17
II.2.2.2 Les microplastiques secondaires	18
II.2.3 Le devenir des microplastiques dans l'environnement	19
II.3.2.1 La répartition des MP dans le temps et l'espace	19
II.3.2.2 Décomposition et durabilité des plastiques dans les eaux douces	20
II.4.2 Les risques induits par les microplastiques	21
II.4.2.1 Les effets physiques	22
II.4.2.2 Les effets chimiques	22
Chapitre III. Matériel et méthodes	
III.1 La zone d'étude	24
III.2 Espèces d'intérêt biologique	24
III.3 Matériel utilisé	25
III.3.1 Produits chimiques	25
III.3.2 Verreries de laboratoire	25
III.3.3 Appareils et matériel de payasse	26

III.4 Traitements des échantillons	26
III.4.1 Étude biométrique	26
III.4.2 Dissection des poissons	27
III.4.3 Séchage des poissons éviscérés	28
III.4.4 Homogénéisation	28
III.5 Évaluation de la pollution métallique (Cd, Pb, et Zn) dans les tissus des poissons	28
III.5.1 La minéralisation	29
III.5.2 La filtration	30
III.5.3 Le dosage	30
III.5.3.1 Principe général de la SAA	30
III.5.3.2 Étalonnage	31
III.5.3.3 Calcul et expression des résultats	31
III.6 Évaluation de la pollution aux microplastiques chez les poissons	31
Chapitre IV. Résultats et discussion	
IV.1 Résultats obtenus	33
IV.1.1 Taille et poids des poissons	33
IV.1.2 Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons	33
IV.1.3 Particules de plastique dans les tractus gastro-intestinaux des poissons	35
IV.2 Discussion et interprétation des résultats	38
IV.2.1 Des poissons remarquablement réduits en poids et en taille	38
IV.2.2 Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons	38
IV.2.3 Particules de plastique dans les tractus gastro-intestinaux des poissons	39
Conclusion	41
Références bibliographiques	42
Résumé (français, anglais)	

Liste des abréviations

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

DMA : Doses Maximales Admissibles

ETM : Élément Trace Métallique

FTIR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

GESAMP: Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

LCPE : Loi Canadienne sur la Protection de l'Environnement

MP : Microplastiques

PCB : Polychlorobiphényles

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Pops : Polluant Organique Persistant

PVC : Polychlorure de vinyle

SAA : Spectroscopie à Absorption Atomique

STEP : Station d'épuration des eaux usées

TBT : Tributylétain

µm : micromètre

UV : Rayons ultraviolets

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Fig. 1	Cycle géochimique simplifié des métaux lourds	10
Fig. 2	Schéma des catégories des particules de plastiques selon leur taille	16
Fig. 3	Les microplastiques primaires récupérés dans un milieu aquatique	18
Fig. 4	Les microplastiques secondaire récupérés dans un environnement aquatique	19
Fig. 5	Facteurs responsables de la biodégradation des polymères composants la matière Plastique	21
Fig. 6	Sites de capture des espèces de poissons sur le littoral Est de Bejaia	25
Fig. 7	Paramètres biométriques étudiés : poids et taille des poissons	27
Fig. 8	Opération de dissection des poissons	27
Fig. 9	Séchage d'échantillons de poissons éviscérés dans l'étuve	28
Fig. 10	Corps éviscérés des poissons réduits en poudre au moyen d'un broyeur	28
Fig. 11	Procédé de minéralisation par la méthode de digestion acide (schéma explicatif)	29
Fig. 12	Filtration du minéralisa obtenu à l'issue de l'étape de minéralisation	30
Fig. 13	Solutions obtenues après filtration conservées dans des tubes à essais étiquetés	30
Fig. 14	Schéma du protocole expérimental adopté	32
Fig. 15	Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons	34
Fig. 16a	Photographies microscopiques de ce qui est supposé être des microplastiques	35
Fig. 16b	Photographies microscopiques de ce qui est supposé être des microplastiques	36

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tab. I	Sources industrielles et agricoles des métaux lourds présents dans l'environnement	11
Tab. II	Nombre d'individus de poissons par site de capture	25
Tab. III	Tailles (L) et poids (P) des spécimens de Sardine et d'Anchois échantillonnés	33
Tab. IV	Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons échantillonnés	34
Tab. V	Nombre d'entités supposées de microplastiques détectées dans les voies digestives des espèces de poissons échantillonnées	36
Tab. VI	Formes de particules supposées de plastique observées pour chaque espèce de poissons	37
Tab. VII	Couleurs de particules supposées de plastique observées pour chaque espèce de poissons	37
Tab. VIII	Concentrations d'ETM retrouvées dans les tissus des poissons échantillonnés comparées aux doses maximales admissibles (DMA)	39

Introduction

Il est devenu de plus en plus évident au cours des deux dernières décennies que les milieux marins représentent le type d'écosystème le plus menacé de la planète. Ce type d'écosystème fait plus que tout autre dans la biosphère, l'objet de la pire surexploitation de ses ressources biologiques et est victime de bien d'autres causes de dégradation anthropique (**Cabral et al.,2019**).

Effectivement, le milieu marin est en permanence victime de toutes les causes de dégradation anthropogéniques imaginables et qui existent à l'heure actuelle. Essentiellement, les causes de dégradation des milieux marins proviennent d'une urbanisation anarchique et, dans les pays en développement, de l'explosion démographique qui draine de plus en plus la population en surnombre vers les zones côtières qui offrent plus d'opportunités d'emplois. Enfin diverses interventions humaines dans les bassins versant sont comme conséquences à long terme un accroissement de la turbidité et de l'envasement par suite de l'apport de sédiments terrigènes dus à l'érosion des sols causée par le déboisement accéléré de ces bassins versants et par absence de rigueur dans la gestion des rejets domestiques (**Jindall & Kumar,2020**).

Par ailleurs, les milieux marins reçoivent les rejets de polluants contenus dans les eaux fluviales, estuariennes et lagunaires et ceux en provenance des émissaires d'égouts industriels et urbains, ainsi que les apports telluriques de polluants par suite de l'érosion des terres cultivées situées en zone côtière, qui introduisent des engrais et des pesticides. Les rejets marins de nutriments et ceux d'effluents domestiques provenant des infrastructures touristiques et des villes côtières, chargés de matières organiques fermentescibles, constituent aujourd'hui une importante source ubiquiste de pollution des écosystèmes marins côtiers. Ils sont en outre exposés de façon accidentelle ou chronique aux hydrocarbures par suite de l'exploitation pétrolière (marées noires, accidents sur des puits off shore) et éventuellement à de redoutables pollutions chimiques consécutives aux naufrages de tankers et autres chimiquiers, ainsi qu'à une contamination insidieuse due aux pollutions diffuses par des polluants organiques persistants. Enfin, partout dans le monde, les mers et les océans subissent les effets du réchauffement des eaux de surface consécutif aux changements climatiques globaux, les quels résultent de l'accroissement de la pollution atmosphérique par des gaz à effet de serre, et bien que pour l'instant le risque soit moins imminent par l'accroissement du flux UV en surface de l'océan en raison du rejet de molécules organo halogénées dégradant l'ozone stratosphérique (**Hartley et al.,2018**).

En conséquence, par suite du cumul de ces diverses causes de dégradations anthropiques, les écosystèmes marins seraient affectés à des degrés différents, allant d'écosystème dégradé à l'extrêmement dégradé ; des écosystèmes en danger d'altération à long terme et des écosystèmes en risque immédiat d'altération (**Compa et al.,2019**).

La situation est particulièrement désastreuse en méditerranée où la conjonction de ces pollutions atteint son maximum. La Méditerranée est un déversoir avec 184 millions de tonnes de déchets solides sont produits tous les ans sur son pourtour. D'après le rapport 2020 du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), la Méditerranée est l'une des régions du monde les plus touchées par les déchets marins en raison de l'augmentation de l'utilisation des plastiques, de l'absence de recyclage, des modes de consommation non durable, d'une gestion inadaptée et inefficace des déchets, des fortes pressions du tourisme et du transport maritime, associés à des transports fluviaux importants (**Bachari, 2017**).

L'importance relative des conséquences néfastes résultant de ces diverses causes de détérioration des écosystèmes marins est aujourd'hui encore mal évaluée en Méditerranée. Certes l'impact de la surpêche et de certains types de pollution sur les stocks halieutiques est relativement bien connu. Il en est de même de celui du réchauffement des eaux dû au réchauffement climatique (**Hamedi Siad, 2017**). En revanche, l'importance de la pollution marine par les rejets industriels et les microplastiques notamment, et ses conséquences sur la diminution drastique des stocks de populations méditerranéennes tendant surtout à s'accélérer ces dernières années (**Maynou, 2020**), demeurent quoique évoquées régulièrement dans la littérature peu documentées. Dans ce travail nous évaluons la pollution aux métaux lourds et aux microplastiques, deux stressseurs reconnus (**Diop, 2019 ; Hermabessiere, 2018**) qui seraient aussi potentiellement impliqués dans la diminution des stocks de poissons constatée ces dernières années en Méditerranée, notamment dans les régions du pourtour méditerranéen trop sollicitées par des rejets industriels importants et une forte propagation des microplastiques comme Béjaia.

I.1.1 Sources continentales

La principale cause de la pollution de l'environnement marin vient surtout du continent, où les zones industrielles et les zones résidentielles surpeuplées demeurent en accroissement. Cette quantité de déchets représentait environ 70 % des déchets marins. L'Algérie compte actuellement plus de 280 zones industrielles avec plus de 550 000 m³ d'eaux usées générées par jour et dont seulement 5 % seraient dotées des systèmes de traitement des eaux usées. Et cela bien-sûr sans oublier les usines et les entreprises qui produisent quotidiennement des dispositifs médicaux et génèrent quotidiennement plus de 47 tonnes de déchets dangereux et 125 000 m³ d'eaux usées médicales. La plupart de ces eaux usées ne peuvent pas être traitées et sont rejetées directement dans la mer ou dans les grands fleuves se connectant à la mer **(Kaci,2017)**.

I.1.2 Déversements d'hydrocarbures

Le transport du pétrole peut être à l'origine de fuites d'hydrocarbures qui seraient déversés dans les plans d'eau, et qui entraîneraient le phénomène d'anoxie ; les organismes vivants dans les plans d'eau ne parviennent plus à absorber l'oxygène dissous dû à la présence d'un film d'huile formé en surface. Ainsi, la flexibilité et la résilience des écosystèmes seraient réduites ; les teneurs élevées en huile dans l'eau et les films d'huile réduisent la capacité d'échange d'oxygène entre l'air et l'eau entraînant une diminution de la concentration d'oxygène dans l'eau **(Arora & Kakkar,2017)**.

De plus, les matières contenues dans les déversements d'hydrocarbures renferment de nombreux ingrédients différents qui altéraient et détruiraient la structure cellulaire des espèces, tuant parfois toute la population. Il y a eu de nombreux cas où des espèces marines seraient massivement mortes en raison de l'impact des marées noires **(Vang Le &Hoang, 2017)**.

Actuellement, l'Algérie compte plus de 200 navires de transport, ainsi qu'un nombre de navires de pêche d'environ 13 000 navires, correspondant à la quantité de 4 millions de tonnes de carburant consommée par an. De ce fait, le transport du pétrole demeure l'une des importantes sources de pollution susceptible d'infliger des dégâts à nos écosystèmes marins **(Zaimen et al., 2021)**.

I.1.3 Démolition des navires

L'ancienne industrie du démantèlement des navires peut profiter à certaines entreprises et fournir une partie des matières premières à l'industrie sidérurgique, mais pendant le processus de démolition des navires beaucoup de déchets dangereux pourraient être générés, des déchets connus pour leurs effets délétères sur l'environnement. Cela serait d'autant plus grave lorsque

les entreprises qui démantèlent de vieux navires obsolètes ne font pas dans le traitement de déchets qui seraient générés à l'issue de ces opérations (**Hoang & Nguyen, 2018**).

Les activités de démolition de navires produisent des produits chimiques toxiques et des déchets dangereux tels que les PCB, PVC, HAP, TBT, huiles minérales, métaux lourds (mercure, plomb, cuivre, zinc, aluminium, fer...), l'amiante et d'autres substances dangereuses comme les substances radioactives et les cyanures organiques. Et ce sans parler des dangers de démantèlement des navires transportant des produits chimiques et d'autres déchets ou marchandises dangereuses (**Aguilera et al., 2019**).

Actuellement, il existe de nombreuses installations qui opèrent dans la démolition de navires mais qui ne disposent pas de licences d'exploitation, ce qui accentuerait davantage la vulnérabilité de l'environnement marin face aux agressions humaines (**Bertocci et al., 2019**).

I.1.4 Rejet d'eau de ballast

Les statistiques du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) indiquent que la source de pollution marine provenant des activités de navigation et de déplacement en mer représente 18% du total des pollutions qui touche les milieux marins.

Les indicateurs de suivi des eaux de ballast indiquent qu'elles sont surtout contaminées par du pétrole et des métaux lourds, particulièrement le Cu et le Zn. Comparé à l'objectif préalablement fixé, la teneur en ces polluants dans nos mers dépasse de nombreuses fois la norme que recommande les scientifiques. Il existe des milliers d'espèces aquatiques transportées dans les eaux de ballast, il s'agit notamment de microbes, de petits invertébrés, d'œufs, de follicules et de larves de différentes espèces enfuient dans les boues des eaux de ballast. Ces formes de vie pourraient être nuisibles lorsqu'ils s'échappent et s'introduisent ailleurs dans d'autres écosystèmes (**Gasparotti, 2010**).

I.1.5 Les eaux usées

Les eaux usées se composent de tous les déchets provenant des maisons, des industries, des écoles, des fermes, des villes et des villages (**Cumberlidge et al., 2009; Chowdhury et al., 2015**).

Des exemples d'eaux usées domestiques (produites par les activités domestiques et communautaires des personnes) comprennent les eaux grises (provenant des éviers, des baignoires, des douches, ... etc), des eaux noires (l'eau provenant des toilettes à chasse d'eau et des activités de nettoyage des déchets humains) et d'autres substances chimiques comme les savons et les détergents (**Ayanda & Petrik, 2014**).

I.1.6 Sacs en plastique/polyéthylène

Les sacs en plastique et autres articles en polyéthylène s'accumulent dans notre environnement et se décomposent très lentement et, par conséquent, leur quantité ne cesse d'augmenter. Les sacs en plastique sont l'une des plus grandes menaces de la société moderne. C'est une énorme menace pour nos plans d'eau et est extrêmement préjudiciable à nos écosystèmes marins en particulier. Et cela serait favorisé par la grande amovibilité de ce type de pollution (**Li et al., 2018**).

I.1.7 L'industrialisation et les déchets industriels

Les substances nocives rejetées par les industries demeurent aussi les principales causes de pollution de l'eau (**Haseena et al., 2017**). Les métaux toxiques libérés par les différentes industries pénètrent dans l'eau et altère sa qualité (**Ho et al., 2012**). Désormais, les mésaventures industrielles sont devenues un sujet de préoccupation car elles sont riches en substances métalliques, à savoir le mercure, le plomb, le chrome,... etc., très nocives pour le biote et rendent parfois l'eau impropre à toute exploitation (**Owa, 2013 ; Arora & Kakkar, 2017 ; Haseena et al., 2017**).

De grandes quantités de déchets sont effectivement générées par l'industrie minière au cours du processus d'extraction et d'exploitation (**Das & Choudhury, 2013**). Pendant le processus d'extraction, les déchets polluent l'eau utilisée dans le processus, la rendant acide, ce qui favorisera la dissolution de certaines catégories de métaux potentiellement toxiques, et qui au final déboucheront dans les mers (**Musingafi & Tom, 2014**). L'extraction de métaux lourds, par exemple, pollue potentiellement les milieux marins environnants et s'avère dangereuse pour la faune et la flore vivantes dans ces milieux (**Gong et al., 2008**).

Dans un autre cas, l'eau chaude issue de l'utilisation industrielle, peut donner une impulsion significative au réchauffement planétaires et aux changements climatiques qui déstabilisent les écosystèmes aquatiques (**Ayanda & Petrik, 2014**).

I.1.8 Croissance démographique et urbanisation

Avec l'accroissement de la population, il y a eu accroissement des problèmes de pollution de l'environnement, dénotant une influence négative de la croissance démographique sur l'environnement (**Ho et al., 2012**). Effectivement, de grandes quantités de déchets, à la fois solides et liquides, sont générées par les humains en croissance (**Jabeen et al., 2011**) et sont directement jetés dans les rivières, les canaux et les ruisseaux débouchant sur les mers. Outre que l'innombrable cause de pollution des eaux marines et continentales, l'explosion démographique et tout ce qui s'accompagne demeureront aussi des préoccupations majeures pour les pays en voie de développement notamment (**Kamble, 2014**).

I.2 Effets de la pollution sur les organismes marins

Nous passerons en revue ici l'ensemble des effets des différentes pollutions observés chez les organismes marins.

I.2.1 Rejets des eaux usées

Les effluents d'eaux usées municipales sont la plus importante source de rejets d'effluents, en volume, dans le monde. Ce qui suit est l'ensemble des effets néfastes des polluants contenus dans ces effluents essentiellement dans le milieu marin, et décrits dans les ouvrages scientifiques (**Leonard-Pingel *et al.*, 2019** : **Melis *et al.*, 2019**):

- Elles fragilisent la biodiversité biologique au sein des communautés d'animaux et de végétaux marins ;
- Elles affectent en nombre la faune halieutique ;
- Elles favorisent la prolifération des espèces envahissantes ;
- Elles perturbent le métabolisme et le fonctionnement des organismes marins.

I.2.2 Pollution sonore

La pollution sonore sous-marine provient des activités humaines comme la navigation commerciale, la prospection sismique pétrolière et gazière et les sonars militaires. Tous ces bruits constituent une menace grave pour la vie marine. Cela concerne toutes les espèces marines. Le bruit des mers change radicalement le comportement des animaux. Cette pollution leur crée du stress et les fait fuir de leur habitat. Elle réduit la capacité des animaux à communiquer, naviguer, localiser des proies, éviter les prédateurs et trouver des partenaires. L'ensemble des aspects de la vie d'un animal est affecté par le bruit sous-marin produit par les humains. Dans le pire des cas, cela peut conduire à des blessures physiques et même à la mort de l'animal suite à un impact long et bruyant (**Fakan & McCormick, 2019**).

I.2.3 Débris microplastiques

L'impact des débris microplastiques sur l'environnement est devenu un sujet de préoccupation pour les scientifiques.

De nombreuses études mettent en garde quant à la consommation des fruits de mer et d'autres espèces de large consommation par les humains, et qui seraient de potentiels maillons à circulation trophique des microplastiques. Les études de laboratoire et de modélisation évaluent particulièrement les impacts sub létaux de l'ingestion de microplastiques et leurs mécanismes de toxicité, les questions de bioaccumulation de microplastiques et leur transfert par le biais de la chaîne alimentaire sont de pistes exploratoires que privilégient ces études aussi (**Akhbarizadeh *et al.*, 2019**). Dans cette optique, **Hasselerharm *et al.* (2019)** dans leur

étude de modélisation, ont démontré que la toxicité aux microplastiques semblaient bien préoccupante tant sur le plan écologique comme sur le plan de santé humaine. Dans l'étude de **Nor et Koelmans (2019)**, la probabilité de contamination des organismes marins seraient favorisés par la présence d'autres polluants. Plusieurs études nous ont fourni des résultats nuancés qui contextualisent les rapports de l'ingestion de particules de microplastiques dans la nature, et aller de l'avant quant à la compréhension scientifique des impacts des microplastiques sur les organismes marins et la santé des consommateurs.

I.2.4 Pollution aux hydrocarbures

Lors de pollutions aux hydrocarbures en milieu marin, les conséquences sur la faune et la flore sont à la fois physiques (engluement, étouffement des habitats) et toxiques (contamination des organismes par processus chimiques). La gravité de la pollution dépend des conditions environnementales et météorologiques, de la sensibilité du lieu, de la quantité et du type d'hydrocarbures déversés (**Girard et al., 2019**). Voici donc les impacts majeurs de la pollution aux hydrocarbures décrits en littérature (**Egres et al., 2019**):

- Diminution de la biomasse vivante dans les biotes marins ;
- Impact négatif sur la croissance des colonies de polypes (coraux) ;
- Contribution à la dégradation des récifs coralliens ;
- Diminution de la résilience des populations d'organismes marins ;
- Mortalité élevée des espèces marines par hypothermie, noyade ou la faim ;
- Réhabilitation des écosystèmes marins qui devient difficile et/ou compliquée ;
- Altération immédiate ou progressive du fonctionnement éco systémique ;
- Induction des cancers parmi les populations marines ;
- Perturbation du cycle de vie des espèces marines ;
- Les espèces marines qui deviennent de plus en plus petites, et une fréquence de reproduction relativement faible parmi les communautés marines.

I.3 Biosurveillance de la qualité de l'environnement

Les méthodes physico-chimiques de surveillance de la qualité des milieux mesurent les concentrations de composants présents dans l'environnement, permettant par la suite leur comparaison à des valeurs réglementaires. Cependant, ces techniques n'apportent pas d'information directe sur les effets des polluants sur les organismes. Quelles que soient les évolutions technologiques des systèmes de métrologie, la bio surveillance demeurera toujours la seule approche capable d'évaluer des effets biologiques d'une altération de l'environnement (**Van Haluwyn et al., 2011**).

La bio surveillance englobe quatre concepts :

I.3.1 La bioindication

Elle se situe au niveau individuel et fournit des informations sur les impacts environnementaux. Elle se fonde sur l'observation des effets cliniques et visibles des pollutions sur un organisme, une partie d'un organisme ou une communauté d'organisme (biocénose). Ces effets sont observables au niveau morphologique, tissulaire ou physiologique. Il s'agit par exemple de l'apparition de nécroses foliaires (Silva *et al.*, 2012) ou la modification de la croissance racinaire (Manier *et al.*, 2009).

I.3.2 La biointégration

Elle permet d'évaluer les effets à long terme sur les communautés par l'étude de la densité et de la diversité spécifique de populations au sein d'écosystèmes (Thimonier *et al.*, 1994 ; Takahashi & Miyajima, 2010).

I.3.3 La bioaccumulation

C'est l'accumulation de contaminants dans les tissus des végétaux ou des champignons, qui servent alors de matrice pour le dosage de différents polluants. Ce phénomène d'accumulation en surface et/ou intérieurement intègre des paramètres du milieu environnemental (disponibilité environnementale des polluants par exemple) ainsi que des composantes physiologiques et métaboliques de l'organisme (translocation par exemple). Les concentrations tissulaires sont dans ce cas le reflet de l'imprégnation de l'environnement et correspondent à la part bio disponible qui, *in fine*, reste dans l'organisme. Ces quantités ne sont donc pas directement celles du milieu environnant. C'est une méthode extrêmement utilisée actuellement qui permet d'étudier l'imprégnation de l'environnement par les polluants et d'en suivre l'évolution spatiale et temporelle (Larsen *et al.*, 2007 ; Cloquet *et al.*, 2009 ; Gerdol *et al.*, 2014).

I.3.4 Utilisation de bio marqueurs

Un bio marqueur caractérise un effet de stress précoce, non visible et spécifique au niveau infra-individuel. Concept le plus récent dans le domaine de la bio surveillance végétale et encore en développement important, l'utilisation de bio marqueurs repose par exemple sur le suivi de la fluorescence de la chlorophylle, de l'activité photosynthétique (Catalyud & Barreno, 2004 ; Crous *et al.*, 2006), des dosages d'enzymes (Rai & Agrawal, 2008), de l'intégrité membranaire ou de la géno toxicité (Rzepka & Cuny, 2011 ; Misik *et al.*, 2011).

II.1 Éléments traces métalliques ou métaux lourds

II.1.1 Définition

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm³. On retrouve dans certaines publications anciennes l'appellation de « métal pesant » (**Gérard, 2000**).

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents “ en traces ”. Ils sont aussi “ la trace ” du passé géologique et de l'activité de l'homme (**Gérard, 2000**).

II.1.2 Sources d'émission

Poser la question des conséquences des métaux lourds sur l'environnement peut paraître à certains égards incongrus dans la mesure où les métaux lourds sont des éléments naturels, présents dans tous les compartiments de notre environnement, l'air, l'eau, les sols.

II.1.2.1 Sources naturelles

a) Gisements de métaux lourds

Les métaux lourds se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement. Selon les métaux, les réserves les plus importantes se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques.

Les métaux lourds, comme tout minerai, sont présents dans les roches, et sont diffusés avec l'érosion. Les métaux lourds en surface ne viennent cependant pas tous de la roche, puisqu'il peut y avoir cumul entre ce qui vient du sous-sol et ce qui est apporté par l'air, qui peut provenir de très loin (plomb dans les glaces des pôles) (**Ly & Wang, 2018**).

En règle générale, les métaux sont fixés dans les roches sous deux formes. Il y a d'une part, les oxydes et silicates, peu altérables en climat tempéré. Les oxydes sont libérés de la roche par érosion et transportés tels quels dans les sols et sédiments. Il y a d'autre part, les sulfures et carbonates, très altérables, qui seront attaqués chimiquement.

Les métaux changeront de support. Une partie soluble sera évacuée avec l'eau, vers les sols, les sédiments ou la nappe phréatique. Une partie sera piégée dans les argiles et sédiments de ruisseau (**BRGM, 2000**).

b) Passage du minerai au contaminant

Ces gisements naturels, enfouis dans les roches, deviennent accessibles et contaminants potentiels à quatre occasions (**Ly & Wang, 2018**) :

- L'exploitation (les mines) et l'utilisation,
- L'érosion qui transporte les métaux vers les sols, les eaux de surface et les sédiments,

- Les prélèvements d'eau. En puisant dans des nappes phréatiques de plus en plus profondes, on peut tomber sur une nappe contaminée par une roche très chargée en métaux lourds. Cette source de mobilisation des métaux lourds est la moins connue, mais aujourd'hui l'une des plus fréquentes,
- Les éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines.

Il y a donc des sources de contamination naturelles. Une fois en circulation, les métaux se distribuent dans tous les compartiments de la biosphère : terre, air, océan (**Fig. 1**). Les échanges sont permanents et se chiffrent par milliers ou centaines de milliers de tonnes. Les flux naturels sont complétés par les flux d'origine anthropique.

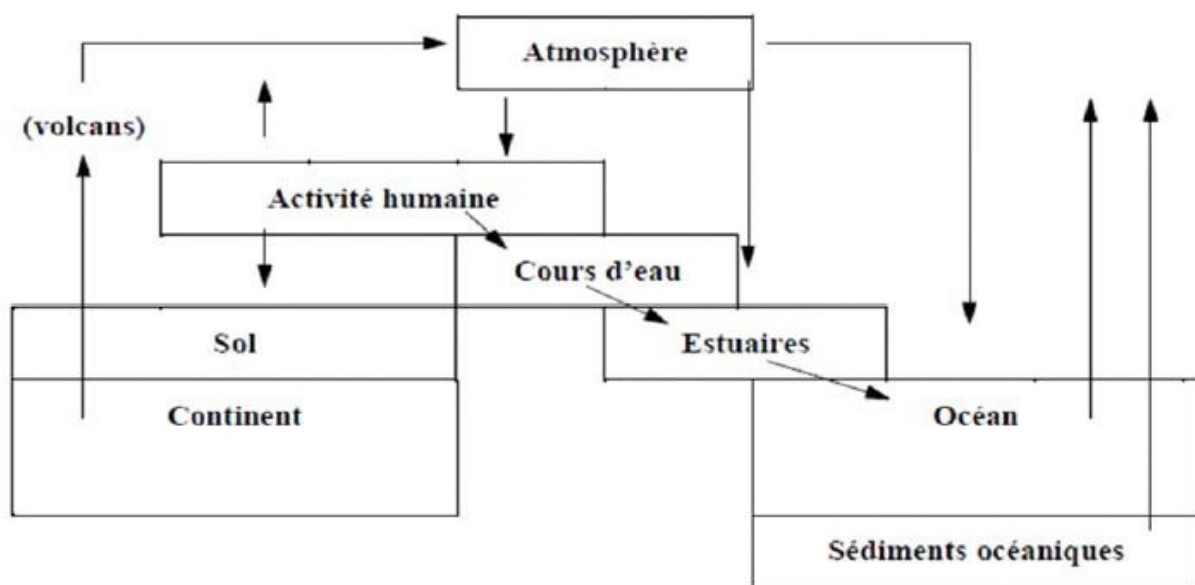


Figure 1. Cycle géochimique simplifié des métaux lourds (Ly & Wang, 2018)

II.1.2.2 Les sources anthropiques

L'activité humaine n'a apporté aucun changement dans les volumes de métaux lourds. Il n'y a ni création, ni suppression. Elle a surtout changé la répartition des métaux, les formes chimiques (ou spéciations) et les concentrations par l'introduction de nouveaux modes de dispersion (fumées, égouts, voitures,...). Si une partie des métaux lourds part directement dans le sol et les eaux, l'essentiel est d'abord émis dans l'atmosphère avant de rejoindre les deux autres éléments (Ayangbenro & Babalola, 2017).

Le tableau I inventorie les ETM qui s'associent à certaines activités industrielles et agricoles.

Tableau I. Sources industrielles et agricoles des métaux lourds présents dans l'environnement (Biney *et al.*, 1999)

Utilisation	Élément métallique
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni,
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (pesticides, herbicides,...)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Zn, Mn
Agents de la catalyse	Ni, Hg, Pb, Cu, Sn
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Matières plastiques	Cd, Sn, Pb
Produits dentaires et cosmétiques	Sn, Hg
Textiles	Cr, Fe, Al
Raffineries	Ni, V, Pb, Fe, Mn, Zn
Carburants	Ni, Hg, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd

II.1.3 Importance et toxicité des métaux lourds

Les métaux lourds peuvent être « essentiels » pour un organisme, qu'il soit plante ou animal, ou s'avérer « non essentiels » pour ces formes de vie (Bliefert & Perraud, 2011).

II.1.3.1 Métaux essentiels

On entend par métaux essentiels, des métaux dont l'organisme a besoin dans des concentrations bien déterminées, s'il veut vivre « normalement » - sainement - et qui doivent lui être fournis par la nourriture. Le fait qu'un élément soit essentiel ou non dépend de sa participation ou non à des réactions biochimiques dans l'organisme correspondant (Bhargava *et al.*, 2012).

II.1.3.2 Métaux non essentiels

Ces métaux ne sont pas nécessaires à la vie, mais ils perturbent souvent le cours normal des processus métaboliques, même à l'état de traces ; à l'exception de faibles doses tolérables, de tels métaux ont souvent un effet toxique pour l'organisme (Chen *et al.*, 2015).

II.1.4 Spécificité de la pollution par les métaux lourds

C'est la persistance des métaux qui est particulièrement prononcée dans l'environnement : contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Les métaux et leurs composés sont souvent transportés sur de grandes distances par l'air ou l'eau sans subir de transformations. Dans

l'environnement, un composé métallique peut seulement être transformé en d'autres composés, dans lesquels le métal subsistera ; et dans certains cas, ce ne sont que de telles réactions de transformation qui conduisent à des composés toxiques (par exemple la méthylation du mercure) ou à une immobilisation (par exemple la précipitation de PbSO_4) (**Chibuike & Obiora, 2014**).

En ce qui concerne les métaux lourds, une autoépuration des sols n'est pas possible. Dans les sols, ils sont si solidement fixés aux composés humiques, qu'ils ne sont presque pas entraînés par l'eau. Pour cette raison, les métaux lourds s'accumulent souvent fortement dans le sol ou dans les sédiments (**Chibuike & Obiora, 2014**).

Beaucoup de minéraux (argiles, oxydes métalliques) et les composés humiques possèdent des charges à leurs surfaces, avec lesquelles des ions métalliques peuvent se fixer et devenir alors échangeable. à cause de la grande diversité des constituants du sol, on ne peut pas décrire une forme unique selon laquelle les métaux lourds seraient fixés à la phase solide des sols et des sédiments. Il y a différentes réactions chimiques au cours lesquelles les ions métalliques présents dans le sol sont libérés et peuvent ensuite être dissous dans la « solution du sol ». Les ions H^+ participent à quelques-unes acidification croissante de celui-ci, même des métaux lourds fortement liés peuvent être libérés et mis en solution au cours du temps (**Coelho et al., 2015**).

Une des conséquences les plus sérieuses de la persistance des métaux est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, les métaux peuvent atteindre des concentrations qui sont supérieures de plusieurs puissances de 10 à celles trouvées dans l'eau ou dans l'air. Cela peut aller si loin qu'une plante ou un animal ne puisse plus servir de nourriture pour l'homme (**Dermont et al., 2008**).

II.1.5 Exemples d'éléments traces potentiellement toxiques

II.1.5.1 Plomb

a) Propriétés du métal

Le plomb possède quatre isotopes naturels non radioactifs ; sa masse atomique varie, selon son minerai d'origine, de 207,19 à 207,27, la composition isotopique dépendant des apports de plomb radiogénique provenant de la désintégration de l'uranium et du thorium.

Il est mauvais conducteur de l'électricité. La température critique, 7,2 K, au-dessous de laquelle apparaît la supraconductivité, n'est dépassée que par celle du technétium et celle du niobium.

Le plomb possède un éclat argenté qui ternit rapidement à l'air par suite de la formation d'une couche d'oxyde et de carbonate. C'est un métal mou, malléable, ayant une faible résistance à la rupture. Son tréfilage est aisé, excepté sous la forme de fil fin (**Garnier,2005**).

b) Effets du plomb sur l'environnement

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations en plomb que l'on trouve dans l'environnement sont le résultat des activités humaines. À cause de l'utilisation de plomb dans l'essence un cycle non naturel de plomb a été créé. Le plomb est brûlé dans les moteurs des voitures, ce qui crée des sels de plomb (chlorures, bromures, oxydes). Ces sels de plomb pénètrent dans l'environnement par l'intermédiaire des fumées d'échappement des voitures. Les particules les plus grandes retombent au sol immédiatement et polluent les sols ou les eaux de surface, les particules plus petites parcourent de longues distances dans l'air et restent dans l'atmosphère. Une partie de ce plomb retombe sur terre lorsqu'il pleut. Ce cycle du plomb provoqué par les productions de l'homme est beaucoup plus étendu que le cycle naturel du plomb. De ce fait la pollution au plomb est un problème mondial.

Il n'y a pas seulement l'essence au plomb qui augmente les concentrations dans l'environnement, d'autres activités telles que la combustion de combustibles, des procédés industriels et la combustion des déchets solides, y contribuent aussi (**Gaujous, 1995**).

Le plomb peut se retrouver dans l'eau et les sols lors de la corrosion des tuyauteries en plomb des systèmes de transport d'eau et lors de l'usure des peintures au plomb. Le plomb ne peut être détruit, il peut seulement changer de forme (**Dixit et al., 2015**).

Le plomb s'accumule dans le corps des organismes aquatiques et ceux du sol. Ils souffrent des conséquences d'un empoisonnement au plomb. Chez les crustacés ces effets se font ressentir même si de très petites concentrations de plomb sont présentes. Les fonctions du phytoplancton peuvent être perturbées lorsque le plomb est présent. Le phytoplancton est une source importante d'oxygène dans les mers et beaucoup d'animaux marins plus gros s'en nourrissent. C'est pourquoi on commence à se demander si la pollution au plomb peut influencer les équilibres mondiaux.

Les fonctions du sol sont perturbées par l'intervention du plomb, spécialement près des autoroutes et des terres agricoles, où des concentrations extrêmes peuvent être présentes. Les organismes du sol souffrent alors aussi de l'empoisonnement au plomb. Le plomb est un produit chimique particulièrement dangereux car il peut s'accumuler dans des organismes individuels, mais aussi dans la chaîne alimentaire tout entière (**Jiang et al.,2011**).

II.1.5.2 Cadmium

a) Propriétés du métal

Le cadmium est un élément chimique qui appartient à la famille des métaux lourds. Il est un métal bleuté, mou et malléable, il présente une grande résistance à l'oxydation et une bonne ductilité électrique. À l'état naturel, le cadmium peut se présenter sous deux degrés d'oxydation (0) et (+2) ; toutefois, on observe rarement le cadmium sous l'état métallique (degré 0) (Juste, 1995 ; Ditrria,2002).

Dans l'eau, Le cadmium se trouve sous différentes formes de:

- . Composés solubles ;
- . Matières colloïdales ;
- . Matières en suspension.

Les particules colloïdales et en suspension peuvent être constituées par des sels insolubles tels que les oxydes, les hydroxydes ou les sulfures, ou par des matières organiques ou des argiles dans lesquelles le cadmium est fixé par adsorption, échange d'ions ou par complexation (Doré,1989).

Les composés solubles du cadmium peuvent être sous formes d'ions simples (Cd^{2+}) , sous formes de complexe (chlorures, nitrates, sulfates, bromures ou iodures) ou sous formes de complexe organo-métallique $\text{Cd}(\text{CN})_4$ (Doré, 1989 ; LCPE, 1994). En milieu aquatique, les composés les plus fréquents du cadmium sont: CdCl_2 , CdSO_4 , CdHCO_3^+ , CdCO_3 , CdOH^+ , $\text{Cd}(\text{OH})_2$, $\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})^+$ (Merican & Astruc, 1979 ; Cousin, 1980).

La forme d'un métal dans l'eau est conditionnée par différents facteurs physico-chimiques notamment le pH et le potentiel redox qui peuvent contrôler la solubilisation ou l'agglomération des espèces métalliques (Doré, 1989). Les carbonates du cadmium sont des composés assez instables et ont une très faible importance dans le milieu naturel (Gardiner, 1974 ; Merican & Astruc, 1979). Par contre, la grande partie du cadmium présent dans les eaux naturelles se trouve sous forme d'ions libres, la concentration en ces ions augmente quand le pH diminue (Gardiner, 1974).

b) Effets sur les organismes vivants

Pour les végétaux, le cadmium freine les activités de photosynthèse et de transpiration et augmente le taux de respiration. De faibles concentrations de cadmium dans le sol suffisent pour provoquer des lésions sérieuses et en particulier un rabougrissement des tiges ainsi que d'intensives stries jaunâtres sur les feuilles les plus âgées. En dehors des pertes de récoltes les risques sont surtout liés à la contamination (par accumulation) pour les plantes. Le cadmium n'affecte que les plantes sensibles comme le soja, l'épinard et la laitue contrairement à la

tomate, le chou, le riz et d'autres graminées fourragères qui résistent bien à ce métal (**Juste, 1995 ; Ditria, 2002**).

Pour la vie aquatique en particulier les poissons, il ne semble pas qu'il y ait de problèmes en dessous de 1 mg/l de cadmium. Cependant, des concentrations élevées peuvent être rencontrées chez les mollusques et les crustacés contaminés (**Rodier, 1984**).

II.1.5.3 Le Zinc

a) Propriétés du métal

Le zinc est un solide blanc, cassant à froid, malléable et ductile entre 100 °C et 150 °C. C'est un métal réducteur amphotère. Assez électropositif, il est facilement attaqué par les acides, avec production d'hydrogène pour les acides non oxydants. Il déplace de leurs solutions salines les métaux moins électropositifs (cuivre, plomb, argent). À l'air humide, il se couvre d'une couche protectrice d'hydrocarbonate. L'oxyde ZnO est une poudre blanche, employée sous le nom de blanc de zinc (peintures, industrie du verre, etc.). Oxyde amphotère, il se combine aux acides pour donner des sels de zinc et aux alcalis pour donner des zincates. Le chlorure ZnCl₂ est utilisé contre la putréfaction du bois ; le sulfure ZnS, blanc, existe dans la nature sous forme de blende ; le sulfate ZnSO₄ est employé pour le traitement des eaux industrielles et dans l'industrie pharmaceutique (**Diatta, 2013**).

b) Impact sur l'environnement

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière la combustion du charbon et des déchets et l'industrie de l'acier.

La production mondiale de zinc ne cesse d'augmenter, ce qui basiquement signifie que de plus en plus de zinc se retrouve dans l'environnement.

L'eau est polluée en zinc du fait de la présence de grandes quantités dans les eaux usées des usines industrielles. ces eaux usées ne sont pas traitées de façon satisfaisante. L'une des conséquences est que les fleuves déposent des boues polluées en zinc sur leurs rives. Le zinc peut aussi augmenter l'acidité de l'eau (**Chiarucci & Baker, 2007**).

Certains poissons peuvent accumuler le zinc dans leur organisme lorsqu'ils vivent dans des eaux contaminées en zinc.

D'importantes quantités de zinc peuvent être trouvées dans le sol. Quand le sol des terres agricoles est polluées par du zinc, les animaux absorbent des concentrations mauvaises pour leur santé. Le zinc soluble dans l'eau qui se trouve dans le sol peut contaminer les eaux

souterraines.

Le zinc n'est pas seulement une menace pour le bétail, mais aussi pour les plantes du fait de l'accumulation de zinc dans le sol, les plantes absorbent souvent des quantités de zinc que leur système ne peut pas gérer.

Sur un sol riche en zinc seul un nombre limité de plantes a des chances de survivre. C'est pourquoi il n'y a pas beaucoup de diversité des plantes près des usines manipulant du zinc. Du fait de ces effets sur les plantes le zinc est une sérieuse menace pour la production des terres agricoles. Malgré ça les engrais contenant du zinc sont toujours utilisés.

Enfin le zinc peut interrompre l'activité du sol, car il a une influence négative sur l'activité des micro-organismes et les vers de terre. La décomposition de la matière organique peut être sérieusement ralentie de ce fait (Coelho *et al.*, 2015).

II.2 Les microplastiques

II.2.1 Définition

La plupart des auteurs définissent les microplastiques comme des matériaux (particules de plastique) qui ont une longueur de diamètre ≤ 5 mm pour la majorité des particules (Fig. 2).

Certains auteurs suggèrent que les particules < 1 mm soient définies comme des microplastiques, dans le but de rester dans la gamme des tailles micrométriques.

Selon Lambert *et al.* (2014) les particules :

- > 5 mm sont des macroplastiques,
- 5 à > 1 mm sont des mésoplastiques,
- 1 mm à $> 0,1$ μm sont des microplastiques,
- $0,1$ μm sont des nanoplastiques.

La raison pour laquelle la taille de 5 mm a été adoptée comme la référence pour déterminer les microplastiques, est le fait que les particules sont si petites qu'elles peuvent être ingérées facilement par les organismes vivants.



Figure 2. Schéma des catégories des particules de plastiques selon leur taille (Saur, 2018)

Cependant, d'autres auteurs ont adopté d'autres classifications, et parfois même une classification qui leur est propre en se basant sur d'autres critères.

II.2.2 Les sources et origines des microplastiques

Les microplastiques sont aussi appelés « larmes de sirène » du fait de leur taille et du large éventail de couleurs de ses particules.

La présence de particules de plastique ayant un aspect millimétrique pose un grave problème dans l'environnement et menace la préservation de sa qualité.

Les microplastiques peuvent être classés selon leur source réelle en microplastiques primaires et secondaires.

Le plastique est issu de l'action humaine on le repère principalement sur terre, néanmoins, le fait de le retrouver également dans des boues d'épuration ou bien dans les effluents traités, ses particules finissent par s'accumuler dans les systèmes aquatiques.

Certaines études ont démontré que les traitements des stations d'épuration éliminent les microplastiques (**Carr et al., 2016**), d'autres affirment le contraire, et estiment que l'élimination dépend des procédés utilisés (**Fendall & Sewell, 2009**).

La source essentielle des microplastiques sont les produits cosmétiques et de nettoyage qui sont déversés dans les eaux usées domestiques (**Fendall & Sewell, 2009**). Les sources industrielles sont aussi importantes, exemple de la matière première utilisée dans la fabrication du plastique ou bien les rejets de résines qui sont utilisées dans l'industrie de soufflage (**Lechner et al., 2014**).

II.2.2.1 Les microplastiques primaires

Les microplastiques primaires sont conçus de façon à avoir une taille millimétrique ou submillimétrique pour être adaptés aux usages domestiques tels que les produits d'hygiène personnelle (nettoyants pour visage, dentifrice) et dans certains cas, à un niveau plus faible, ils sont utilisés dans les médicaments.

Les microplastiques primaires (**Fig.3**) sont fabriqués à cette taille à l'origine car ils composent en partie, les poudres plastiques utilisées dans le moulage, ou bien les «épérateurs» industriels qui vont être utilisés pour décaper les surfaces propres. Ils sont utilisés dans plusieurs processus industriels (**GESAMP, 2015**).

Les microparticules produites dans la fabrication d'exfoliants sont le plus souvent de taille $< 100 \mu m$, ce qui facilite leur passage à travers les traitements des stations d'épuration, elles se retrouvent ainsi dans les eaux environnantes. On peut signaler que l'arrivée des produits synthétiques a multiplié par 10 le nombre de microplastiques arrivant au niveau des

STEP comparé aux produits cosmétiques même si des retombées atmosphériques y contribuent également (Frère *et al.*,2017).

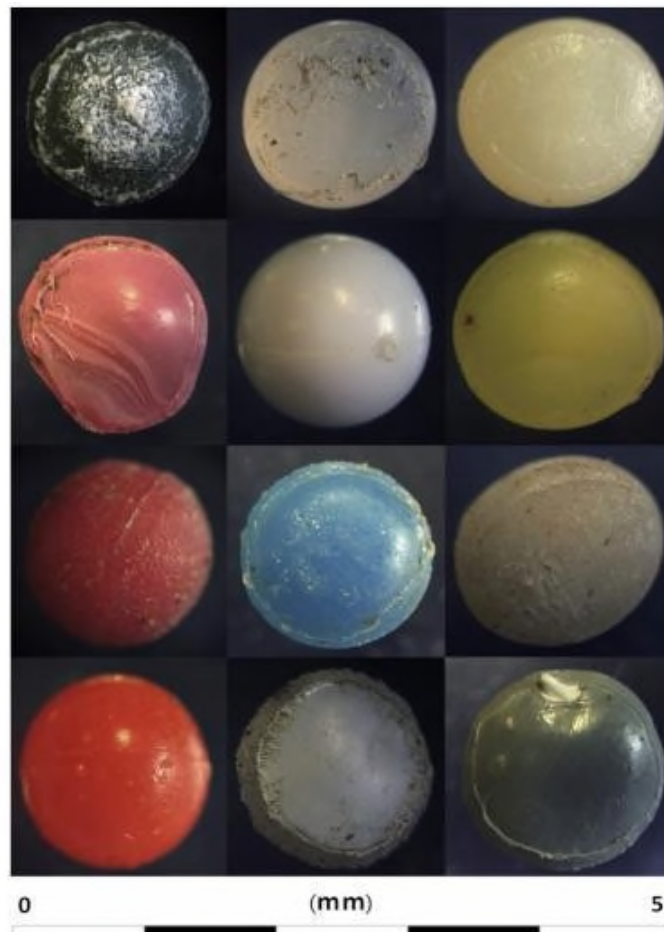


Figure 3. Les microplastiques primaires récupérés dans un milieu aquatique (Crawford, 2017)

II.2.2.2 Les microplastiques secondaires

Les microplastiques secondaires (Fig. 4) sont le résultat d'une décomposition de plastiques plus gros. Cette altération peut se faire pendant l'utilisation de ce plastique, comme par exemple les textiles, les peintures ou les pneus. Le largage de ses produits en plastique dans l'environnement peut être une source directe des microplastiques secondaires (GESAMP, 2015). L'exposition des débris plastiques à certains facteurs physiques, chimiques ou biologiques peut contribuer à la fragilité des particules polymères qui vont être plus facilement enclins à se fragmenter. Cependant, la fragmentation peut se produire plus en amont comme dans le cas des fibres synthétiques relâchées pendant le lavage des vêtements (Cole *et al.*,2011).

Lorsque les débris plastiques sont exposés sur une longue période au soleil, ils sont sujets au phénomène de photo-dégradation. Cette dégradation va entraîner un lessivage des additifs conditionnés pour augmenter la durabilité et la résistance à la corrosion (Cole *et al.*, 2011).

Une solution – qui n'en est pas une – est apparue, le développement de plastiques biodégradables pour se substituer aux plastiques conventionnels. Mais ils sont hélas une source non négligeable de microplastiques, car ils contiennent des polymères synthétiques et de l'amidon, des huiles végétales ou bien des produits chimiques qui ont la particularité de stimuler l'effet biodégradable de ces plastiques.

En effet, la partie amidon sera décomposée, laissant les polymères synthétiques s'accumuler dans l'environnement (Cole *et al.*, 2011).



Figure 4. Les microplastiques secondaires récupérés dans un environnement aquatique (Crawford, 2017)

II.2.3 Le devenir des microplastiques dans l'environnement

II.3.2.1 La répartition des MP dans le temps et l'espace

Il est bien difficile de déterminer le devenir des microplastiques dans l'environnement, essentiellement à cause de leur petite taille, les différentes voies de pénétration dans l'environnement, et enfin, en raison du temps qu'il faut pour vérifier leur dégradation. Cela rend le processus de quantification encore plus difficile. Le manque de méthodes

d'échantillonnage normalisées s'ajoute aux autres obstacles. Enfin, la définition et la caractérisation des microplastiques ne sont pas toujours les mêmes.

Lorsque les plastiques sont rejetés dans les eaux usées domestiques et industrielles, qu'ils soient transportés par les vents ou bien dans l'eau de ruissellement, ils vont se retrouver dans les rivières et au final dans les océans.

Sachant que les stations d'épuration traitent bien les microplastiques, il a été démontré que l'efficacité de l'élimination dépend essentiellement des procédés appliqués, ainsi que du type de la matière traitée et de sa charge. Comme la densité des matières plastiques est minime, elles finissent malgré tout dans les rivières et les océans.

Dans le cas d'un phénomène contraire comme l'hétéro agrégation, des matières plastiques restent en suspension avec d'autres débris ou solides, elles sédimentent alors au niveau des lits de rivières. Cette hypothèse a été confirmée par des faits qui détaillent ces phénomènes.

Les études ont démontré que la présence des microplastiques est prédominante dans les régions à forte influence anthropique comme dans les zones à forte activité industrielle et commerciale.

Lorsque les plastiques sont libérés dans les milieux aquatiques, les particules décomposées réagissent différemment, selon leur gravité. En effet, les particules ayant une gravité supérieure à 1 ont une prédisposition à couler dans la colonne d'eau, en revanche, celles qui ont une gravité inférieure à 1 ont tendance à flotter. Cette gravité est fonction du temps et du phénomène d'hétéro agrégation, ou bien de la colonisation microbienne (**Wilson & Wilson's, 2017**).

II.3.2.2 Décomposition et durabilité des plastiques dans les eaux douces

Il existe peu d'informations sur le processus de dégradation des matières plastiques dans l'environnement. Par conséquent, les connaissances sont axées sur les études de laboratoire, qui analysent certains processus comme la biodégradation. Peu d'environnements expérimentaux réunissent toutes les conditions environnementales nécessaires, réunissant l'interaction de plusieurs processus de dégradation comme dans la réalité. Ces études-là se focalisent sur les pertes de poids, les changements de résistance à la traction, ou bien sur les raisons d'utiliser tel ou tel polymère par rapport à la rupture de la structure moléculaire et l'identification de certaines souches microbiennes déterminées (**Wagner & Lambert, 2018**). Le taux et l'accroissement de la biodégradation des polymères peuvent être affectés par le type d'organismes présents dans l'eau ainsi que l'abondance de biomasse (**Mohan, 2011**), ainsi que leur sensibilité et leur adaptabilité aux paramètres environnementaux (**Lambert et**

al., 2013). Le schéma suivant (Fig. 5) résume les facteurs qui peuvent influencer la biodégradation des polymères.

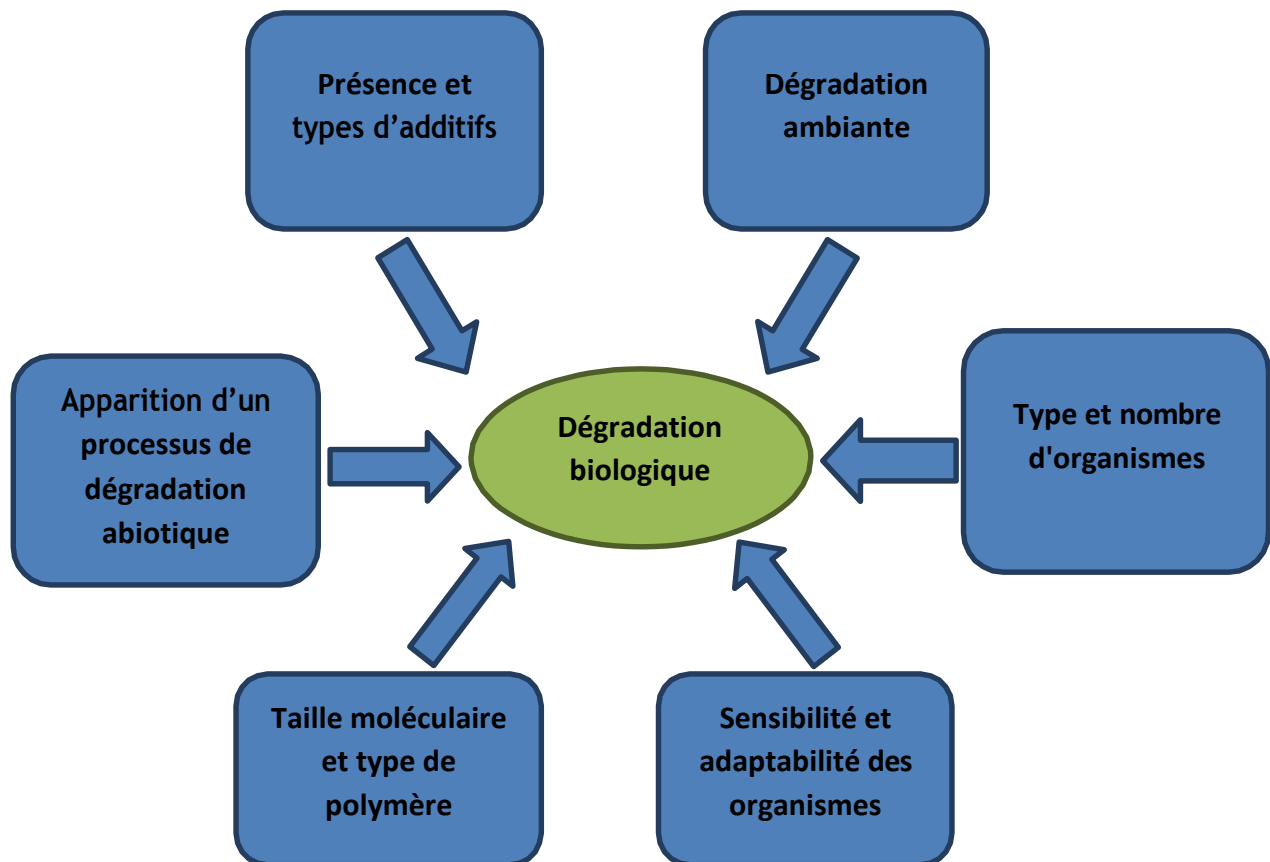


Figure 5. Facteurs responsables de la biodégradation des polymères composant la matière plastique (Da Costa *et al.*, 2016)

Néanmoins, d'autres facteurs peuvent influencer cette biodégradation, comme la densité des polymères. En effet, selon la densité de chaque polymère, on peut savoir leur biodisponibilité dans la colonne d'eau et par conséquent, déterminer ce qui va être ingéré par les organismes (les matières plastiques à haute densité ont tendance à couler et ceux à faible densité à flotter) (Da Costa *et al.*, 2016).

II.4.2 Les risques induits par les microplastiques

Lorsque le plastique se retrouve dans l'environnement aquatique d'une façon ou une autre, il subit un nombre de contraintes comme les UV, la pluie, le vent ou l'érosion mécanique. Cet ensemble de phénomènes entraîne une dégradation en particules plus petites : des microplastiques ou même en nano plastiques (Verney *et al.*, 2018). On peut distinguer deux effets majeurs des microplastiques dans l'environnement ; des effets physiques et des effets chimiques.

II.4.2.1 Les effets physiques

Les microplastiques sont de petite taille, ils sont donc ingérés par les micro-organismes présents dans l'eau, les poissons, les planctons ou bien les mammifères marins (**Wilson & Wilson's, 2017**).

L'effet est observé chez 250 espèces, cela se manifeste par l'étranglement, la suffocation ou l'obstruction des voies digestives lors de l'ingestion en question.

Le fait que les microplastiques, de par leur petite taille, soient bio disponibles et ingérables par les détritivores et les planctophages ou les organismes filtreurs, suivis de leur translocation et leur déplacement dans la chaîne trophique fait débat (**Fendall & Sewell, 2009**).

La présence de ces microplastiques dans l'environnement aquatique n'est pas sans induire une certaine toxicité pour la faune qui s'y trouve, même si le niveau de nocivité est mal connu.

Les éventuels effets toxiques peuvent provenir toutefois de plusieurs voies:

- Le stress engendré par l'ingestion, comme la satiété ou le blocage ;
- Certaines fuites d'additifs de plastique comme les plastifiants par exemple ;
- Il est connu que les microplastiques peuvent absorber certains contaminants comme les POPs, et cela n'est pas sans danger.

En laboratoire, il a été démontré que les polymères sont ingérés par une multitude d'espèces et que ce processus dépend en grande partie de leur taille, forme et densité, et accessoirement leur couleur caractérise aussi l'absorption.

Les blessures internes du tube digestif font partie des effets directs de l'ingestion des microplastiques, ils deviennent une entrave au passage de la nourriture, ce qui réduit considérablement les apports nutritifs, et conduit inévitablement le biote à la famine puis à la mort. Pour certaines espèces qui respire de l'air, les MP obstruent leurs branchies, réduisant ainsi leur capacité respiratoire (**Wilson & Wilson's, 2017**).

II.4.2.2 Les effets chimiques

Il est bien difficile de déterminer les effets des substances tels les monomères résiduels, des substances additionnées de façon non délibérée (impuretés, sous-produits de polymérisation, produits de dégradation), des catalyseurs des solvants et des additifs lessivant les matières plastiques. La lixiviation de ces mélanges dépend des conditions chimiques, biologiques ou physiques du milieu récepteur (**Wagner & Lambert, 2018**).

Les matières plastiques ne représentent pas un danger en soi pour l'environnement, car elles sont initialement biochimiquement inertes. Une nouvelle appellation a vu le jour suite à une classification qui prend en considération l'ajout d'additifs submicroniques⁴ dans les plastiques commerciaux, et qui porte le nom de « plasticides », ces additifs sont de taille moléculaire.

Les effets de l'ajout de ces additifs reviennent à leur nature lipophile, qui les rend plus aptes à s'infiltrer dans les membranes des cellules et à participer aux réactions biochimiques, ce qui a pour conséquence un changement comportemental grave, et des altérations au niveau de la reproduction (**Wilson & Wilson's, 2017**).

Il a été prouvé que quelques Pops, PCB et pesticides peuvent imiter les hormones naturelles, ce qui conduit à des troubles de reproduction. Le taux d'absorption de ces Pops dans la matière plastique dépend essentiellement de la nature du polymère et du polluant conjointement, ainsi que le type, la densité, le poids moléculaire et l'hydrophobicité (L'hydrophobie caractérise les surfaces qui semblent repousser l'eau). Quand les contaminants hydrophobes sont ingérés, ils sont capables de s'introduire dans les réseaux alimentaires et être mêlés à des phénomènes comme la bioaccumulation ou la bioamplification qui ne sont pas sans conséquence sur la santé animale et humaine. Cela explique que les particules peuvent traverser certains organes du corps comme le foie, les testicules et le sang pour arriver au cerveau, ce qui peut avoir de lourdes conséquences sur l'autorégulation des signes vitaux de l'espèce (**Wilson & Wilson's,2017**).

III.1 La zone d'étude

Au long du littoral allant du port de Bejaia (à l'Est) à la limite frontalière avec la wilaya de Jijel (extrême Ouest de la wilaya de Bejaia), nous avons échantillonné des espèces de poissons pendant 06 semaines avec un intervalle de 04 jours entre deux échantillonnages effectués.

Le choix de cette partie du littoral de la wilaya de Bejaia était essentiellement motivé par quatre raisons à l'origine des grands afflux de polluants sur la région:

- Le côté Est de Bejaia concentre la majeure partie des unités industrielles implantées à l'échelle de la wilaya ;
- Les stocks de poissons qui diminuent considérablement ces quatre dernières années sur cette partie de la wilaya;
- La région Est de Bejaia est traversée par plusieurs oueds drainant les eaux de ruissèlement dans la baie : Oued Aguerioune, Oued Bou Sellam, Oued Sahel, et Oued Soummam ;
- La région est une destination balnéaire très prisée par les touristes du pays.

III.2 Espèces d'intérêt biologique

Durant toute la période d'échantillonnage effectué en 06 semaines, nous avons réussi à capturer 06 différentes espèces de poissons (**Tab. II**) ; sardine (*Sardina pilchardus*) (SP), engraulidé (*Engraulis encrasicolus*) (EE), mérrou brun (*Epinephelus marginatus*) (EM), pageot commun (*Pagellus erythrinus*) (PE), dorade royale (*Sparus aurata*) (SA), et bar moucheté (*Dicentrarchus punctatus*) (DP). Celles-ci étaient toutes capturées par des pêcheurs rencontrés dans les régions situées entre le port de Bejaia et la ligne limitrophe avec la wilaya de Jijel (**Fig. 6**). Les stocks de ces espèces demeurent affectés particulièrement ces cinq dernières années. Et encore, des espèces pélagiques comme les Sardines et les engraulidés auraient perdu environ 30 % de leur taille par rapport à l'an 2000 (**Audzijonyte et al., 2020**).

Tableau II. Nombre d'individus de poissons par site de capture

Espèce / Site	Sardine	Engraulidé	Mérou brun	Pageot commun	Dorade royale	Bar Moucheté
Port	13	-	-	-	-	-
Arrière-port	5	12	1	-	-	-
Melbou	17	-	-	-	-	-
Sahel	-	17	-	-	-	-
Maghra	46	-	-	-	-	-
Ziama	-	-	-	2	1	1

(-) : pas de poissons capturés



Figure 6. Sites de capture des espèces de poissons sur le littoral Est de Bejaia

III.3 Matériel utilisé

III.3.1 Produits chimiques

- Acide Nitrique « HNO_3 » à 67%
- Acide Chlorhydrique « HCl » à 37%
- Eau distillée

III.3.2 Verreries de laboratoire

- Bêchers à bec de 50ml

- Entonnoir
- Tubes à essai
- Fioles jaugées de 50ml
- Éprouvettes graduées de 100 ml
- Boîtes de pétri
- Lames et lamelles
- Pipettes en polyéthylène

III.3.3 Appareils et matériel de payasse

- Étuve de laboratoire
- Balance de précision
- Trousse de dissection
- Règle plate
- Broyeur/Mortier en porcelaine
- Creusets en porcelaine
- Papier filtre 45 μ m
- Glacière pour le transport des échantillons
- Blocs réfrigérants
- Microscope à fluorescence
- Spectrophotomètre à absorption atomique à flammes de type « ICE 3000 Séries AA Spectromètres»

III.4 Traitements des échantillons

Pour protéger les poissons des écarts de température, les poissons capturés étaient transportés dans des glacières au laboratoire. Une fois arrivés au laboratoire, les poissons étaient mis dans des sacs d'échantillons en plastique étiquetés (la date et le site de capture des poissons sont portés sur l'étiquette) et conservés dans un réfrigérateur à 0° C.

III.4.1 Étude biométrique

Les échantillons de poisson ont fait l'objet d'une étude biométrique, à savoir :

- . La longueur : un paramètre métrique utilisé pour étudier la croissance des poissons et, qui représente la longueur du poisson de la porte du museau jusqu'à l'extrémité du lobe de la nageoire caudale (**Fig. 7**).
- . Le poids : la masse corporelle des poissons est mesurée au moyen d'une balance de marque KERN PCB d'une précision de 0.1 g (**Fig. 7**).



Figure 7. Paramètres biométriques étudiés : poids et taille des poissons (Clichés, Boudei & Boumezirene)

III.4.2 Dissection des poissons

Puisque nous aurons besoin du tractus gastro-intestinal pour chercher la présence d'entités de microplastique ingérées par le poisson, et du corps éviscéré du poisson pour évaluer la pollution aux métaux lourds (Pb, Cd, et Zn) dans les tissus de l'animal, nous aurons besoin de disséquer nos poissons et séparer ces deux parties. Lors de l'opération de dissection de nos spécimens (**Fig. 8**) :

- 1- Pour enlever les écailles, la peau du poisson était grattée avec un couteau en plastique ;
- 2- Le poisson était allongé sur le dos ;
- 3- L'incision du corps du poisson se pratiquait de l'anus jusqu'à la tête ;
- 4- Le tractus gastro-intestinal est séparé du reste du corps du poisson ;
- 5- L'individu était pesé sans ses organes internes (poids du corps éviscéré du poisson).

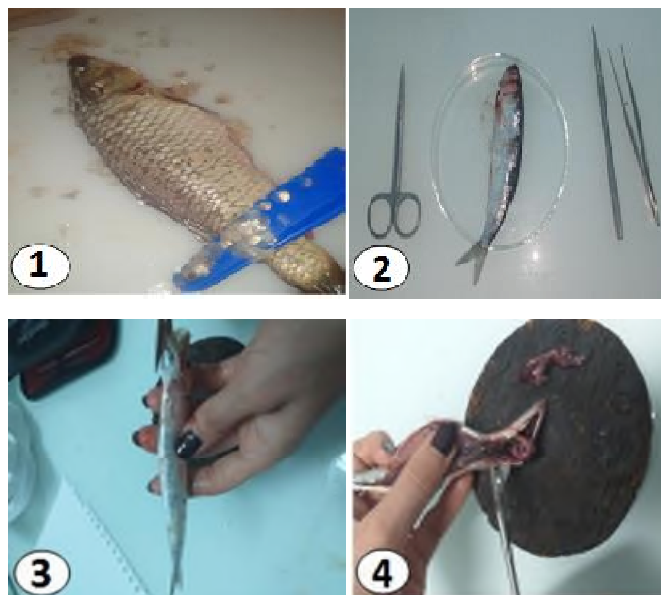


Figure 8. Opération de dissection des poissons (Clichés, Boudei & Boumezirene)

III.4.3 Séchage des poissons éviscérés

Cette étape consiste à sécher les échantillons de corps éviscérés des poissons. Ces derniers sont étalés dans des boîtes de Pétris et séchés dans l'étuve (**Fig. 9**) sous une température de 103°C pendant 48 heures (**Djedjibegovig, 2020**). Le but de cette étape est d'éliminer toute l'eau afin d'obtenir une matière sèche facilement conservable (**Djedjibegovig, 2020**).



Figure 9. Séchage d'échantillons de poissons éviscérés dans l'étuve (**Clichés, Boudei & Boumezirene**)

III.4.4 Homogénéisation

Pour chaque individu, le corps éviscéré est broyé à l'aide d'un broyeur ou d'un mortier en porcelaine. Le broyat obtenu (**Fig. 10**) est une poudre sèche susceptible d'être conservée longtemps, cette texture facilite également la solubilisation des échantillons.



Figure 10. Corps éviscérés des poissons réduits en poudre au moyen d'un broyeur (**Cliché, Boudei & Boumezirene**)

III.5 Évaluation de la pollution métallique (Cd, Pb, et Zn) dans les tissus des poissons

Si l'évaluation de la pollution métallique n'a considéré que trois éléments métalliques, à savoir le cadmium (Cd), le plomb (Pb), et le zinc (Zn), c'est parce que ces trois métaux sont parmi les éléments traces aux potentiels toxiques et délétères sur les écosystèmes marins.

Aussi, ils sont plus susceptibles d'envahir et d'atteindre en masse nos écosystèmes aquatiques à cause des rejets industriels chargés en différents polluants émanant des unités industrielles opérant dans la région.

Le dosage des métaux lourds se fait en deux étapes : la minéralisation puis la détermination des métaux lourds présents dans la solution à doser au moyen du spectrophotomètre à absorption atomique (SAA) (Ghalaoui,2009).

III.5.1 La minéralisation

La minéralisation consiste en l'attaque à chaud par un acide fort dans le but de faire passer les métaux lourds, associés à la matière organique en solution.

Dans notre cas, nous avons utilisé l'acide nitrique (67 %) et l'acide chlorhydrique (37 %). La minéralisation a pour but:

- D'éliminer l'action perturbatrice du substrat protéique;
- D'ioniser les métaux lourds;
- D'assurer leur concentration.

L'opération de minéralisation se fait en quatre étapes (méthode de digestion acide) (Fig. 11) (Djedjibegovig, 2020):

1. Peser 0.5 g de l'échantillon à analyser;
2. Ajouter 2 ml d'acide nitrique à 67 %;
3. Ajouter 6 ml d'acide chlorhydrique à 37 %;
4. Chauffer tout dans une étuve (ou sur une plaque chauffante) à une température de 95°C et pendant 75 minutes.

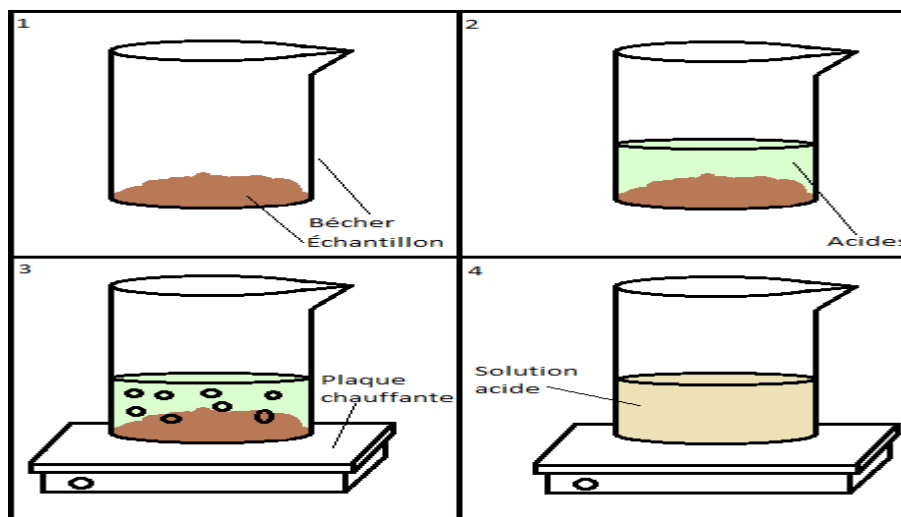


Figure 11. Procédé de minéralisation par la méthode de digestion acide (schéma explicatif) (Hseu, 2004)

III.5.2 La filtration

Après l'étape de la minéralisation, le "minéralisât" obtenu est filtré à l'aide d'un papier filtre 45 μm dans une fiole jaugée de 50 ml où l'eau pur (eau distillée) est rajouté jusqu'au trait de jauge (Fig.12).



Figure 12. Filtration du minéralisât obtenu à l'issue de l'étape de minéralisation (Cliché, Boudei & Boumezirene)

Les solutions obtenues étaient conservées dans des tubes à essais étiquetés pour l'étape suivante (Fig. 13), à savoir, la quantification métallique par spectrophotométrie à absorption atomique.

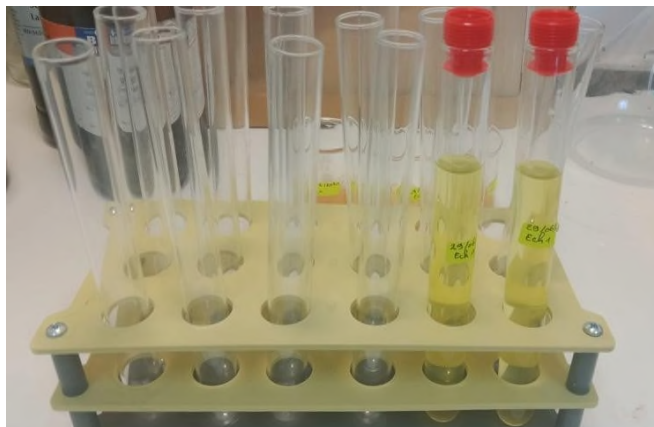


Figure 13. Solutions obtenues après filtration conservées dans des tubes à essais étiquetés (Cliché, Boudei & Boumezirene)

III.5.3 Le dosage

III.5.3.1 Principe général de la SAA

La spectrophotométrie à absorption atomique permet de quantifier les éléments métalliques en solutions. La spectrophotométrie à absorption atomique (SAA) est basée sur le principe que les atomes libres peuvent absorber la lumière d'une certaine longueur d'ondes.

L'absorption de chaque élément est spécifique, et aucun autre élément n'absorbe sa longueur d'ondes (**Ghandjaoui, 2009**).

Toutes nos analyses étaient effectuées au niveau du laboratoire de génies des procédés de l'Université de Bejaia.

III.5.3.2 Étalonnage

L'étalonnage de l'appareil est primordial pour un éventuel dosage des solutions minérales par spectrophotométrie à absorption atomique. L'étalonnage le plus courant s'obtient en mesurant l'absorbance de solutions synthétiques à concentrations progressives en analyse. La concentration de la solution inconnue est alors directement déduite en rapportant sa valeur d'absorbance sur une droite d'étalonnage préalablement établie.

III.5.3.3 Calcul et expression des résultats

Les résultats sont obtenus à l'aide d'un traitement informatisé des données et sont exprimés en mg/l pour chacun des métaux dosés. Les résultats finaux sont exprimés en mg/kg d'échantillon en poids sec, selon l'équation suivante :

$$C = [(A \times V) \div P] \times F$$

Où

C : concentration du métal dans l'échantillon (mg/kg).

A : concentration du métal dans la solution dosée (mg/l).

V : volume final en ml.

P : poids de l'échantillon en gramme.

F : facteur de dilution de la solution dosée.

III.6 Évaluation de la pollution aux microplastiques chez les poissons

Faute de spectromètre FTIR (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier) qui permet d'identifier et de caractériser la famille chimique d'une substance (généralement, organique ou composés polymères) dans un échantillon, nous avons repris le protocole de **Choy et Drazen (2013)**. Par ce même protocole, nous avons photographié, décrit, et dénombré les fragments de plastiques (microplastiques) observés sous microscope optique dans nos échantillons (**Avio et al., 2015**).

Le schéma suivant (**Fig. 14**) illustre et résume la méthodologie que nous avons adoptée dans une perspective d'évaluation des pollutions métallique et aux microplastiques dans les tissus de poissons capturés dans le littoral Est de Bejaia.

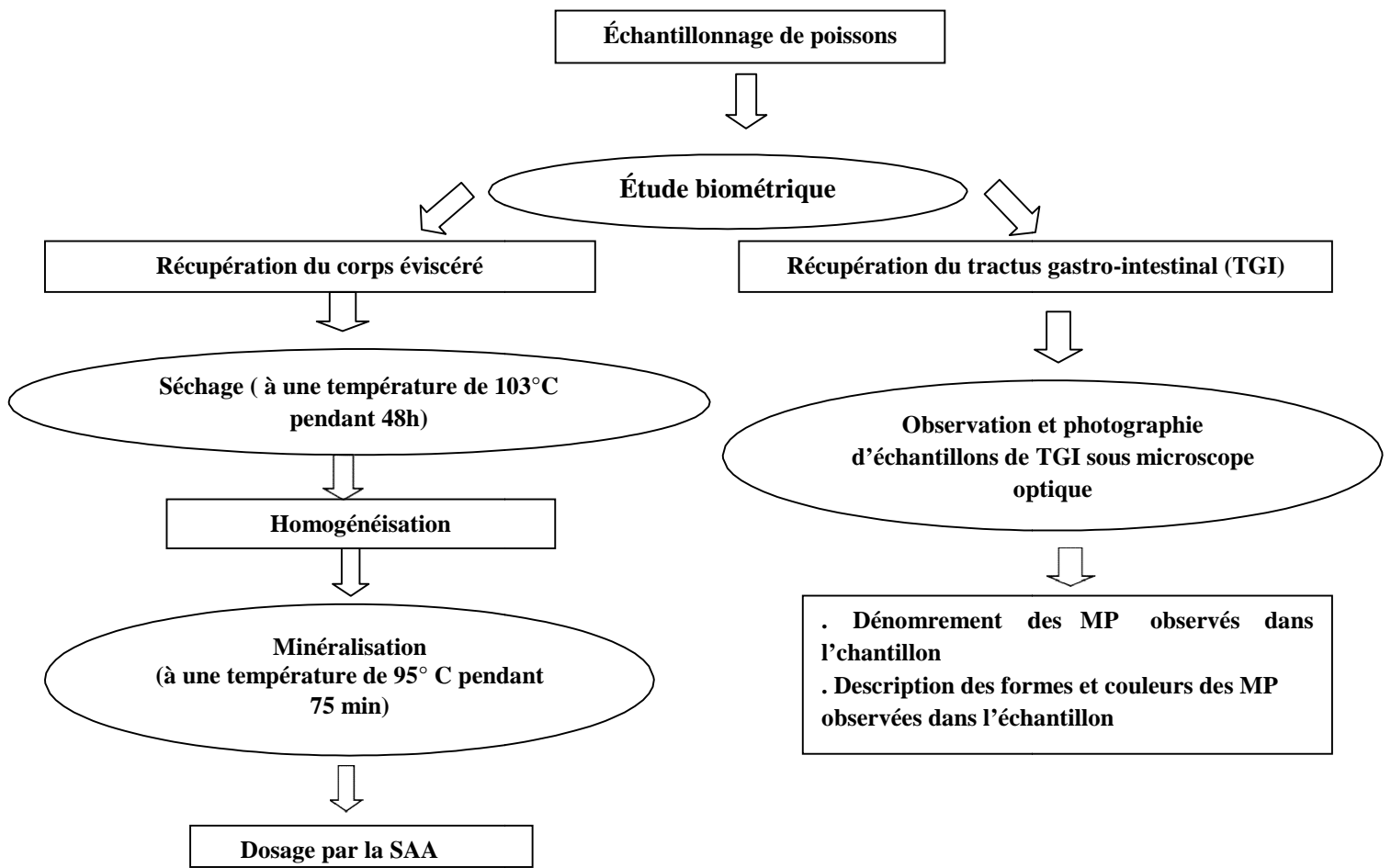


Figure 14. Schéma du protocole expérimental adopté

IV.1 Résultatsobtenus

IV.1.1 Taille et poids des poissons

Les mensurations de taille et de poids des poissons de Sardines et d'Engraulidés sont rapportées dans le tableau III.

Tableau III. Tailles (L) et poids (P) des spécimens de Sardine et d'Anchois échantillonnés

	Echantillon1 (<i>S.pilchardus</i>)		Echantillon 2 (<i>E.encrasicolus</i>)		Echantillon3 (<i>S.pilchardus</i>)		Echantillon4 (<i>S.pilchardus</i>)		Echantillon 5 (<i>E.encrasicolus</i>)		Echantillon6 (<i>S.pilchardus</i>)	
	L (cm)	P (g)	L (cm)	P (g)	L (cm)	P (g)	L (cm)	P (g)	L (cm)	P (g)	L (cm)	P (g)
1	14.5	9.81	11	9.49	16.5	39.02	19	41.81	11	9.5	12	12.1 3
2	14	19.78	11.5	10.62	11.5	12	18	41.51	11	6.53	12.5	13.3 1
3	12	12.07	10.5	7.42	18	50.5	19	44.85	10	5.98	12	11.3 6
4	11	9.82	11.5	9.48	12	13.44	19	43.89	9.5	4.9	11	8.92
5	14	18.22	12	11.85	12.5	15.92	19	47.64	10	5.98	14	16.8 6
6	11	9.82	11	9.90	10.5	11.62			11.5	6.06	12	12.0 7
7	14	18.22	11	9.57	14	21.05			12	9.53	13	13.7 2
8	11	8.13	10	7.44	13	17.21			9.5	4.12		
9			12	12.21	12	11.86			9	4.29		
10			11	9.69	11	12.26			10.5	6.16		
11			10.5	7.66	10.5	7.90			10.5	5.66		
12			11	11.20	12	13.99			10	5.02		
13			11	9.58	11.5	12.70						
14			10	7.45								
15			12	10.31								
16			10.5	8.16								
17			11	9.22								

Les longueurs moyennes par échantillons de sardine varient de 12.35 à 18.8 cm. Quant à leur poids, il bascule de 12.61 à 43.94 g. Des aspects phénotypiques qui sont dans les standards internationaux (**Mustač, 2010**).

Les longueurs dans les groupes d'engraulidés évoluent de 10.03 à 10.37 cm. Le poids de nos spécimens d'engraulidés fluctue entre 6.07 et 9.56 g. La littérature reconnaît ces valeurs hors de celles qu'on retienne normalement pour les espèces d'engraulidés.

IV.1.2 Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons

Les teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons pêchés dans des régions de Bejaia sont rapportées dans le tableau IV, des données qui auraient construit le diagramme en bas (**Fig.15**).

Tableau IV : Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons échantillonnés

Espèces de poissons	ETM (mg/kg)		
	[Zn]	[Pb]	[Cd]
<i>Sardina pilchardus</i>	1.36	0.01	0
<i>Engraulis encrasicolus</i>	1.09	0.03	0.001
<i>Epinephelus marginatus</i>	1.17	0	0
<i>Pagellus erythrinus</i>	0.23	0.02	0
<i>Sparus aurata</i>	0.94	0.01	0.002
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	0.34	0.02	0

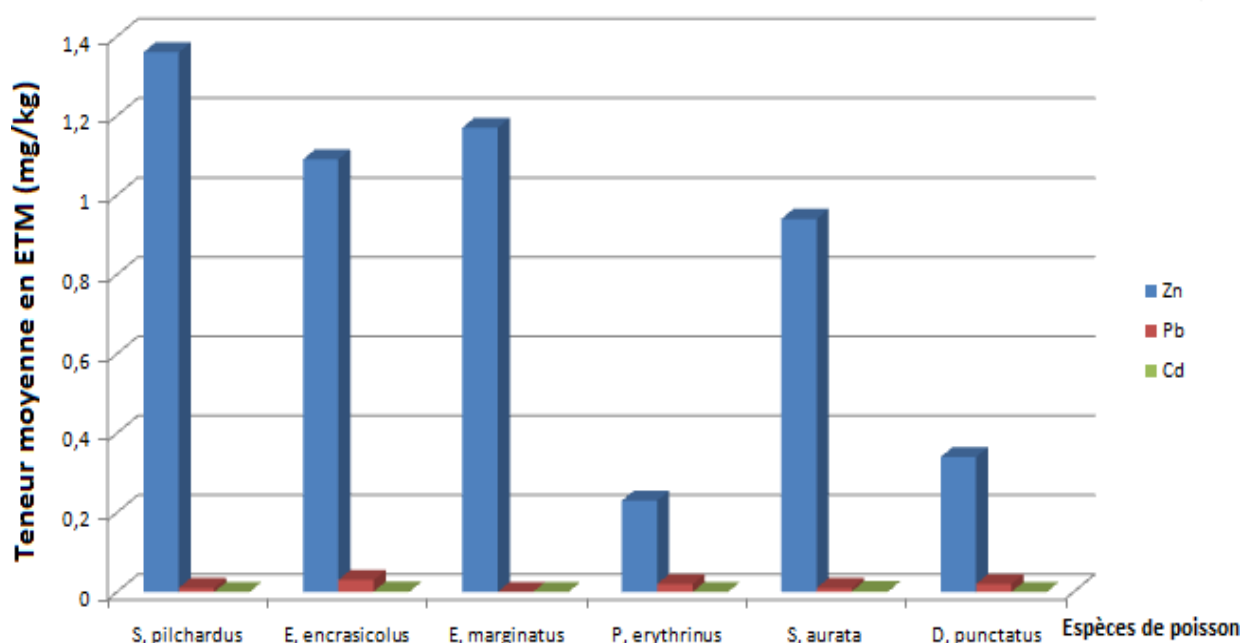


Figure 15. Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons

Il est à constater que les teneurs moyennes en zinc sont supérieures aux teneurs d'autres métaux étudiés ; plomb et cadmium. La teneur maximale en zinc est de 1.36 mg/kg (chez *Sardina pilchardus*). contre 0.03 mg/kg (chez *Engraulis encrasicolus*) et 0.002 mg/kg (chez *Sparus aurata*) pour le plomb et le zinc, respectivement.

Par ailleurs, les teneurs moyennes en plomb (Pb) et en cadmium sont très faibles, avec des teneurs maximales de 0.03 mg/kg (chez *Engraulis encrasicolus*) et de 0.002 mg/kg (chez *Sparus aurata*) pour le plomb et le cadmium, respectivement. Il s'avère que même le cadmium est totalement absent dans les tissus de certaines espèces des poissons éviscérés, à savoir ; *Sardina pichardus*, *Epinephelus marginatus*, *Pagellus erythrinus*, *Dicentrarchus punctatus*. Tel aussi pour le plomb (Pb) dans les tissus de *Epinephelusmarginatus*.

IV.1.3 Particules de plastique dans les tractus gastro-intestinaux des poissons

Les supposés microplastiques détectés dans des échantillons de tractus gastro-intestinaux de nos spécimens de poissons observés sous microscope optique sont décrits par leurs nombres (Choy & Drazen, 2013), leurs formes (fragment, fibre, film, mousse, et microbille), et leurs couleurs caractéristiques (transparent, noir, blanc, rouge, bleu, ou autre) (Kooi & Koelmans, 2019).

Les figures 16a et 16b montrent des photographies prises sous observations microscopiques d'échantillons de voies digestives des poissons capturées.

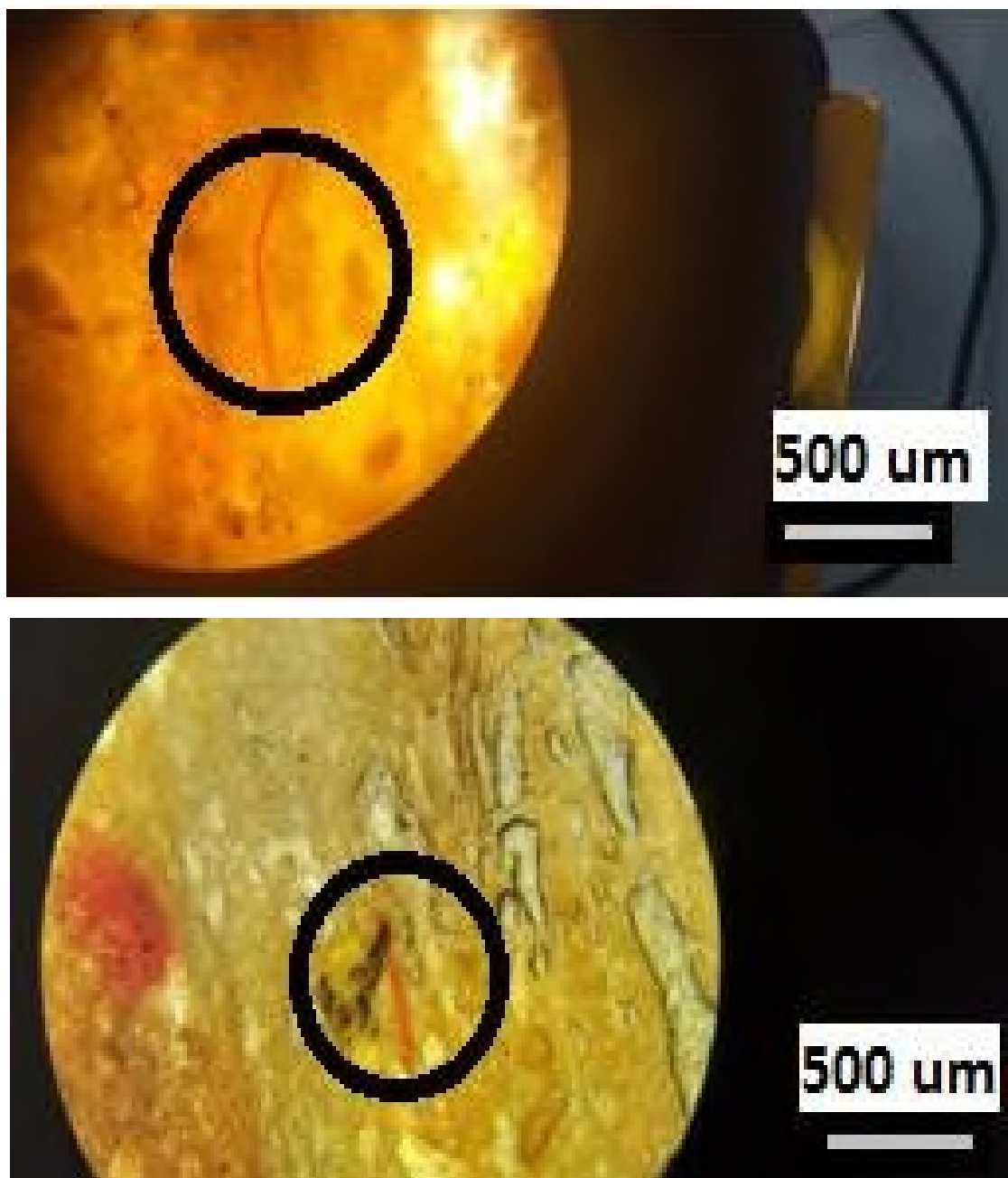


Figure 16a. Photographies microscopiques de ce qui est supposé être des microplastiques

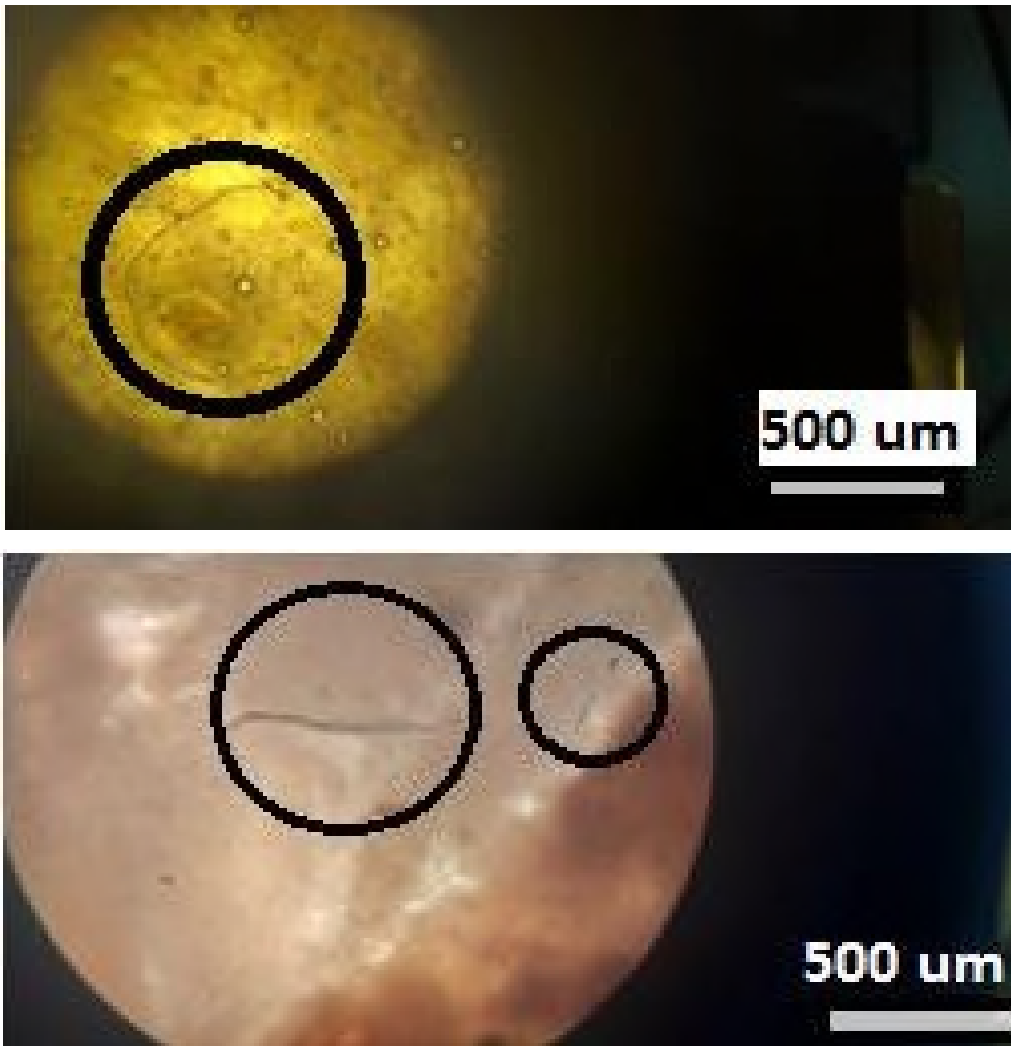


Figure 16b. Photographies microscopiques de ce qui est supposé être des microplastiques

Les tableaux V, VI, et VII font état de nombres, de formes, et de couleurs de supposées entités microplastiques repérées pour chaque espèce de poissons.

Tableau V. Nombre d'entités supposées de microplastiques détectées dans les voies digestives des espèces de poissons échantillonnées

Espèces	Nombre d'entités de microplastiques
<i>Sardina pilchardus</i>	5
<i>Engraulis encrasicolus</i>	21
<i>Epinephelus marginatus</i>	15
<i>Pagellus erythrinus</i>	2
<i>Sparus aurata</i>	17
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	8

Tableau VI. Formes de particules supposées de plastique observées pour chaque espèce de poissons

Espèces	Formes caractéristiques des microplastiques				
	Fragment (débris)	Fibre	Film	Mousse plastique	Microbille
<i>Sardina pilchardus</i>	X	X			
<i>Engraulis encrasicolus</i>		X	X	X	
<i>Epinephelus marginatus</i>		X			
<i>Pagellus erythrinus</i>		X			
<i>Sparus aurata</i>	X	X		X	
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	X	X			

Tableau VII. Couleurs de particules supposées de plastique observées pour chaque espèce de poissons

Espèces	Couleurs caractéristiques des microplastiques					
	Transparent	Noir	Blanc	Rouge	Bleu	Autre
<i>Sardina pilchardus</i>	X			X		
<i>Engraulis encrasicolus</i>		X		X	X	
<i>Epinephelus marginatus</i>	X	X	X	X		
<i>Pagellus erythrinus</i>				X	X	
<i>Sparus aurata</i>	X	X	X	X	X	
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	X	X				X

Les particules de plastique sont plus présentes dans les tractus gastro-intestinaux des spécimens d'engraulidés *Engraulis encrasicolus*, avec 21 entités supposées de microplastiques repérées dans leurs tractus digestifs, suivis par *Sparus aurata* (17 particules), *Epinephelus marginatus* (15 particules), *Dicentrarchus punctatus* (8 particules), *Sardina pilchardus* (5 particules), et *Pagellus erythrinus* (2 particules).

Les formes fibreuses et fragmentées de microplastiques sont celles que nous détectons le plus dans les voies gastro-intestinales des espèces échantillonnées. Les films et mousses plastiques sont peu communément trouvés dans les voies digestives de ces dernières.

Quant aux couleurs de microplastiques communément reconnues, nos observations mettent plus en évidence les couleurs rouges, noir, et transparente dans les tubes digestifs des poissons, mais peu souvent d'autres couleurs caractéristiques (blanche, bleu, ou autre).

IV.2 Discussion et interprétation des résultats

IV.2.1 Des poissons remarquablement réduits en poids et entaille

Vraisemblablement, ni la pollution ni le réchauffement climatique n'affecteraient la taille et le poids des Sardines. Effectivement, ces facteurs sont souvent décrits comme de potentiels phénomènes à l'origine des diminutions de la taille, du poids, et de l'abondance des organismes marins (**Mearns, 2007**).

Ces résultats concordent avec ceux d'**Agostini (2002)**. Dans son étude il rapporte qu'aucun effet de la pollution n'a été observé sur le poids et la taille des espèces marines en Méditerranée. De même avec les études de **Beare et al. (2004)**, **Barange et al. (2009)**, et **David et al. (2017)** qui excluent toute influence potentielle de la pollution et du changement climatique sur la croissance et le développement des Sardines.

Par ailleurs, nos résultats contrastent avec les études de **Boyer et al. (2001)** et **Bellier et al. (2007)**, qui suggèrent de notables conséquences de la pollution et de l'environnement climatique sur l'écologie et la physiologie des populations d'espèces marines.

De faits contrastants sont notés pour les Anchois (*Engraulis encrasicolus*), qui apparemment perdent en taille et en poids. Cela est en accord avec ce que insinue l'étude de **Fiechter et al. (2015)** quant aux changements morphométriques observés chez les Anchois lors de comparaison des aspects morphométriques des populations de cette espèce vivant dans des sites aux degrés différents de pollution. Tel aussi ce que approuve **Goldsworthy et al. (2013)**, lorsqu'il met en relation l'état de pollution dans l'habitat et la croissance qui serait moins rapide observée parmi les organismes marins.

D'autre part, d'autres études n'ont pas signalé d'éventuelle incidence de la pollution sur la taille et le poids de l'espèce *Engraulis encrasicolus* (**MacCall, 2009 ; Halouani et al., 2015**).

IV.2.2 Teneurs moyennes en éléments traces métalliques dans les tissus des poissons

Les concentrations des ETM dans les tissus des différentes espèces sont comparées aux doses maximales admissibles (DMA) établies par la littérature scientifique (**Tab. VIII**).

Tableau VIII. Concentrations d’ETM retrouvées dans les tissus des poissons échantillonnés comparées aux doses maximales admissibles (DMA) (**Türkmen et al., 2011**)

Espèces	DMA		
	[Zn]	[Pb]	[Cd]
	5 mg/kg	0.3 mg/kg	0.15 mg/kg
<i>Sardina pilchardus</i>	1.36	0.01	0
<i>Engraulis encrasicolus</i>	1.09	0.03	0.001
<i>Epinephelus marginatus</i>	1.17	0	0
<i>Pagellus erythrinus</i>	0.23	0.02	0
<i>Sparus aurata</i>	0.94	0.01	0.002
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	0.34	0.02	0

Par suite des comparaisons, les concentrations d’ETM trouvées dans nos spécimens de poissons ne seraient pas susceptibles d’affecter la vie ou le fonctionnement écologique de ces espèces, du moins à court terme. Toutefois, les phénomènes de bioconcentration, de bioaccumulation, et de biomagnification pourraient se solder par d’éventuels impacts à long terme. Puisque, de par les phénomènes sus cités, il y aurait une élévation des concentrations d’ETM dans les maillons supérieurs au-delà même des doses maximales admissibles.

En fait, la modélisation de la bioaccumulation des métaux traces (analyses des modèles sur le long terme) montre que les ETM pourraient s’avérer dangereux à long terme (**Casas, 2005**). Néanmoins, les facteurs affectant la bioaccumulation du métal seraient déterminants aussi.

Certes les teneurs en éléments traces dans les tissus de poissons sont faibles, mais cela ne dit rien sur leur biodisponibilité, cette notion prépondérante dans le cas des espèces hautement bioaccumulatrices d’ETM.

IV.2.3 Particules de plastique dans les tractus gastro-intestinaux des poissons

Nos photographies de supposées microplastiques dans les tractus digestifs des différentes espèces de poissons ressemblent bien à celles présentées dans les études de: **Van Cauwenberghe et Janssen (2014)**, **Xiong et al. (2018)**, **Zhang et al. (2019)**, **Siegenthalet et Breider (2020)**, et beaucoup d’autres études. La limite pour notre étude est que nos données manquaient de caractérisation des groupements présents dans nos échantillons et qui décelaient notamment des formes fibreuses de microplastiques.

La présence en masse de présumées particules de plastiques dans les voies digestives des espèces *Engraulis encrasicolus*, *Sparus aurata*, et *Epinephelus marginatus* peut être expliquée par les particularités de leur régime alimentaires:

. *Engraulis encrasicolus* se nourrit essentiellement de copépodes (**Jemaa, 2016**), et à cause du caractère fusiforme de ces petits crustacés, *Engraulis encrasicolus* assimileraient apparemment les petits fragments de plastique à ces zooplanctons marins;

. *Sparus aurata* et *Epinephelus marginatus* ingèrent des particules de plastiques par le biais de biomagnification, puisque, ces espèces se nourrissent préférentiellement de petits poissons pélagiques zooplanctonophages comme *Engraulis encrasicolus*.

Généralement, d'un point de vue de l'impact que peut provoquer l'ingestion de microplastiques par les poissons, les études entreprises dans ce sens nous font état de diminution drastique de populations de poissons. **Pallone (2015)** et **Seltenrich (2015)** par exemple, ont observé une diminution de stocks de poissons dans des sites hautement sollicités par les déchets plastiques.

En fait, les micrplastiques affectent l'alimentation des poissons (**Wegner et al., 2012 ; Ogonowski et al., 2016**), leur croissance (**Au et al., 2015 ; Jeong et al., 2016**), leur capacité à se reproduire et à survivre (**Della Torre et al., 2014 ; Luis et al., 2015, Ogonowski et al., 2016 ; Booth et al., 2016**).

Autrement, certains organismes marins sont résistants aux contraintes induites par l'exposition aux micrplastiques (**Nasser & Lynch 2016 ; Watts et al., 2016**), ce qui suggère de réponses différentes des organismes vivants face à la présence des microplastiques dans leur environnement.

Conclusion

De nos jours, les diminutions de stocks d'espèces méditerranéennes seraient attribuables à la surexploitation et au réchauffement climatique, mais aussi à la pollution, qui étrangement demeure sous-considérée dans notre contexte local notamment.

Dans le cadre de cette étude, nous avons évalué les pollutions métallique (Zn, Pb, et Cd) et aux microplastiques chez six espèces méditerranéennes qui se sont remarquablement réduites en nombre ces cinq dernières années ; *Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*, *Epinephelus marginatus*, *Pagellus erythrinus*, *Sparus aurata*, et *Dicentrarchus punctatus*. Ces espèces sont toutes capturées sur six sites de la région de Bejaia.

Nos résultats montrent de faibles concentrations de métaux lourds dans les tissus des poissons, des teneurs en ETM n'excédant pas aux doses maximales admissibles. Néanmoins, ils montrent une présence en masse de présumée particules de plastiques chez *Engraulis encrasicolus*, *Sparus aurata*, et *Epinephelus marginatus*. Une pollution émergente de plus en plus palpable de nos jours.

Aussi, comme l'ont fait des études auparavant, nos résultats corroborent une diminution du poids et de la taille des espèces d'engraulidés (*Engraulis encrasicolus*), mais contrairement à ce qu'insinuaient d'autres études, le poids et la taille des Sardines ne seraient vraisemblablement affectés par les stressseurs environnementaux. Reste à confirmer ou non si l'ingestion de microplastiques serait à l'origine de ces évolutions de caractères.

Cette étude reste l'une des premières études à évaluer la pollution marine aux microplastiques en Algérie. Elle aurait absolument conclu sur des certitudes scientifiques plus intéressantes si ça aurait été conjuguée aux techniques de caractérisation des groupements organiques et de polymères pour fin de mise en évidence du type de pollution.

References bibliographiques

- . **Adams, SM. (2002)**. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. Bethesda, MD. American Fisheries Society.
- . **Ameur, B., Bayed, A., Benazzou, T. (2003)**. Rôle de la communication de la lagune de Merja Zerga (Gharb, Maroc) avec l'océan Atlantique dans la reproduction d'une population de *Mugil cephalus* L. (Poisson Mugilidae). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie. 25 :77-82.
- . **Araujo, RN. (2013)**. Évaluation de la contamination actuelle de métaux lourds et certains composés organiques persistants chez des poissons d'intérêt sportif du fleuve Saint-laurent à Québec. MEM (M. E.) UNIV. SHERBROOKE. 72 p.
- . **Bahloul, F. (2014)**. Contribution au développement de la méthode d'estimation des ressources en eau (Cas des ressources en eau du bassin versant de la Soummam). Mem. Mag, Univ. Bejaia. 127 p.
- . **Benoit Chabot, V. (2014)**. Les facteurs de sélection des bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision. Maîtrise en environnement, Univ. SHERBROOKE. 104 p.
- . **Benzer, S., Arslan, H., Uzel, N., Gül, A., Yilmaz, M. (2013)**. Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* (L., 1758) from Mogan Lake (Turkey). Iranian Journal of Fisheries Sciences 12(1) pp45-55.
- . **Biney, C., Amuzu, AT., Calamari, D., Kaba, N., Mbome, IL., Naeve, H., Ochumba, O., Oibanjo, O., Radegonde, V., Saad MAH. (1999)**. Études des métaux lourds. Archives de documents de la FAO.
- . **Bliefert, C., Perraud, R. (2011)**. Chimie de l'environnement : air, eau, sol, déchets. 2^{ème} Édition, Ed. De Boeck Université, Bruxelles. 465p.
- . **Blierfert, C., Perraud, R. (2001)**. Chimie de l'environnement : Air, eau, sol, déchets. 1er Édition, Ed. De Boeck Université, Bruxelles. 478p.
- . **Bouhadiba Chenait, S. (2009)**. Évaluation des quatre métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Zn) chez le mulot (*mugil cephalus* Linné 1758) pêcher dans les baies d'Oran et béni Saf. Mag, Sci, Env, Univ., Oran. 114p.
- . **Carr SA, Liu J, Tesoro AG. (2016)**. Transport and fate of microplastic particles in waste water treatment plants. Water Res. 91 :174-182. DOI: 10.1016/j.watres.2016.01.002.
- . **Caurdon, A. (2006)**. Première évaluation de la contamination par les métaux lourds chez la truite commune (*Salmo trutta*) sur le bassin de l'Arve. Fédération de Haute-Savoie pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. 11 p

- . **Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. (2003).** Détermination des métaux dans les tissus animaux : méthode par spectrométrie au plasma d'argon après minéralisation acide, MA. 207 – Mét 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec. 19 p.
- . **Chaguer, M. (2013).** Analyse et spéciation des métaux dans un Oued en zone minière : Cas de l'Oued Essouk. Doc, Univ. Constantine 1. 130 p.
- . **Cherghou, S., Khodari, M., Yaakoubi, F., Benabid, Y., Badri, A. (2002).** Contribution à l'étude de régime alimentaire du barbeau (*Barbus barbus callensis* Valenciennes, 1842) d'un cours d'eau du moyen-atlas (Maroc) : Oued Bouferkane. Revue des sciences de l'eau. 153-163.
- . **Cole, Matthew ; Lindeque, Pennie; Halsband, Claudia; Galloway, Tamara S. (2011).** Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. In : Marine pollution bulletin, Vol, 62,n°,12 p. 2588–2597. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
- . **Da Costa, J. P., Santos, P. S. M., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2016).** (Nano)plastics in the environment – Sources, fates and effects. Science of The Total Environment, 566-567, 15– 26. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.041.
- . **Djouad Kadji, H., Benslimane, S., Chevalier, C., Kadji, B., Exbrayat, JM., Iguerouada, M. (2012).** First observation of intersex in barbell *Barbus callensis* (Valenciennes, 1842) collected in Soummam River (Algeria). *Cybium*, 36 (4): 531 - 538.
- . **Djouad Kadji, H., Kadji, B., Benslimane, S., Exbrayat, JM., Iguerouada, M., Chevalier, C. (2012).** Description histologique des différents stades de développements ovocytaire de *barbus callensis* (valenciennes, 1842) dans l'Oued Soummam (Algérie). Rev. Fr. Histotechnologie., vol 25. 1 : 13-21
- . **El Hilali, M. (2007).** L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L, 1758) dans le bas-Sebou : biologie et infection par Anguillicola Crassus. Thèse doc, Univ, MOHAMED V, Rabat : 200 p.
- . **El Morhit, M., Fekhaou, M. (2012).** Contamination métallique des muscles de cinq espèces de poissons de l'estuaire du bas loukkos (cote atlantique marocaine. *ScienceLib* Ed. Mersenne : Vol 4, n ° 120116.
- . **FAO & ONU. (2010).** Projet régional méditerranéen de développement de l'aquaculture: Techniques d'élevage intensif et d'alimentation de poissons et de crustacés Villanova di Motta di Livenza Italie - Vol. II.
- . **Frère L, Paul-Pont I, Rinnert E, et al.(2017).**Influence of environmental and anthropogenic factors on the composition, concentration and spatial distribution of microplastics: A case study of the Bay of Brest (Brittany, France). Environ Pollut. ; 225 :211

222.

- . **Gaujous, D. (1995).** La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire. 2^{ème} Ed, Ed.
- . **Genin, B., Chauvin, C., Menard, F. (2003).** Cours d'eau et indices biologiques : Pollution-Méthodes-IBGN. 2^{ème} Ed, Ed, Educagri : 220 p.
- . **GESAMP. (2015).** "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment" (Kershaw, P. J., ed.). (IMO /FAO /UNESCOIOC/ UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- . **Gerard, M. (2000).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la sante. Rapport : 365 p.
- . **Ghalaoui, MA. (2009).** Mise au point de nouvelles méthodes analytiques spectroscopiques et électrochimiques de détection des éléments traces dans différents types de matrices. Thèse d'Université Hassan II.FSTM.
- . **Gilli, E., Mangan, C., Mudry, J. (2008).** Hydrogéologie : Objets, méthodes, applications 2^{ème} Ed. Ed, DUNOD, Paris. 354 p.
- . **Kraiem, MM. (1994).** Étude systématique de la biogéographie de genre *Barbus* (cuvier, 1817) (poissons, Cyprinidae). Cas des barbeaux tunisiens. *Bull. Edition* : INSTM (25) : 101-107.
- . **Lambert, S., Sinclair, C., & Boxall, A. (2013).** Occurrence, Degradation, and Effect of Polymer-Based Materials in the Environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Volume 227, 1–53. DOI: 10.1007/978-3-319-01327- 5
- . **Lambert, S., Sinclair, C., Boxall, A. (2014).** Occurrence, degradation, and effect of polymer-based materials in the environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 227, 1–53. DOI: 10.1007/978-3-319-01327-5_1.
- . **Lechner A, Keckeis H, Lumesberger-Loisl F, et al. (2014).**The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environ Pollut.* 188(100):177- 181. DOI : 10.1016/j.envpol.2014.02.006.
- . **Leveque, C. (1996).** *Écosystèmes aquatiques*. Ed, Hachette : 159 p. Loi n° 03-10 du 19 Jomada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

- . **Maane, S. (2011)**. Qualités des eaux de l'Oued Soummam : Caractérisation et impacts des facteurs Anthropiques et Naturels. Doc, Univ, Bejaia : 97 p.
- . **Mouni, L., Merabet, L., Arkoub, H., Moussaceb, K. (2009)**. Étude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). *Rev Sécheresse*,
- . **Oumar, B., Ekengele, NL., Augustin, O., Balla, D. (2014)**. Évaluation du niveau de pollution par les métaux lourds des lacs Bini et Dang, Région de l'Adamaoua, Cameroun, *Rev Afrique Science*, vol 10, no2 : 184-198
- . **Ramade, F. (2011)**. Introduction à l'écochimie les substances chimiques de l'écosphère à l'homme. Ed, Lavoisier. paris : 828 p.
- . **Raven, PH., Berg, LR., Hassenzahl, D.M. (2008)**. Environnement. 6ème Ed, Ed, De Boeck : 687.
- . **Renault, S. (2011)**. Étude écotoxicologique des impacts des contaminations métallique et organiques chez l'anguille européenne (*Anguilla Anguilla L.*), dans l'estuaire de la gironde. Thèse doc, Univ, Bordeaux 1 : 420 p.
- . **Thibaut Saur (2018)**, Les microplastiques ; Méthodologies et abattements des STEU en matière de pollution aux microplastiques. JBGE Lausanne, SUEZ.
- . **Trabelsi Zouari, A. (2011)**. Effet intra-ponte du moment d'éclosion sur la morphologie, la croissance et l'efficacité métabolique des larves de brochet *Esox lucius* et de carpe commune *Cyprinus carpio*. Doc, Univ, Sfax : 134 p.
- . **Wagner, Martin; Lambert, Scott. (2018)**. Freshwater Microplastics. Cham: Springer International Publishing (58). <http://www.springer.com/series/698>.
- . **WILSON & WILSON'S. (2017)**. Characterization and analysis of microplastics. 1ère édition. Amsterdam Netherlands, Oxford United Kingdom, Cambridge MA United States: Elsevier.

Résumé

Les stocks halieutiques en Méditerranée sont sujets à de fortes pressions de la pêche, du réchauffement climatique, et de la pollution. Cette étude a évalué les pollutions métallique et microplastique dans les tissus de poissons de moins en moins abondants ces derniers temps à Bejaia, et qui aurait potentiellement contribuées à l'épuisement de leurs stocks.

Nos résultats mettent en avant une pollution métallique modérée, mais une présence plus manifeste de supposées particules de plastiques qui aurait influencée peut être le poids et la taille des engraulidés.

Nos résultats peu concluants sont néanmoins encourageants pour se mettre sur cette piste de recherche en Algérie. Et évidemment, les conclusions seraient intéressantes avec des effectifs importants et des moyens d'exploration à disposition.

Mots-clés : Pollution marine, Métaux lourds, microplastiques, stocks halieutiques

Abstract

The fish stocks in Mediterranean Sea are subject to strong pressure from fishing, global warming, and pollution. This study assesses metallic and microplastic pollution in the tissues of increasingly scarce fish in Bejaia, and which would have potentially contributed to the depletion of their stocks.

Our results highlight a moderate metallic pollution, but a more obvious presence of supposed plastic particles which perhaps would have influenced the weight and the size of the engraulidae.

Our inconclusive results are nevertheless encouraging to put on this track of research in Algeria. And of course, the conclusions would be interesting with large samples and available exploration material.

Keywords: Marine pollution, Heavy metals, microplastics, fish stocks