



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement et de la recherche scientifique



Université Saad Dahleb – Blida -

Faculté de technologie

Département du Génie des procédés
Spécialité Génie d'Environnement
Université Blida 1

Thème :

**Identification et caractérisation des
micro plastiques dans les sédiments
marins de la baie de Bousmail**

Présente par :

- ❖ MALKI Aya
- ❖ BENMIRA Marwa

Encadré par

Présidente	Dr	Mme Bensahla	Université Blida 1
Examinatrice	Dr	Mme Brahim	Université Blida 1
Promotrice	Dr	Belhouchet Nassima	CNRDPA
CO Promoteur	Pre	Bouras Omar	Université Blida 1

L'année universitaire 2024 2025

Remerciement

Remerciement

Avant toute chose, nous remercions Dieu, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à notre encadrante **Madame BELHOUCHE NASSIMA** pour son accompagnement, ses conseils précieux et sa bienveillance tout au long de ce projet.

Nous remercions également **Monsieur BOURAS OMAR** pour son appui et ses orientations pertinentes qui ont enrichi notre travail.

Nous remercions également le **Dr DILMI Ammar**, le directeur de la ferme du **CNRDPA**, de nous avoir accueillis pour travailler à la ferme, ainsi que tout le personnel pour leur coopération avec nous : **Madame Rahma, Madame Hafida et Madame Amel.**

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives.

En conclusion, nous voudrions remercier tous ceux qui nous ont aidés et soutenus.

Dédicace

Dédicace

A mes chers parents,

Papa, tu as toujours été cette force silencieuse qui me soutient
et me guide.

Maman, ton amour et tes prières ont été ma lumière dans les
moments difficiles merci pour tout. Que Dieu vous protège et
vous gardes près de moi

A mon frère et sœurs,

Votre présence, votre soutien et vos paroles réconfortantes ont
toujours été un vrai soulagement pour mon cœur

A mes ami(e) s fidèles,

Merci pour les sourires partagés, les mots qui encouragent, et
votre présence tout au long du chemin.

Je vous dédie ce travail, avec tout mon amour et une immense
gratitude

MALKI AYA

Dédicace

A ma mère, qui a été à la fois mère et père, pilier de ma vie,
lumière et source infinie d'Amour ce travail est le fruit de tes
sacrifices

A mon père, merci pour ton soutien discret et ta présence
rassurante.

A ma sœur, ma complice, merci pour ta joie, ton écoute et ton
soutien constant.

A ma grande mère, pour ton amour, ta sagesse et tes prières
bienveillantes.

A mes cousins, merci pour vos rires et votre présence pleine
de légèreté.

Ce mémoire vous est dédié, avec tout mon amour

BENMIRA MEROUA

Liste de figures

Figure I 1 : photo numérique du cnrdpa (centre nationale de recherche et développement de la pêche et d'aquaculture)	5
Figure I 2 :photo de la pollution plastique des océans	7
Figure I 3 :photo de micro plastique primaire	16
Figure I 4 :photo de micro plastique secondaire	17
Figure I 5 : photo les source majoritaire démission des micro plastique	18
Figure I 6 :photo de sédiment marin	21
Figure II 1 : localisation de la zone d'étude (bousmail)	23
Figure II 2 : Fiche technique du bateau scientifique « Saleh » utilisé pour la réalisation de la campagne POLLMicroplastics01-2023	26
Figure II 3 :Positionnement des points de prélèvements des MPs	27
Figure III 1 : photo numérique Benne van veen utilisée pour le prélèvement des sédiments	29
Figure III 2 : : photos numériques des piétements des échantillons	30
Figure III 3 photo numérique de l'opération du séchage des échantillons	30
Figure III 4 :photos numériques qui présentent le protocole de analyse PH pzc	31
Figure III 5 : photos qui représentent l'analyse de la matière organique des sédiments	32
Figure III 6 : : photos numériques illustrant l'opération du tamisage des sédiments	33
Figure III 7 : : préparation de la solution saturée en NaCl	34
Figure III 8 : :Les étapes pour faites l'extraction des micro plastiques avec la solution de NaCl	34
Figure III 9 : :Les différentes étapes faites pour la filtration des micro plastiques	35
Figure III 10 : photo numérique de la loupe utilisé pour l'identification de MPs	35
Figure III 11 :Procédé de lecture du filtre	36
Figure IV 1 :représentation graphique de la matière organique	42
Figure IV 2 :représentation graphique de la granulométrie des échantillons étudiés	43
Figure IV 3 :les filaments de différents couleurs identifiées dans les MPs des sédiments	46
Figure IV 4 :résultats obtenus pour les différents types de particules MPs isolées dans cette étude	47

Figure IV 5: :les types identifiés dans les sediments	48
Figure IV 6 : distribution par taille des MPs identifiés dans les quatre radiales	49
Figure IV 7: Représentation graphique de la classification des MPs par couleur	50
Figure IV 8: photos numériques des MPs dans la zone de ferme marin FM(radiale C)	52
Figure IV 9: photos numériques des MPs dans la zone de la STEP de Bou-Ismaïl (radiale D)	52
Figure IV 10: :photos numériques des MPs dans la zone de la station de dessalement de bousmail(radiale E)	53
Figure I 11: :photos numériques des MPs dans la zone de station de dessalement FOUKA	53

Liste des tableaux

Tableau III 1	Catégories utilisées pour décrire les microplastiques	37
Tableau IV 1	Les résultats cde détermination du ph (pzc) des sédiments	40
Tableau IV 2	Taux de matière organique dans les sédiments marin étudiés	41
Tableau IV 3:	Variation du PH pzc des sédiments analysés	44
Tableau IV 4	les valeurs moyenne des particules MPs extraite dans les quatre radiales	50

Liste des abréviations

MPs : Micro plastiques

Radial C Ferme marine

Radial D STEP

Radial.E: Nouvelle station de dessalement

Radial F Station de dessalement fouka

MO : Matière organique

Sommaire

Remerciement		
Dédicace		
Liste des figures		
Liste des tableaux		
Liste des abréviations		
Résumé		
Introduction générale	1	
I Chapitre 1 Synthèse bibliographique		
I 1	Présentation CNRDPA	1
I 1 1	Projet de centre	4
I 2	Définition de pollution	4
I 2 1	Type de pollution	6
I 2 1 1	La pollution atmosphérique	6
I 2 1 2	Pollution d'eau	6
I 2 1 3	Pollution du sol et de végétation	6
I 2 2	définition de la pollution des mers	6
I 3	Définition du plastique	7
I 3 1	Classification des déchets plastiques	8
I 3 2	Composition et origine des plastiques	8
I 3 3	Types de plastiques	9
I 3 4	Pollutions par les plastique	10
I 4	Définition de micro plastique	11
I 4.1	Pollution par micro plastique	11
I 4 2	Taille des micro plastiques	13
I 4 3	Distribution de micro plastique	13
I 4 3 1	Dans les océans	13
I 4 3 2	Dans les différent compartiments du milieu marin	14
I 4 4	Origines des micro plastique	15
I 4 4 1	Micro plastique primaire	15
I 4 4 2	Micro plastique secondaire	16
I 4 5	Les sources de micro plastique	17
I 4 6	Impact des MPs	18
I 4 6 1	Impact des MPs sur les sédiment	18
I 4 6 2	L'incapacité des organismes aquatiques	19
I 5	Définition de sédimentes	19
I 5 1	Types des sédiments	20
I 5 2	Le rôle des sédiments dans la rétention des micro plastiques	20
I 6	Impact des MPs	21
II Chapitre 2 : zone d'étude		
II 1	Généralités sur la zone d'étude	23
II 1 1	Localisation géographique	23
II 1 2	Situation administrative	24
II 1 3	Reliefs	24

II 1 4	Climat	24
II 1 5	Ressources hydrographiques superficielles	24
II 1 6	Choix de la zone d'étude	25
II 2	Prélèvement des échantillons	25
II 2 1	Plan de campagne et stratégies de prélèvements	25
II 2 2	Localisation des stations de prélèvement	26
III Chapitre 3 : matériel et méthodes		
III 1	prélèvement des sédiments	29
III 2	prétraitement des échantillons	29
III 2 1	transport et conservation des échantillons	29
III 2 2	séchage des échantillons	30
III 3	caractérisation des sédiments	30
III 3 1	ph pzc	30
III 3 1 1	protocole expérimentale	31
III 3 1 2	analyse des résultats	32
III 3 2	teneurs des sédiments en matière organique	32
III 3 2 1	protocole expérimentale	32
III 3 3	granulométrie	32
III 4	identification des MPs dans les sédiments	33
III 4 1	séparations des MPs par densité	34
III 4 2	la digestion de la matière organique	34
III 4 3	identification des micro plastiques sous la loupe binoculaire	35
III 4 4	lecture de filtre	36
III 4 5	identification des micro plastique	36
IV Chapitre 4 : résultats et discussions		
IV	Caractérisation des sédiments	39
IV 1	Granulométrie des sédiments	39
IV 2	Détermination du ph (pzc) des sédiments	40
IV 3	Taux de matière organique dans les sédiments étudiés	40
IV 4	Granulométrie	42
IV 5	Le PH pzc des sédiments étudiés	43
IV 6 :	Abondance des MPs dans les quatre radiales	45
IV 6 1 :	Classification des MPs par couleur	47
IV 6 2 :	Classification des MPs par type	48
IV 6 3 :	Classification par taille	49
IV 7:	Abondance des micro plastique dans la zone d'étude	51
IV-8	Point de station	50
CONCLUSION		55
Reference bibliographique		57

Résumé

الملخص

يركز هذا البحث على تلوث الرواسب البحرية بالبلاستيك الدقيق، مع تسليط الضوء على أصلها وتصنيفها (بلاستيك دقيق اولي وثانوي)، وتأثيرها على النظم البيئية البحرية، تم أخذ عينة من أربع المناطق من ساحل الجزائر، ثم تم اجراء تحليل حبيبي لتحديد حجم الجسيمات، الهدف الرئيسي هو تسليط الضوء على التأثير المتزايد للجسيمات البلاستيكية الدقيقة على البحار والمحيطات مع التأكيد على أهمية وضع خطط لإدارة هذا التلوث والحد منه

Résumé :

Cette recherche se concentre sur la contamination des sédiments marins due aux micro plastiques, en soulignant leur provenance, leur catégorisation (micro plastiques primaires et secondaires) et leur impact sur les écosystèmes marines. Un prélèvement a eu lieu dans une zone côtière déterminée, puis une analyse granulométrique a été réalisée pour déterminer la dimension des particules. Le but principal est de mettre en lumière l'effet grandissant des micro plastiques sur les mers et océans, tout en soulignant l'importance d'élaborer des plans pour gérer et réduire cette pollution.

summary

This research focuses on the contamination of marine sediments due to microplastics highlighting their origin, their categorization (primary and secondary micro plastics) and their impacts on marine ecosystems

A sample was taken from a specific coastal area, then a granulometric analysis was carried out to determine the particle size

The main goal is to highlight the growing effect of microplastic on seas and oceans while emphasizing the importance of developing plans to Manage and reduce this pollution

INTRUDUTION :

INTRUDUTION :

L'utilisation excessive des plastiques dans nos sociétés est due à ses propriétés fondamentalement intéressantes : faible poids, durabilité, faible couts et flexibilité (ce qui entraine sa dérivation en différente forme) ces principaux atouts seront démontrés après comme étant ses points négatifs majeurs dans l'environnement. De par son utilisation intense et sa mauvaise gestion, on retrouve actuellement du plastique dans tous les environnements, des océans profonds a la neige d'Arctique en passant par la pluie tombant sur les villes.

Malheureusement très diverses, celles revenant le plus souvent sont : l'industrie du textile et le lavage des vêtements, les produites cosmétique et les pneus de véhicules En conséquence, la production mondiale de plastique a augmenté de façon exponentielle depuis les années 1950 [1]. Alors qu'une partie des déchets en plastique est correctement gérée (par combustion ou recyclage), il a été estimé que des millions de tonnes de déchets plastiques finissent dans l'environnement marin (268 940 tonnes en 2014 ; [2]. 460 millions de tonnes de plastiques produits en 2021, contre 2,3 millions de tonnes en 1950. 73 % des déchets présents sur les plages sont en matière plastique. Le plastique n'est quasiment pas biodégradable. Sa durée de vie est estimée à plus de 400 ans. Comme il ne pèse presque rien, il se disperse facilement pour augmenter la pollution des milieux. Les plastiques représentent de 50 à 80% des déchets marins, ces déchets marins sont liés à la forte densité de population sur les côtes continentales [3].

Il existe différents types de matière la base des plastiques mais les plus domaine sont : le polyéthylène, polypropylène et polyvinyle chlorite. Au sein de l'environnement, ces plastiques vont subir divers processus de dégradation réduisant leur taille et formant les macro plastique mésoplastique mais de manière plus importante, les microplastique. Cette classification dépend de la taille du plastique mais la définition n'est pas univoque dans la communauté scientifique : les micro-plastiques définis comme ayant une taille de 0,1µm-5mm.

Il existe aussi une distinction entre microplastique primaire et secondaires. Les primaires sont issus directement de produites manufactures (souvent des produites de beauté) alors que les secondaires sont issues de la dégradation non intentionnelle de plastique dans l'environnement selon divers processus comme l'hydrolyse, la dégradation sous l'effet d'UV ou l'abrasion mécanique .

La présence des microplastiques dans les océans suscite des inquiétudes quant aux méfaits qu'ils représentent pour le fonctionnement de ces écosystèmes. Leur dispersion dans l'eau est un phénomène encore mal compris aujourd'hui, en partie à cause de contraintes liées aux méthodes d'analyse disponibles. Malgré tout, certaines études pointent du doigt que les fonds marins représentent un puits important pour ces polluants .

On estime qu'il y a environ 11 millions de tonnes de plastique et des millions de tonnes de déchets plastique dans les océans, et ce flux de déchets pourrait tripler d'ici 2040., Malheureusement, l'Algérie n'a pas développé ses recherches dans ce domaine, ce qui est considéré comme un problème à cette époque .

Les sédiments marins sont des zones d'accumulation idéales pour les micro plastiques en raison de leur capacité à piéger les particules plastiques, de la dynamique des courants marins, et de la complémentarité des propriétés physiques et chimiques des micro-plastiques et des sédiments. Cette accumulation pose un risque écologique majeur, car elle peut entraîner une contamination à long terme des écosystèmes marins et des organismes qui dépendent de ces sédiments. La nature des sédiments marins peut être résumée à 4 classes principales : la roche, les cailloutis et graviers, les sables et les vases

En raison de ce problème, l'équipe **Interactions Milieux-Ressources et Réseaux Trophiques** du **CNRDPA** a initié un projet de recherche visant à évaluer la pollution par les microplastiques dans le littoral algérien. Ce projet se focalise sur la réalisation de campagnes océanographiques afin d'étudier les trois compartiments principaux de l'écosystème marin : la colonne d'eau, les sédiments et le biote.

Notre travail se concentre particulièrement sur la contamination des sédiments marins par les micro plastiques.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la présence, la distribution et les impacts des micro plastiques dans les sédiments marins, afin de contribuer à une meilleure compréhension de ce phénomène croissant dans les écosystèmes marins, et d'identifier les risques environnementaux et sanitaires associé

Chapitre 01: synthèse bibliographique

1.Présentation de Centre Nationale de Recherche et de Développement de Pêche L'aquaculture CNRDPA :

Depuis sa création en 1921 et jusqu'à en 1964, le centre a mené ses activités sous la dénomination de « STATION D AQUICULTURE ET PECHE DE CASTIGLION »

En 1964, les stations de Castiglione et de Beni Saf ont été ériges en institut sous la dénomination de « INSTITUT SCIENTIFIQUE ET TECGNOLOGIE DES PECHEES ET DE LAQUACULTURE » par abréviation « ISTPA » par décret N 64-164 du 22 mai 1964 portant création et organisation de L LSTPA et placé sous la tutelle du Ministère de l'agriculture puis rattaché ou Ministère d'état chargé des transports, Dérations de la marine marchande des pêches et ports par décret N 68-13 du 23 janvier 1968

L ISTPA a été dissout en 1976 PAR Décret ses structures ont été rattachées à l'institut supérieur maritime (ISM)

En 1981 création de centre d'étude de recherche appliquée et de documentation pour la pêche et l'aquaculture (CERP) sous la tutelle du ministère des transports, transféré sous la tutelle du ministère de l'hydraulique, des forêts et de pêche puis rattache au ministère de l'agriculture et de la pêche

En 1990, le CERP a été dissout et rattache à l'institut des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (ISMAL, ministre de l'enseignement supérieur)

En 1993, création de centre national d'études et documentation pour la pêche et l'aquaculture (CNDPA) sous la tutelle du ministère de l'agriculture et de pêche, puis avec la création du ministère de pêche et des ressources halieutiques (MPRH) en 1999 le centre est automatiquement passé sous sa tutelle

En 2008, le CNDPA a été transformé en CNRDPA par décret exécutif n 08 -128 du 24 Rabie Etahani 1429 correspondent mois d'avril 2008.

1.2. Organisation du CNRDPA

- Divisions division pêche
- Division aquaculture
- Division Ecosystème aquatique



Figure I.1 : photo numérique du CNRDPA (Centre Nationale De Recherche Et Développement De La Pêche Et D'aquaculture)

I.2.Définition de pollution :

Les pollutions induites par les activités humaines sont nombreuses et diversifiées. Une pollution peut résulter de l'introduction d'un polluant dans un milieu ou d'une perturbation des conditions du milieu. Elle entraîne la dégradation d'un écosystème. Un polluant est une substance artificielle ou naturelle, introduite par l'Homme dans un milieu où elle était auparavant absente ou présente en faible quantité. Les pollutions peuvent être diffuses, c'est-à-dire dues à de multiples rejets de polluants dispersés dans l'espace et dans le temps (et donc difficilement identifiables), ou accidentelles, produites localement et ponctuellement, telles que les marées noires.

Les effets « cocktails », autrement dit la présence et/ou l'accumulation de plusieurs polluants, rendent les prévisions des conséquences d'une pollution donnée très délicates à déterminer. L'effet cumulé de plusieurs polluants est souvent plus fort que la simple addition des effets individuels de chaque polluant

Les pollutions liées aux activités humaines touchent tous les aspects de l'environnement : air, eau (douce, salée), sols (y compris le permafrost), nuit, sédiments et enfin êtres vivants. Il existe ainsi différentes catégories de pollutions, qui peuvent être classées soit en fonction de la nature de leurs polluants, du compartiment de l'environnement affecté ou de la nature de ses effets. [4].

I.2.1. les type de la pollution :

I.2.1.1. La pollution atmosphérique :

Concerne la dégradation de l'air que nous respirons à cause de substances polluantes qui se retrouvent dans l'atmosphère. Des pics de pollution atmosphérique ont souvent lieu en été. Les principaux polluants atmosphériques sont les particules fines, le dioxyde de soufre (SO₂), l'ozone (O₃), les oxydes d'azote (NO et NO₂), les composés organiques volatils (COV), etc (Misztal et all, 2015)

I.2.1.2 Pollution de l'eau :

La pollution de l'eau est la contamination par des déchets, des produits chimiques ou des micro-organismes. Les pollutions des eaux sont dues : 1. à l'agriculture (à cause des pesticides et des engrais). 2. des rejets ménagers (médicaments et biocides rejetés via des eaux usées et que les stations d'épuration et le lagunage ne savent pas traiter). Les phosphates polluent le cours d'eau par un phénomène appelé eutrophisation : le cours d'eau est asphyxié par la prolifération

d'algues pour qui le phosphate joue le rôle d'engrais. L'eau est polluée par les marées noires mais surtout par les rejets d'hydrocarbures des bateaux.

I.2.1.3.Pollution du sol et de végétation :

La notion de pollution du sol désigne toutes les formes de pollution touchante n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain...). Un sol pollué devient à son tour une source possible de diffusion directe ou indirecte de polluants dans l'environnement, via l'eau, les envols de poussières, vapeurs gazeuses ou via une ré-concentration et transfert de polluants par des organismes vivants (bactéries, champignons, plantes à leur tour mangés par des animaux). [5]

I.2.2. définitions de la pollution des mers :

La pollution marine est définie comme l'introduction directe ou indirecte de substances ou d'énergie, y compris des sons sous-marins d'origine humaine, dans le milieu marin, entraînant ou risquant d'entraîner des effets nuisibles sur les organismes marins et les écosystèmes. Elle contribue à la perte de la biodiversité, menace la santé humaine et entrave les activités maritimes telles que la pêche et le tourisme, en plus d'altérer la qualité des eaux et leur valeur esthétique. Les déchets aquatiques, qu'ils soient domestiques, industriels ou naturels, représentent une grande part de cette pollution et se présentent sous différentes formes : déchets flottants, déchets déposés sur les fonds marins, ou échoués sur les plages. On estime que 80 % de la pollution marine provient de sources terrestres, transportée par les eaux de ruissellement ou par les vents. Avant 1972, les êtres humains rejetaient librement dans les océans des déchets, des boues d'épuration, des substances chimiques, industrielles et même Radioactives, ce qui a entraîné l'accumulation de millions de tonnes de polluants. Pour y remédier, des accords internationaux comme la Convention de Londres en 1975, puis le Protocole de Londres en 2006, ont été mis en place afin de restreindre l'élimination des substances dangereuses en mer. La pollution marine regroupe plusieurs types de pollution : chimique, lumineuse, sonore et plastique.[6]



Figure I-1: photo de pollution plastique des océans

I.3.Définition du plastique :

Le terme « plastique » provient du latin plasticus, « relatif au modelage », emprunté du terme grec plastikos, « malléable, qui sert à modeler » (Rey, 1992) La « matière plastique » se définit de la manière suivante : « matière synthétique, constituée de macromolécules obtenues par polymérisation ou polycondensation et qui peut être moulée ou modelée » (Rey, 2007). La définition du terme « plastique » ramène prioritairement à la notion de mise en forme : « qui a le pouvoir de donner la forme » (Rey, 2007). En effet, le terme « plastique » a d'abord été employé en tant qu'adjectif : « qui vise la reproduction ou la création de formes par modelage », se rapprochant de l'expression art plastique (Rey, 2007). Ainsi le terme plastique semble avoir été depuis toujours associé à la mise en forme. Il est à noter que le terme « plastique », utilisé comme nom commun, constitue une ellipse de « matière plastique » (Rey, 2007)

Dans le domaine de la chimie, plusieurs définitions sont proposées. Des définitions partielles, très larges et incomplètes, sont données : « n'importe quelle matière qui peut être chauffée ou moulée et qui conserve sa forme une fois refroidie est un plastique » (CCSP, 2009b) ou « matière intrinsèquement sans forme pouvant être moulée ou modelée sous la chaleur et/ou la pression » (Koch, 2013). Les matières plastiques présentent plusieurs avantages par rapport à d'autres matériaux à savoir :

- Faible densité.
- Peu altérables face à l'humidité, à la corrosion, aux agents chimiques, aux bactéries et aux champignons.
- Peu coûteuses à produire.
- Imperméables à l'eau, aux gaz et aux solvants.
- Grande résistance mécanique.
- Isolants électriques, thermiques ou acoustiques.

- Non-altération de la qualité des aliments.
- Aseptiques et faciles d'entretien.
- Etirables pour certaines.
- Translucides ou transparentes pour certaines.
- Faciles de coloration.
- Recyclables pour certaines.

[7,8].

I.3.1. Classification des déchets plastiques :

- Le Micro plastique se définit comme un matériau (particule de plastique) qui a une longueur de diamètre ≤ 5 mm pour la majorité des particules.
- Selon Lambert et al, (2014) que les particules > 5 mm sont des macro plastiques,
- Les mésoplastiques comme 5 à > 1 mm, –
- Les micro plastiques comme 1 mm à $> 0,1$ μm
- Les nano plastiques comme 0,1 μm .

[9]

I.3.2. Composition et origine des plastiques :

Le plastique est composé de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O), d'azote (N), de soufre (S), et de silicium (Si) [10]

I.3.3. Types de plastiques :

Les plastiques sont réparties en trois catégories principales :

- Les thermoplastiques** : ce sont des polymères obtenus à partir de petites molécules carbonées qui, sous l'effet de la chaleur, fondent et redeviennent rigides à température ambiante. Cette catégorie représente 75% des déchets plastiques . Les liaisons de ces plastiques sont faibles et peuvent être rompues lorsqu'elles sont chauffées et se reforment une fois la matière refroidie. Parmi les thermoplastiques, les catégories les plus utilisées sont :
 - **PEHD** (Polyéthylène Haute Densité) utilisé dans des applications à parois épaisses rigides notamment pour les bouteilles de lait, de détergent et de produits ménagers, flacons de shampoing, certains sacs poubelles, bouteilles d'huile, barquettes et pots de yaourt, etc.

- **PE** (Polyéthylène) est le plastique le plus courant et le moins cher, il constitue un bon isolant électrique. Grâce à ses propriétés, il peut être réutilisé facilement ;
- **PET** (Polyéthylène téréphtalate) est utilisé essentiellement dans les emballages (bouteilles, pots, barquettes) notamment pour la fabrication de bouteilles à usage unique car il est léger, n'est pas coûteux et se recycle facilement. Il est, également, utilisé dans la fabrication de pièces d'équipement et d'automobile. Il est employé en fibres textiles
- **PEBD** (Polyéthylène Basse Densité) sert à la fabrication des films d'emballage, sacs poubelles, films pour l'agriculture, etc.
- **PP** (Polypropylène) est un polymère très utilisé car il est facile à colorer et n'absorbe pas l'eau. Il est utilisé dans la fabrication des fibres synthétiques et équipements automobiles, pots et flacons etc.
- **PVC** (Polychlorure de Vinyle) est un plastique très instable qui se brise facilement, toutefois, il constitue un bon isolant électrique, peu combustible et résistant à la chaleur. Il sert à produire des barquettes, des boîtes alimentaires, les tuyaux de canalisation, etc. ;
- **PS** (Polystyrène) est un plastique dur et cassant employé essentiellement dans la fabrication des emballages à usage unique pour viande, glace, appareils électriques, tasses et assiettes, les barquettes et pots utilisés dans l'alimentation etc

b) Les thermodurcissables :

Ils ont la particularité de devenir insolubles (ils ne peuvent pas se dissoudre) et infusibles (ils ne peuvent pas être fondus) après polymérisation. Ils ne peuvent plus subir des modifications après refroidissement du fait de leur rigidité. Ce sont généralement des polyesters insaturés. C'est le cas des cabines de bateaux, piscines, toitures et vernis. Ces plastiques possèdent des liaisons chimiques solides qui ne se cassent pas sous l'effet de la chaleur. Parmi ces plastiques, citons :

- **Polyuréthanes**
- **Polyesters**
- **Epoxydes**
- **Phénoliques**
- **Bakélite (résine synthétique)**
- **Mélatamine**

c) **Les élastomères** : Un élastomère est un polymère présentant des propriétés « élastiques », obtenues après réticulation. Il supporte de très grandes déformations avant rupture. Le terme de « caoutchouc » est un synonyme usuel d'élastomère, il est utilisé essentiellement pour la fabrication de pneumatiques, joints, gants médicaux, chaussures, etc [10].

I-3-4-Pollutions par les plastiques :

Les études sur les risques associés aux plastiques se développent dès les années 1950. En effet, en 1953, une publication paraît sur le contrôle de la poussière de plomb dans une usine de fabrication de plastiques vinyliques [11]. C'est donc au plus près du travailleur ouvrier, premier exposé à certains additifs toxiques lors de la fabrication du plastique, que sont mis en évidence les premiers risques associés aux plastiques. Le tournant des années 1970 est marqué par une prise de conscience progressive de l'importance des questions environnementales. En 1971, Greenpeace et le World Wide Fund (WWF), deux organismes non gouvernementaux s'impliquant dans la protection de l'environnement, sont créés. En juin 1972, a lieu la première conférence des Nations Unies consacrée aux questions environnementales : la conférence de Stockholm. La même année, le rapport « The limits to growth », évoquant pour la première fois la finitude des ressources terrestres, est publié par le Club de Rome [12]. Ainsi, à partir de 1973, le nombre de publications sur les déchets plastiques, les risques [13] et les impacts associés aux plastiques augmentent jusqu'à 77 publications en 1974. Les menaces physiques que représentent les plastiques pour les oiseaux marins sont mises en évidence dès 1973 [14, 16] .

I.4.Définition de micro plastique :

Les particules de plastique dans le milieu marin sont principalement décrites et classées en fonction du paramètre taille. Cependant, en dépit des nombreuses publications réalisées sur les pollutions par les particules de plastique, il n'existe pas de consensus absolu sur la définition de ce qu'est un « micro » plastique en termes de taille. Ceci est probablement dû au fait qu'en 2004, lors de première mention du terme « micro plastique » (document donc de référence pour l'ensemble de la communauté des chercheurs travaillant sur les micro plastiques), Thompson et collaborateurs ne donnent pas de définition du terme « micro plastiques » [17]. Il faut attendre 2008 pour que soit proposée la première limite permettant de différencier « macro débris » de « micro débris » de plastique : celle de 5 mm [18]. Ainsi, lorsque le nombre de publications sur les micro plastiques a commencé à s'accroître, entre

2010 et 2013, un nombre important de limites supérieures ont été proposées - < 10 mm (Carson et al., 2011) ; - < 5 mm [19] ; - < 2 mm (Rosevelt et al., 2013) ; - < 1 mm [20] .

Si certaines de ces limites de taille continuent encore de coexister, la limite supérieure la plus couramment utilisée reste celle de 5 mm. C'est une définition par usage, pragmatique et sans autres justifications [21]. Elle est par exemple utilisée par des organismes importants tels que le National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [22]. Cependant, depuis le début des années 2010, certains auteurs se sont posé la question de la pertinence de cette limite [23] et sur l'importance d'une définition scientifiquement plus rigoureuse [24]. En ce sens, la limite de 1 mm paraît plus pertinente scientifiquement pour certains auteurs [25] dans le sens où le préfixe « micro- », dans le système international des unités, se rapporte à des longueurs comprises entre 1 μm et 1 mm. La limite inférieure est encore plus variable d'une étude à l'autre. Dans certains cas, la limite est placée à 1 μm [26], permettant ainsi de rester cohérent avec la signification du préfixe « micro ». Cependant, peu d'études ont été consacrées aux nano plastiques. Ainsi, si cette limite a déjà été utilisée dans le cadre d'une étude impliquant des nano plastiques [27], une autre utilise une taille de 100 nm [28]. En effet, la norme ISO TS/27 687 définit une nanoparticule comme un objet dont les trois dimensions sont inférieures à 100 nm. Enfin, il reste que le plus souvent la limite inférieure des micro plastiques étudiés est étroitement liée à la méthode d'extraction utilisée [29]. Le meilleur exemple

En est le prélèvement des micro plastiques à la surface de l'eau. En effet, l'utilisation de système de piégeage de micro plastiques tel que les chaluts Manta limitent la récupération des micro plastiques au diamètre des mailles. Ainsi, des limites basses à 50 μm [30], 500 μm sont observés dans la littérature scientifique et illustrent l'hétérogénéité des limites basses dans ce seul contexte. C'est donc souvent le pragmatisme lié .

À la disponibilité du matériel de collecte et d'analyse qui domine le choix de la limite inférieure de la classe « micro plastique ». La notion de taille des particules est étroitement liée à la notion de forme de celle-ci. Ce problème a été largement abordé en sédimentologie dans le domaine de la granulométrie des particules de sédiment. Lorsque la forme de la particule s'éloigne de la sphère (pour laquelle toutes les dimensions sont égales au diamètre) ces dimensions diffèrent. Par conséquent, par taille des particules, il sera entendu ici le diamètre équivalent de la particule, c'est-à-dire le diamètre qu'aurait une sphère se comportant de manière identique lors de l'analyse granulométrique (tamisage et granulométrie laser).[31 , 39]

I.4.1. Pollution par micro plastique :

Les premières découvertes de particules de plastique de taille inférieure à quelques millimètres remontent aux années 1970. En 1971, des fibres synthétiques sont identifiées pour la première fois dans des échantillons d'eau prélevés près des côtes anglaises [40]. En 1972, des granulés de pré production industrielle mesurant entre 0,25 et 0,5 mm sont détectés en mer des Sargasses [41]. En 1974, les premières cartes de la pollution de surface par des plastiques de petite taille sont publiées pour l'Atlantique nord-ouest [42] et le Pacifique [43]. En 1997, le navigateur Charles Moore, en traversant le gyre du Pacifique Nord, introduit l'expression "Great Pacific Garbage Patch" (la "grande poubelle du Pacifique"), qui sera par la suite popularisée sous le nom de "7e continent de plastique". Cependant, ce n'est qu'en 2004 que le terme "micro plastique" est employé pour la première fois afin de désigner ces particules de plastique de moins de quelques millimètres présentes dans l'environnement [44]. Ce n'est qu'à partir de 2010 que les recherches sur la pollution par les micro plastiques se sont intensifiées.

I.4.2. Taille des micro plastiques :

Le critère de taille est pris en compte pour définir un « micro plastique ». Néanmoins, ce critère n'est pas standardisé et fait encore l'objet de débat au sein de la communauté scientifique. Pour un aspect pratique, la limite basse de taille est souvent définie par la taille des mailles du filet utilisé pour le prélèvement (en général 330 μm). Des auteurs optent pour inclure uniquement les plastiques avec une taille supérieure à 1 ou 2 mm pour une identification plus facile [45]. Arthur (2009) propose que les microplastiques puissent inclure tous les fragments de moins de 5 mm, mais certains auteurs considèrent les microplastiques comme étant inférieur à 1 mm [46]. Dans le futur, les « petits plastiques » vus sans l'aide de la microscopie seront peut-être affectés à une catégorie distincte et seuls les fragments microscopiques seront inclus comme « micro plastiques » [47]. Cette différence dans la caractérisation des micro plastiques est essentielle à souligner. Du fait de l'utilisation du terme « micro plastique » pour différentes tailles de plastiques, les données acquises dans les différentes études ne peuvent pas, ou ne peuvent que difficilement, être comparées entre elles. Une classification est proposée pour différencier nano plastiques, micro plastiques, méso plastiques et macro plastiques

I.4.3. Distribution des micro plastiques :

I.4.3.1. Dans les océans :

La présence de micro plastiques est observée dans tous les océans, même les zones polaires [48]. Sur les 141 échantillons d'eau marine prélevés en surface dans plusieurs océans, 88 % contiennent des micro plastiques, avec des concentrations variantes largement (4 ordres de grandeur ;[49]. Le temps de dégradation de la plupart des plastiques dans les océans étant de plus de 100 ans, des zones d'accumulation se créent, appelées gyres océaniques .

L'accumulation des micro plastiques se fait principalement dans cinq grands gyres, le plus important étant celui de l'océan Pacifique Nord (aussi connu sous le nom de « 7ème continent »). Les mers semi-fermées comme la Méditerranée, avec un taux de renouvellement des eaux de 90 ans, sont aussi touchées par la pollution plastique, il est estimé que la concentration de micro plastiques en Méditerranée augmentera de 8% dans les 30 prochaines années

I.4.3.2. Dans les différents compartiments du milieu marin :

Alors que les premiers rapports faisant état de micro plastiques dans les eaux de surface et dans le biote datent du début des années 1970 [50], les premiers enregistrements de pastilles de résines plastiques sur les plages sont faits en 1978 [51], il faut attendre une trentaine d'années pour que soit mise en évidence la présence de micro plastiques dans les sédiments [51], et une dizaine d'années supplémentaires pour mettre en évidence que les micro plastiques sont présents jusque dans les sédiments d'eau profonde : 1100 à 5000 m [52]. Les micro plastiques sont présents partout, ils ont été détectés dans la colonne d'eau, dans les sédiments, dans les plages du monde entier et dans le biote. Les particules plastiques de faible densité ont tendance à flotter à la surface de la mer ou dans la colonne d'eau alors que les micro plastiques ayant une densité qui dépasse celle de l'eau de mer (supérieure à 1,02 g/cm³) vont sombrer et s'accumuler dans les sédiments. Cependant, avec la modification de densité due au biofouling, même les plastiques de faible densité peuvent atteindre les fonds marins. Des micro plastiques de types similaires ont été retrouvés dans la colonne d'eau et dans les sédiments [53]. L'agrégation des micro plastiques avec la matière organique est considérée comme la principale voie de transport des micro plastiques vers les sédiments d'eau profonde. Les sédiments constitueraient ainsi un réservoir majeur pour les micro plastiques [54]. Concernant le biote, plus de 250 espèces d'animaux ont été identifiées comme ingérant des débris de plastique [55]. Les animaux marins qui ingèrent les micro plastiques sont des organismes benthiques et pélagiques, possédant des stratégies d'alimentation variées et

occupant des niveaux trophiques différents (fig. 2). Les micro plastiques sont retrouvés dans les tissus des organismes mais aussi dans les fèces, ils peuvent être stockés dans les tissus et excrétés par les nanoparticules de polystyrène sont plus facilement ingérées par des organismes filtreurs lorsqu'ils sont associés à des agrégats de phytoplancton. Ces agrégats concentrent les micro plastiques, ce qui augmente la biodisponibilité des micro plastiques pour les organismes marins [57]. Parmi les invertébrés benthiques, plusieurs espèces de différents niveaux trophiques sont identifiées comme ingérant des micro plastiques : les concombres de mer, les moules, les homards [58], les amphipodes, les vers de vase et les balanes [59]. Dans les habitats marins pélagiques, les micro plastiques sont ingérés par le zooplancton [60] et par les adultes et les larves de poissons [61]. Le transfert trophique des micro plastiques est possible, il a récemment été démontré de la moule au crabe [62]. Les micro plastiques peuvent donc atteindre des niveaux trophiques supérieurs. Les oiseaux de mer ingèrent les micro plastiques directement et indirectement, par l'intermédiaire de poissons ayant consommé des micro plastiques [63]. L'ingestion de micro plastiques par les otaries et lions de mer dans les îles subantarctiques a aussi été prouvée, c'est la preuve que les micro plastiques peuvent atteindre les plus hauts niveaux d'un réseau trophique marin, même dans des endroits éloignés [64]. Le Fulmar (oiseau) est proposé comme indicateur biologique de l'abondance des débris plastiques flottants en mer. [65 , 74]

I.4.4.Origines des micro-plastiques :

Les micro plastiques proviennent de sources de micro plastiques primaires ou secondaires

I.4.4.1.Micro plastiques primaires :

Les micro plastiques considérés comme « primaires » sont produits intentionnellement en petite taille et sont largement utilisés. On les retrouve sous différentes formes comme les pastilles ou granulés plastiques utilisées pour la production de matières plastiques plus grosses, ou sous forme de microbilles utilisées dans les produits cosmétiques, hygiéniques, dans les abrasifs et poudres industriels [75]. Même si de petites fibres synthétiques microscopiques résultent de la dégradation de l'usure textile, certaines études les considèrent comme des micro plastiques primaires tandis que d'autres comme des micro plastiques secondaires [76]. Les granulés de plastique peuvent se retrouver dans les sédiments et les milieux aquatiques en raison d'une mauvaise gestion ou d'un rejet direct des déchets issus des industries plastiques [77]. Ils sont fréquemment observés à proximité des zones industrielles [78]. De nombreuses microbilles sont également présentes dans les produits liquides,

notamment en raison de leurs propriétés abrasives, ce qui explique leur forte concentration dans les produits cosmétiques. Une autre caractéristique importante de ces micro plastiques est leur capacité à adsorber et désorber des substances, ce qui les rend particulièrement dangereux pour les environnements marins et côtiers [79]. En effet, ils peuvent capter des polluants et libérer des substances toxiques dans les milieux naturels. Lors d'une seule utilisation (environ 5 ml), des milliers de microbilles peuvent se retrouver dans les systèmes aquatiques, représentant ainsi un risque potentiel pour l'environnement [80]. Ces microbilles ont progressivement été interdites dans plusieurs pays : aux États-Unis en 2017, en France et au Royaume-Uni en 2018, et dans d'autres régions de l'Union européenne en 2020.

De plus, des milliers de fibres textiles peuvent être rejetées dans les milieux aquatiques après un lavage en machine [81]. Napper et Thompson (2016) ont estimé qu'environ 700 000 fibres pouvaient être libérées à partir de 6 kg de textiles lavés. Ces fibres peuvent soit être captées par les stations d'épuration des eaux usées (STEP), soit être directement rejetées dans l'environnement aquatique. Cependant, les stations d'épuration ne sont pas toujours en mesure de filtrer ces fibres [82], ce qui suggère que la majorité des fibres observées dans l'environnement proviennent du lavage des textiles



Figure I 3: photo de micro plastique primaire

I.4.4.2. Micro plastiques secondaires :

Ces micro plastiques se forment à partir de la fragmentation de particules plastiques plus volumineuses. Divers mécanismes physiques, chimiques ou biologiques peuvent entraîner une altération des propriétés des polymères [83]. Les plastiques présents dans l'environnement sont susceptibles d'être affectés par plusieurs facteurs qui favorisent leur dégradation. Par exemple, les rayonnements ultraviolets (UV) sont la principale cause de la fragmentation des plastiques dans les milieux marins. Ce processus de photo-dégradation entraîne l'oxydation des

polymères, ce qui mène à leur fragmentation. La vitesse de cette dégradation dépend de la nature du polymère et de la présence des plastiques dans l'environnement. Les plastiques retrouvés sur les plages sont généralement plus dégradés que ceux présents en surface ou au fond des eaux, en raison des rayonnements UV solaires, associés à la chaleur et au frottement mécanique, qui accélèrent la photo-dégradation. Par ailleurs, des processus mécaniques, comme l'abrasion causée par les vagues et le vent, fragmentent les plastiques plus volumineux en micro plastiques. De plus, les micro-organismes, tels que les champignons et les bactéries, sont impliqués dans la dégradation des plastiques synthétiques [84], leur action étant influencée par plusieurs facteurs, dont le type de polymère, les caractéristiques de celui-ci, ainsi que le type d'organisme et les conditions dans lesquelles ce dernier évolue.



Figure I.4 : photo de micro plastique secondaire

I.4.5. Les sources de micro plastique :

Les sources de micro plastiques sont nombreuses. Si, certains micro plastiques sont directement conçus (microbilles exfoliantes, pellets), la plupart sont issus de la dégradation de macro plastiques (sacs) ou d'objets complexes (peintures, vêtements). Peu d'études se sont intéressées au poids respectif de chacune de ces sources de micro plastiques. Sundt et collaborateurs ont proposé une estimation détaillée des différentes sources de micro plastiques pour la Norvège [85]. Cette étude tend à montrer que les sources de micro plastiques primaires (entre 3,7 % et 15,5 %) sont de moindre importance comparée aux sources de micro plastiques secondaires (entre 84,5 et 96,3 %). Si ces estimations sont justes, alors les études sur les micro plastiques primaires sont surreprésentées comparées aux micro plastiques secondaires tels que les peintures de bateau ou débris d'emballage. Ceci pourrait être dû à la relative facilité d'étude et à la traçabilité des micro plastiques primaires comparés aux micro plastiques secondaires, par définition plus dégradés et dont la source originelle est souvent impossible à déterminer.

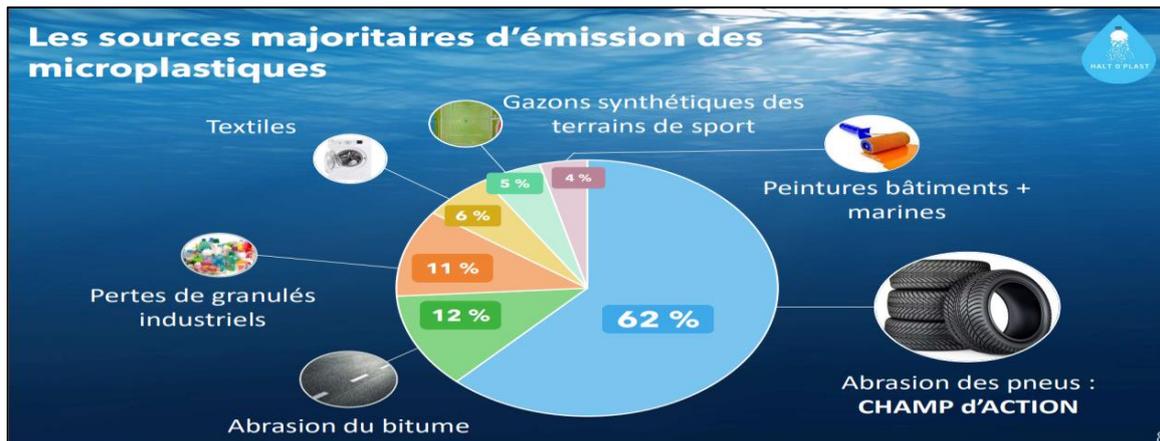


Figure I.5 : photo les source majoritaires d'émission des micro plastiques

À partir de leur source, les micro plastiques peuvent être transférés vers le littoral via le ruissellement, le transport éolien ou encore les systèmes fluviaux . Arrivée à un estuaire, la particule en fonction de ses propriétés physico-chimiques soit sédimentée sur les fonds marins soit flottera en surface. Des vecteurs comme le vent, les courants marins ou la houle peuvent provoquer des échouages de micro plastiques sur les plages ou au contraire leur remise en circulation dans le milieu marin. Au bout d'un certain temps en mer, des changements physico-chimiques ou l'encroûtement du plastique par des organismes vivants peuvent provoquer la sédimentation de la particule. Une augmentation de l'hydrodynamique du milieu ou des processus biologiques sont susceptibles de remettre en suspension le micro plastique. Les interactions directes entre les plages et les fonds sous-marins sont mal connus en ce qui concerne les micro plastiques. Il est probable que des processus classiques d'érosion et d'accrétion des plages ont également un impact sur le comportement des micro plastiques. Enfin, les micro plastiques à la surface de la mer peuvent être transportés par les courants océaniques très loin de leur source.

I.5.Définition de sédiments :

Les sédiments marins sont constitués de phase minérale, organique et liquide. Dans le dictionnaire de géologie les sédiments sont définis comme "un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport". Ces particules proviennent de l'érosion des roches et des sols, de l'activité organique (accumulation de coquilles, ...) ainsi que des rejets locaux dus à l'activité humaine. Les sédiments sont des particules fines (argiles, limons) à grossières (sable), déplacées et transportées grâce, notamment, aux actions climatiques (vent, marées...) et humaines Les sédiments d'origines diverses sont très contaminés par l'activité humaine et

urbaine, ils se déposent dans le milieu aquatique et posent de nombreux problèmes par le devenir des écosystèmes.

Les sédiments marins sont des matériaux particuliers qui se déposent au fond des océans et des mers, résultant de l'accumulation progressive de matières d'origines variées. On distingue plusieurs types

I.5.1. types des sédiments:

- **Terrigènes** : issus de l'érosion des roches continentales, transportés par les fleuves ou le vent
- **Biogéniques** : formés à partir de débris d'organismes marins comme les coquillages ou le plancton
- **Chimiques** : résultant de la précipitation d'éléments dissous dans l'eau de mer
- **Volcaniques** : produits par l'activité éruptive sous-marine.

Ces sédiments jouent un rôle crucial dans le fonctionnement des écosystèmes marins. Ils servent de zone de stockage pour divers contaminants, y compris les microplastiques, et influencent la distribution et la diversité des espèces benthiques. De plus, leur étude permet de reconstituer les conditions environnementales passées et de suivre les impacts des activités humaines sur le milieu marin. [86]

I.5.2. Le rôle des sédiments dans la rétention des microplastiques :

Les sédiments marins représentent un puits majeur pour les microplastiques en raison de plusieurs facteurs physico-chimiques et hydrodynamiques. D'une part, les microplastiques possèdent une faible densité et une grande surface spécifique, ce qui favorise leur adsorption sur les particules minérales présentes dans les sédiments. D'autre part, la dynamique des courants marins et la décantation progressive des particules en suspension facilitent leur déposition au fond marin, notamment dans les zones calmes comme les baies ou les plateaux continentaux [87]



Figure I.6: photo de sédiment marin

I.6.Impact des MPs :

I.6.1.Impact des MPs sur le sédiment :

L'impact des débris plastiques sur le sédiment sont très peu étudié, seules quelques recherches ont étudié cet impact. Ces études ont signalé qu'au-delà d'un seuil de concentration, les particules de polymères synthétiques peuvent influencer la structure globale des sédiments et ses propriétés physiques. L'incorporation de matière plastique dans une matrice sédimentaire modifie irréversiblement ses propriétés physiques ou l'interaction des grains de sable avec les fragments de plastiques influence la résistance, la rigidité et la perméabilité des sédiments, car en présence de plastique le sable se transforme en squelette plus déformable et sa perméabilité va augmenter [88]. Le plastique influence les variations de la température d'un sédiment en augmentant les températures journalières et cela se produit par le fait que la masse plastique peut augmenter l'absorption des rayons infrarouges et diminue la perte de chaleur [89]

I.6.2.L'incapacité des organismes aquatiques :

L'incapacité des organismes aquatiques Comme les mammifères marins, à distinguer les MPs des proies entraîne une ingestion accidentelle des particules qui va conduire à leurs accumulations dans le réseau trophique [90]. Les effets des MPs sur le biote peuvent être classés en deux types ; physiques et chimiques. En effet, les espèces aquatiques subissent des dommages physiques causés par les particules MPs, principalement par le fait d'enchevêtrement ou ingestion [91], qui peut conduire à l'étouffement. Ainsi, les fragments ingérés peuvent causer des blessures et même des ruptures du tube digestif [92]. Cependant, les effets chimiques des MPs peuvent se manifester par des modifications de comportement,

un métabolisme lent, des perturbations de croissance et de reproduction [93]. Parmi les réponses biologiques des organismes marins à l'exposition aux MPs ; les copépodes qui ont ingéré du polystyrène ont montré une réduction de l'apport énergétique dû à la réduction d'alimentation .Ainsi, selon [94], les moules exposés aux MPs ont montré une baisse des taux de filtration et de respiration, avec une augmentation de la mortalité. Cependant, il a été démontré que l'accumulation des MPs dans le tube digestif des poissons peut provoquer un comportement inhabituel [95], et qu'une exposition à long terme sera susceptible d'influencer leur nutrition, ce qui pourrait avoir un impact sur leur croissance.

I.6.3.Impact des MPs sur la santé humaine :

L'être humain peut être atteint par les MPs à travers diverses voies ; voie aérienne, voie aqueuse, et par voie alimentaire [96]. Les petites particules de MPs peuvent être dispersé par le vent et atteint les poumons par inhalation, et même peuvent être ingérer via l'eau et les denrées alimentaires, comme la consommation des produits de la mer déjà contaminés [97]. Selon [98], l'eau minérale est contaminée par les MPs, cette contamination peut être avant l'emballage en bouteilles ou après, surtout quand les bouteilles sont fabriquées de plastique de mauvaise qualité. Plusieurs études ont confirmé la présence de MPs dans le corps humain, ils ont été détectés dans le placenta, cet organe qui nourrit et protège le fœtus pendant la grossesse, ce qui prouve que le fœtus et les nouveaux nés peuvent être exposés aux MPs dès la période prénatale et les premiers stades de la vie. Ainsi, la présence des MPs a été confirmé aussi dans l'intestin, dans le foie et les tissus hépatiques et dans les tissus pulmonaires et les voies respiratoires. Des recherches récentes ont même révélé que les MPs ont atteint les tissus veineux et ont été détectés dans le système sanguin humain. L'impact des MPs sur la santé humaine peut se manifester par le stress oxydatif, l'inflammation, les mutations génétiques, les perturbations endocriniens, et peut aller jusqu'à la neurotoxicité et le développement de maladies chroniques et le cancer. [99,107]

Chapitre 02:

La zone d'étude

II.1.Généralités sur la zone d'étude :

II.1.1.Localisation Géographique :

Notre site d'étude correspond à la baie de Bou-Ismaïl (ex : Golf de Castiglione), qui est limitée à l'est par le promontoire de RAS-ACRATA et à l'ouest par le cap du mont CHENOUA. Il a une superficie de 509 Km². Dans ce vaste domaine maritime, se trouve incluse la baie d'EL DJAMILA, La baie couvre une superficie de 350 Km² avec une ouverture de 40 Km orientée du Sud- Ouest au Nord- Est, soit 2° 54 Est et 36° 48 Nord à 2° 24 Est et 36° 38 Nord [108]

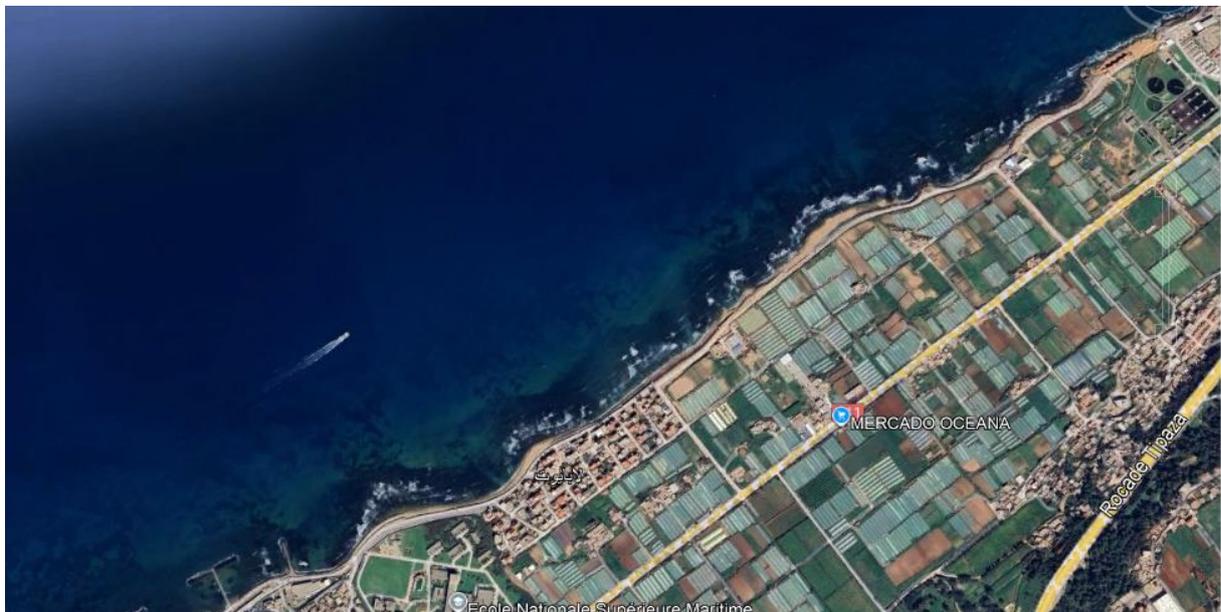
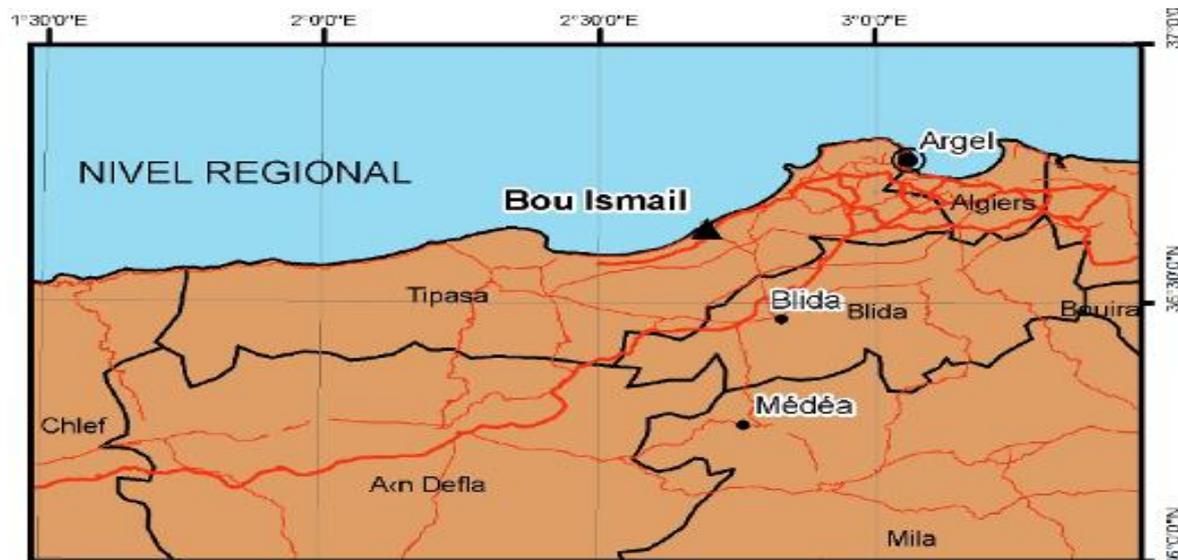


Figure II.1 : localisation de la zone d'étude (BouIsmaïl-Tipaza)

(Google Earth ; 19/04/2025)

II.1.2.Situation Administrative :

La Baie de Bou-Ismaïl fait partie de la wilaya de Tipaza. Elle comporte les communes suivantes :

Tipaza, Ain-Taghourait, Bouharoun, Khemisti, Bou-Ismaïl, Fouka et Douaouda.

La Baie s'étend sur une superficie de 149,23 km², elle est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranéenne
- Au Sud par les communes suivantes : Koléa, Chaiba, Attatba, Sidi Rachede, Hadjout et Nador
- A l'Est par Zéralda (wilaya d'Alger)
- A l'Ouest par la commune de Cherchell.

II.1.3.Reliefs :

La Baie est dotée de trois grands ensembles topographiques on a :

- Au Nord une zone de collines qui s'étendent de Douaouda à Tipaza environ 70% de surface totale de la Baie ;
- Une petite plaine au milieu entre Tipaza et Chenoua qu'on peut considérer comme une vallée ;
- La zone montagneuse (massif de Chenoua) à l'ouest de la baie, dont la crête la plus élevée est de 904 m.

En général la Baie de Bou-Ismaïl est une zone de collines [109].

II.1.4.Climat :

Le facteur climatique influe directement sur les ressources hydriques, la couverture végétale, la population ...etc. Du fait de sa proximité de la mer méditerranée, la baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide, un hiver humide et un été chaud et sec [110]

III.1.5.Ressources hydrographiques superficielles :

Caractérisée surtout par les oueds et les cours d'eaux :

- **Oued Mazafran :**

Considéré comme le plus grand et le plus important oued dans la wilaya de Tipaza, présentant un apport de 369.80hm³. Il draine les eaux d'une grande partie d'Oued Chiffa, Oued Djer et Oued Bouroumi (w. de Blida). Il prend la direction Sud-ouest à Nord-Est . [111]

- **Oued Nador :**

Situé dans la partie occidentale de la Baie présentant un apport de 43,30 hm³. Il regroupe les oueds suivants : Bouyeghsene, Bouuhardoun et Meurad. Débouché entre Djebel chenoua et Tipaza [112]

II.1.6.Choix de la zone d'étude :

La ville de Bou-Ismaïl demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution du pays. C'est une zone à vocation touristique et agricole. Sa frange côtière est soumise principalement au rejet domestique des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas, et qui s'accroissent en période estivale.

D'après les données statistiques du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 37 points de rejets d'eau usées collectées par le réseau d'assainissement se déversent directement en mer sans aucun traitement. Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds : Oued Nador à l'ouest ; Oued Mazafran au centre et Oued Beni-Messous à l'est qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels (L.E.M. ,1998 in Doumandji, 2015).

Il faut signaler que la baie de Bou-Ismaïl est sujette à une pression démographique, à une extension de l'urbanisation et à l'installation de plusieurs unités industrielles, qui rejettent une charge polluante qui est en perpétuelle augmentation de quantité qu'en qualité . [113]

II.2.Prélèvement des échantillons :

II.2.1.Plan de campagne et stratégies de prélèvements :

La campagne de prélèvement des échantillons a été réalisée par l'équipe N°3 « Interactions milieux ressource » de la division écosystème aquatique du CNRDPA en Juillet 2023. Cette campagne rentre dans le cadre de la réalisation du projet interne inscrit dans l'équipe intitulé « les microplastiques et leurs additifs dans les produits halieutiques et aquacoles en Algérie ». Le projet est dirigé par Dr Belhouchet Nassima. Le plan de travail établi consiste à réaliser des campagnes hydrologiques pour prélèvements et analyse des trois matrices composantes de l'écosystème marin à savoir l'eau, les sédiments et le biote. Notre travail concerne juste la matrice des sédiments qui a été réalisé pendant la campagne POLLMicroplastics-01 via le bateau scientifique « Saleh » voir figure (II-2).



Nom : SALAH	Creux : 1.18 M
Matricule : CH 760	Jauge brute : 12.04 tonneaux
Type : Pêche scientifique	Jauge nette : 8.19 tonneaux
Port d'attache : Port de Khemisti, Tipaza	Moteur : 230 Cv
Longueur : Lht (Longueur hors tout) : 12.77 M	Marque : DOOSAN modèle : L136TI
Longueur : Lpp (Longueur perpendiculaire) : 12.07 M	Equipage maximum : 10
Largeur : 3.38 M	Equipage marin : 04
	Scientifiques : 06

Figure II.2: Fiche technique du bateau scientifique « Saleh » utilisé pour la réalisation de la campagne POLLMicroplastics01-2023

II.2.2 : Localisation des stations de prélèvement :

Les prélèvements ont été effectués le long des radiales perpendiculaires à la côte en raison de deux à trois stations par radiale. Les radiales ont été choisies de façon à quadriller l'ensemble de la région d'étude comme sont illustrés dans la figure II.3 qui correspond aux différentes stations de prélèvements dans la baie de Bou-Ismaïl.

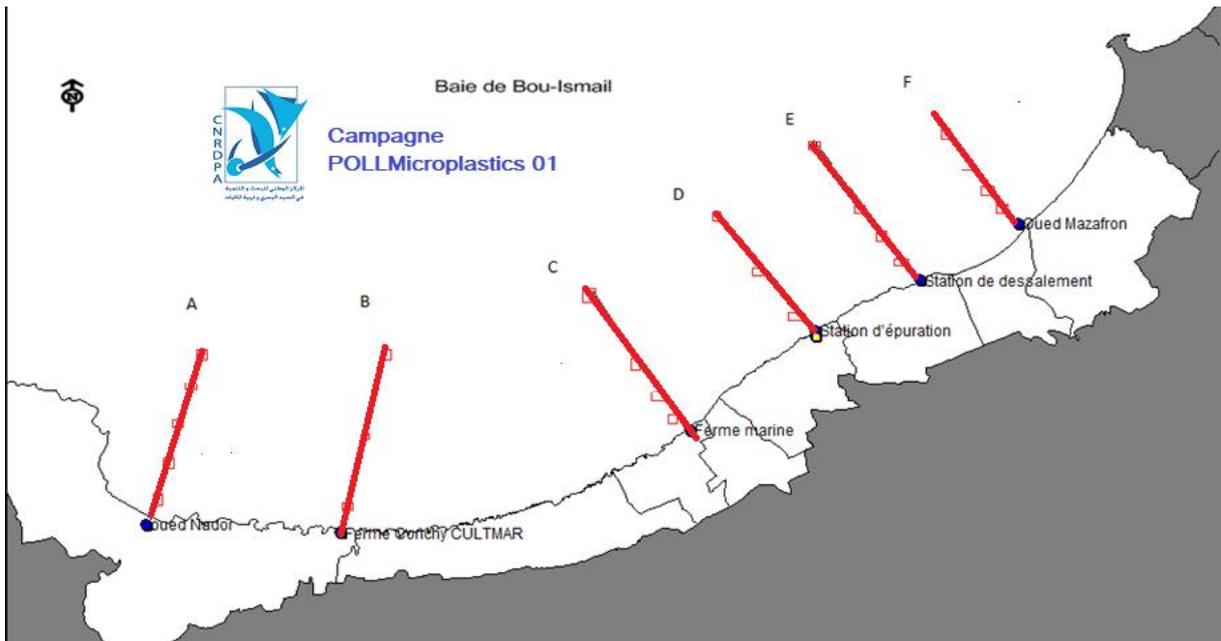


Figure II-3: positionnement des points de prélèvements des MPs

Chapitre 03:

Matériels et méthode

III.1. Prélèvement des sédiments :

Le prélèvement des sédiments a été réalisé à l'aide d'une benne Van-Veen, en raison d'une station à six stations sur les différentes radiales, dans les profondeurs allant de 30 à 50m.

Les échantillons de sédiments seront destinés à l'extraction des MPs, l'analyse des métaux lourds, la radioactivité, la matière organique et à l'étude de la macrofaune benthique (le Benthos). Ces prélèvements ont été réalisés dans le cadre de la campagne POLLMicroplastics-01.



Figure III.1: photos numériques de Benne Van Veen utilisé pour le prélèvement des sédiments

III.2.Prétraitement des échantillons :

III.2.1.Transport et conservation des échantillons :

Pour le prélèvement des sédiments, le protocole ci-après a été mis en œuvre dans **POLLMicroplastics-01 : collecte des sédiments**

- **Dès le prélèvement** : l'échantillon est mis dans un récipient en Verre scellé de manière hermétique
- **Marquage des échantillons** : on utilise des étiquettes imperméables pour noter distinctement les informations suivantes : l'identifiant de l'échantillon, la date et l'heure de collecte

L'emplacement exact : du site, le nom de la personne qui a effectué la collecte, ainsi que les conditions environnementales

- **Appareil de protection** : il est obligatoire de porter des gants, des lunettes de sécurité et les gants et un masque pour éviter tout contact direct avec les sédiments et les potentiels agents infectieux.

- **Transport** : les échantillons sont acheminés dans une glacière maintenue à une température stable de 4 C. Il est crucial de réduire au minimum la durée du transport et d'éviter les impacts ou les secousses qui pourraient nuire à la construction des sédiments
- **Dès leur arrivé au laboratoire** : les échantillons sont congelés à une température de (-20°C) pour leur conservation.

III.2.2.séchage des échantillons :

Dans le cadre de notre protocole expérimental, les échantillons conservés au réfrigérateur sont d'abord retirés afin de les ramener à température ambiante. Cette étape permet de minimiser le choc thermique lors de leur exposition à une température élevée. Par la suite, les échantillons sont soigneusement transférés dans des récipients en aluminium, un matériau qui présente une bonne conductivité thermique et une inertie chimique, ce qui garantit une répartition homogène de la chaleur sans interférence avec la composition des échantillons. Aussi, l'utilisation des contenants en aluminium est importante pour éviter la contamination des échantillons par des récipients plastiques. Ces récipients sont ensuite introduits dans les tuves, où les échantillons subissent un traitement thermique contrôlé (65 °C).



Figure III.2 : photos numériques des prétements des échantillons



Figure III.3 : photo numérique de l'opération du séchage des échantillons

III.3.Caractérisation des sédiments :

III.3.1.PH pzc :

Le Point de Charge Zéro (PZC) représente le pH auquel la surface d'un solide, comme les particules de sédiments marins, ne porte aucune charge nette. Ce paramètre est essentiel en chimie des surfaces, car il détermine le comportement des interfaces solides/liquides. Lorsque le pH du milieu est inférieur au PZC, la surface du solide est globalement chargée positivement. À l'inverse, au-delà de ce point, la surface devient globalement négative. Dans les milieux marins, le PZC joue un rôle déterminant dans la sorption des métaux lourds, des nutriments, ou encore des polluants organiques. Il dépend fortement de la composition minéralogique des sédiments (argiles, oxydes de fer, matières organiques, etc.) et conditionne les interactions ioniques entre les particules et leur environnement. L'une des méthodes les plus répandues pour déterminer les propriétés acido-basiques des solides est le titrage potentiométrique, tel que proposé par Kummert et Stumm (1980).

III.3.1.1.Protocole expérimental :

- **Prétraitement des échantillons :** Préparer une solution inerte (ex. : NaCl 0,01 M) pour maintenir la force ionique constant
- **Titration potentiométrique :**

Le protocole repose sur un titrage acido-basique réalisé avec une solution contenant une masse connue de sédiments. Introduire 0,5 g d'échantillons de sédiments dans 100 mL de la solution préalablement préparée. Effectuer les titrages à l'aide de burettes graduées et mesurer le pH à chaque ajout à l'aide d'un pH mètre.

- **Titration acide :** Ajouter goutte à goutte une solution d'acide chlorhydrique (HCl 0,01 M) à l'échantillon. Noter soigneusement la variation du pH en fonction du volume d'acide ajouté, jusqu'à stabilisation du pH.
- **Titration basique :** Répéter les mêmes étapes avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH 0,01 M)

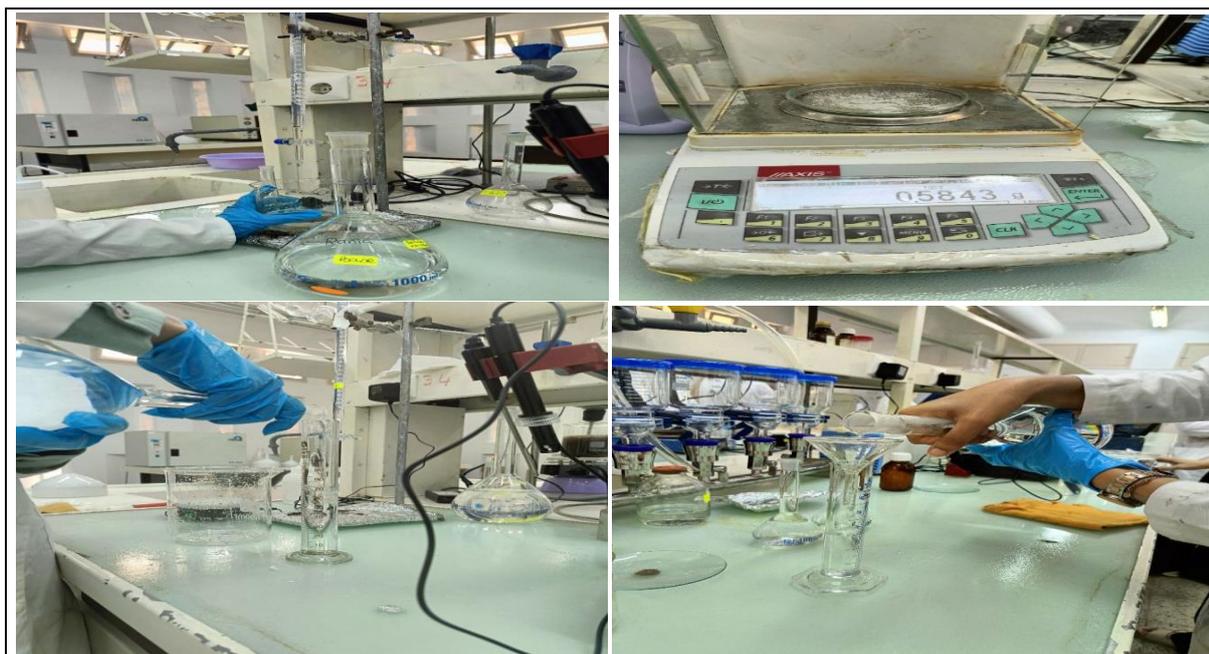


Figure III 4: photos numérique qui présentent le protocole de analyse ph pzc

III.3.1.2. Analyse des résultats :

Tracer la courbe $Q=f(\text{ph})$ à partir des données obtenues Calculer la valeur de Q à l'aide de l'équation suivante :

$$Q = (C_a - C_b + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]) / m \quad (1)$$

Q : la charge de surface .

III.3.2. Teneurs des sédiments en matière organique :

La matière organique présente dans les sédiments est détruite par combustion à haute température. Cette combustion est réalisée dans un four à moufle à une température de 600 °C pendant quelques heures. La différence de masse avant et après traitement thermique correspond à la quantité de matière organique initialement présente dans l'échantillon

III.3.2.1. Protocole expérimental :

L'évaluation de la matière organique (MO) passe par plusieurs étapes comme suit :

- Prélever une masse de 1 g de sédiment séché, et enregistrer sa masse initiale (M_1).
- Introduire l'échantillon dans un **four à moufle** préchauffé à **600 °C**, pendant une durée de **6heures**
- Après calcination, retirer l'échantillon, le laisser refroidir, puis mesurer la masse résiduelle (M_2).
- Calculer la masse de matière organique perdue :
- $MO (g) = M_1 - M_2 \quad (2)$

- Déterminer le pourcentage de matière organique selon la formule suivante :
- $\% \text{ MO} = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100$ (3)



Figure. III .5 : photos qui représentent l'analyse de la matière organique des sédiments

III.3.3.Granulométrie :

Afin de déterminer la distribution granulométrique des échantillons prélevés des sédiments marins, nous avons réalisé une analyse granulométrique par tamisage à sec.

Dans un premier temps, les échantillons ont été séchés à température ambiante afin de maintenir leurs propriétés naturelles. Par la suite, environ 100 grammes de chaque échantillon ont été disposés dans une succession de tamis de dimensions décroissantes (2000,1000, 400um, 300, 200, 100 75) μm organisés du plus grand au plus petit.

Par la suite, les tamis ont été placés sur un agitateur mécanique et agités pendant une durée de 10 minutes. Au terme de la procédure, on a pesé la fraction collectée sur chaque tamis pour calculer la distribution en pourcentage des particules en fonction de leur taille.

Cette partie nous a aidé à approfondir ma compréhension des différents types de sédiments (sableux, limoneux, etc) et de leur lien avec l'amasement des micro plastiques

La tamiseuse utilisée est de marque (Retsch AS200) .





Figure III .6 : photos numériques illustrant l'opération du tamisage des sédiments

III.4. Identification des MPs dans les sédiments :

Pour cette partie, et pendant la réalisation de nos expérimentations des précautions particulières ont été prises pour éviter la contamination par les micro plastiques par voie surtout aérienne.

Ceci d'abord en nettoyant et en séchant tous récipients trois fois avec de l'eau distillée avant utilisation. De l'eau distillée a été utilisée pour rincer tous les filtres.

Pour éviter la contamination aéroportée, le laboratoire a été scellé pendant la manipulation et l'analyse des échantillons, des blouses et des gants de laboratoire étaient toujours portés. Pendant le processus de séchage et de suspension, une feuille d'aluminium a été toujours utilisé pour couvrir les filtres et les solutions et les flacons utilisés.

III.4.1. Etape1 : Séparations des MPs par densité

Le principe de la méthode est d'extraire le maximum des types de microplastiques présents dans les échantillons, y compris les plastiques à haute densité, en utilisant une solution saturée en NaCl. Le choix de la solution saline NaCl de densité ($d = 1,2 \text{ g/cm}^3$), était pour son taux de récupération élevé de microplastiques, et son coup moins cher, par rapport aux autres sels utilisés dans l'étude des MPs (ZnCl_2 et NaI)



Figure III.7 : préparation de la solution saturée en NaCl

Le principe de l'opération est de mettre en contact les sédiments à étudier la solution saturée en NaCl, nous remarquons que la séparation se fait rapidement.

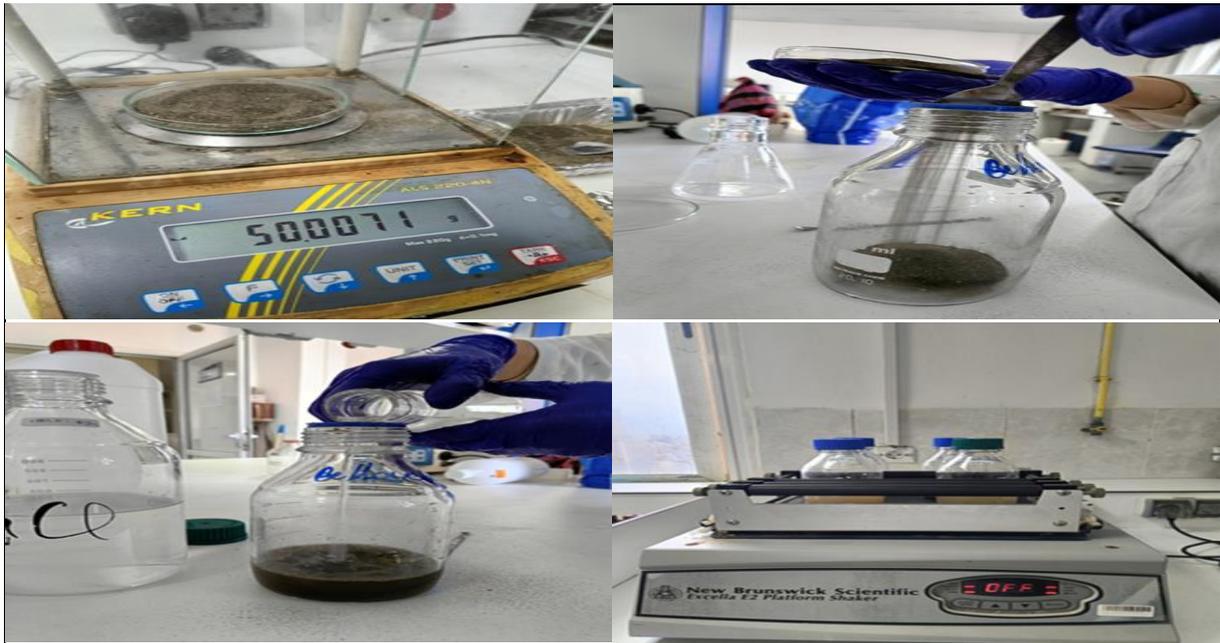


Figure III 8 : Les étapes suivis pour faire l'extraction des MPs avec la solution de NaCl

III.4.2. Etape 2 : La digestion de la matière organique :

Ci-dessous les étapes suivis pour la digestion:

- Une fois la solution a décanté au moins pendant 12h, on procède à la digestion. On récupère la partie liquide supérieure dans un autre flacon en verre en rajoute un volume de 15 mL de H₂O₂ (30%). Et remet le mélange en agitation pendant au moins 2h.
- Séparer les gros débris de l'échantillon à l'aide d'une pince, en les mettant dans une boîte de pétri.
- Placé la rampe de filtration (Figure IV-4)
- Filtrer la solution (l'eau de surface seulement) sur un filtre de verre de porosité de 1.2 µm en utilisant une rampe a filtration en verre (Figure IV-4).
- Récupérer les filtres à l'aide d'une pince en inox dans une boîte pétrie en verre et la mettre à l'étuve pendant une nuit avec une température de 45°C

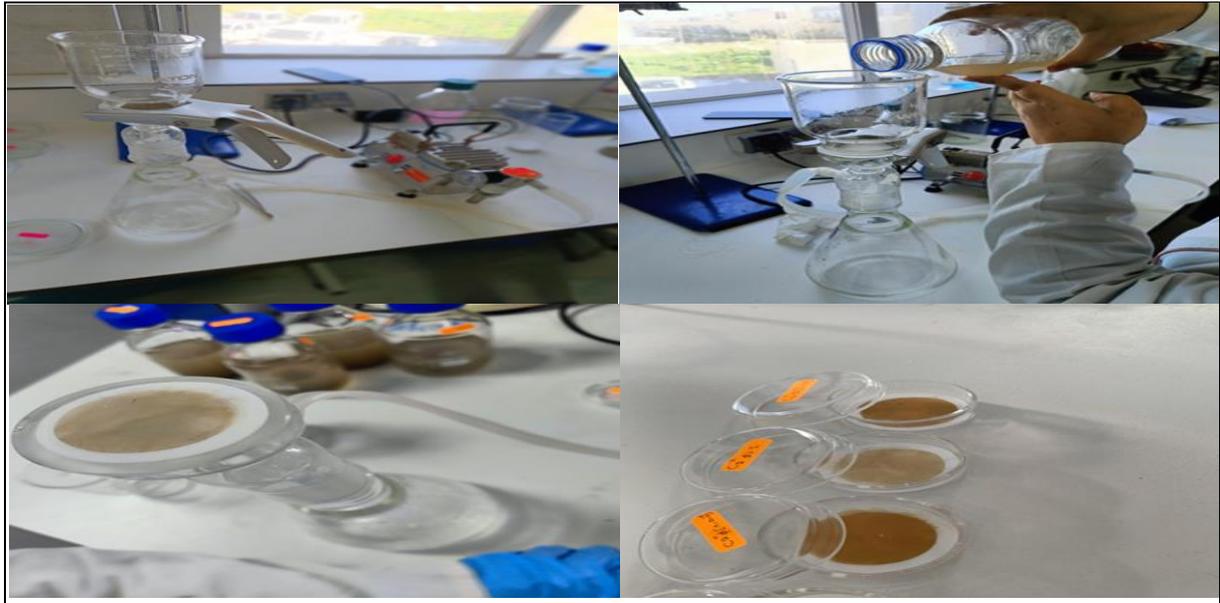


Figure III-9 Les différentes étapes faites pour la filtration des échantillons

III.4.3. Etape-3 : Identification des micro plastiques sous la loupe binoculaire :

Une fois les filtres sont séchés, nous passons à l'observation des MPs par la loupe.

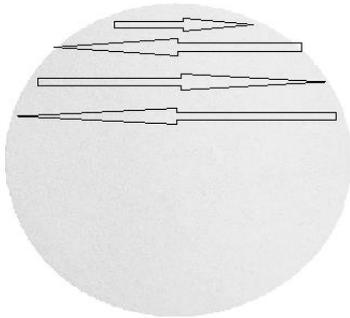
L'observation a été réalisée au niveau du laboratoire physicochimique de la ferme expérimentale du CNRDPA. La loupe est de marque MICROS Avec les grossissements de 10 et 30. Il est à noter qu'on doit s'assuré que la surface de travail est propre afin d'éviter toute contamination éventuelle.



Figure III.10: photo numérique de la loupe utilisée pour l'identification des MPs

III.4.4.Étape-4 : Lecture des filtres :

Pour le faire, nous avons suivi les étapes suivantes :



- 1- Examinez les fragments à l'intérieur du périmètre de filtration. Le périmètre sera défini par la forme de la pièce de filtration et par des intensités de coloration variables (c'est-à-dire brun, jaune, vert, ou blanc légèrement décoloré). Certains sont plus faciles à voir à l'œil nu que d'autres. Sous la loupe, même les périmètres de couleur claire sont facilement distinguables.
- 2- Lire chaque filtre de gauche à droite, puis descendre d'une rangée, et lire de droite de droite à gauche. Une grille est utile pour assurer que les pièces ne soient pas comptées deux fois.

Figure III 11: Procédure de lecture des filtres

III.4.5Étape-5 : Identification des micro plastiques :

L'identification des MPs passe par les étapes suivantes :

- **Inspection au microscope :** Inspectez les filtres sous la loupe à un grossissement de 10 à 30 fois. Les filtres doivent être secs, car les filtres humides réfléchissent la lumière du microscope. En général, les filtres couverts sèchent après 24 heures à température ne dépassant pas les 45°C
- **Morceaux et textures :** La plupart des particules en plastique sont assez souples et ne se cassent pas lorsqu'on les pique. Les pincettes et des sondes vous permettront d'enfoncer des pièces individuelles. Les MPs rebondissent souvent ou rebondissent ou font ressort lorsqu'on les touche. Si un morceau se casse au toucher, ne le considérez pas comme du plastique.
- **Examen des filtres à forte charge de débris :** Les amas de débris et de sel peuvent recouvrir ou rendre plus difficile l'observation de morceaux de microplastique en dessous d'eux. Prenez soin de trier et d'écarter les débris afin de vous assurer que vous ne manquerez aucun microplastique.

Afin de mieux caractériser les microplastiques retrouvés dans les sédiments, une classification a été établie en fonction de plusieurs critères descriptifs. Ces catégories permettent d'identifier l'origine, la forme, l'état de dégradation et l'aspect visuel des particules observées. Le tableau suivant présente les principales catégories utilisées pour cette caractérisation.

Tableau III-2 : Catégories utilisées pour décrire les microplastiques [114]

CATEGORIES	DESCRIPTION
Source	-Fragments de produits de consommation (par exemple, filet de pêche) -Granules industriels bruts
Type	-Fragments de plastique, granules, filaments, films plastiques, mousse de plastique, pelletes.
Forme	-Pour les granules : cylindriques, disques, plats, ovoïdes, sphéroïdes. -Pour les fragments : arrondis, sub-arrondis, sub-angulaires, anguleux -Généralités : irrégulier, allongé, dégradé, bords rugueux et cassé
Aspect	-Frais, non altéré, altération naissante et niveau de fissuration (fractures conchoïdales), altéré, rainures, surface irrégulière, fragments déchiquetés, linéaires, etc.) crêtes subparallèles et très délabrées.
Couleur	-Transparent, cristallin, blanc, blanc-crème clair, rouge, orange, bleu, - Opaques, noirs, gris, bruns, verts, roses, bronzés, jaunes et pigmentés.

Chapitre 04:

Résultat et discussion

IV. Caractérisation des sédiments :

Caractérisation des sédiments est essentielle pour comprendre divers processus géologiques, écologiques et environnementaux. Voici quelques éléments clés que nous avons étudiés dans la caractérisation des sédiments étudiés :

IV.1. Granulométrie des sédiments :

Les sédiments sont classés en fonction de leur taille de particule généralement en catégories comme l'argile, le limon, le sable et le gravier. Cette caractérisation permet de comprendre le transport et la distribution des sédiments via l'observation à la loupe

L'observation des sédiments à la loupe permet de caractériser plusieurs paramètres essentiels :

- ❖ Taille et forme des particules : L'analyse visuelle permet d'estimer la taille et la morphologie des grains (anguleux, arrondis, floconneux), ce qui renseigne sur leur histoire de transport et les processus d'érosion subis.
- ❖ Texture : Elle varie de fine à grossière selon la granulométrie. Une texture fine suggère un dépôt en milieu calme, tandis qu'une texture plus grossière indique un environnement à forte énergie.
- ❖ Stratification : La présence de strates distinctes révèle des variations temporelles dans les conditions de dépôt.
- ❖ Couleur : Elle reflète la composition minéralogique et le taux de matière organique. Des sédiments riches en composés organiques apparaissent généralement plus foncés.
- ❖ Présence de fossiles : Des éléments fossiles tels que coquilles, fragments végétaux ou ossements peuvent être détectés, fournissant des informations sur les anciens écosystèmes.
- ❖ Structures sédimentaires : L'observation de lames ou de rides de courant informe sur les mécanismes de dépôt et l'énergie du milieu.
- ❖ Traces de contamination ou artefacts anthropiques : La loupe peut révéler des polluants ou déchets d'origine humaine comme des plastiques, métaux ou autres résidus.

Ces observations microscopiques peuvent être complétées par des analyses chimiques plus approfondies pour une caractérisation complète des sédiments étudiés .

IV.2. Détermination du pH (PZC) des sédiments :

Pour une caractérisation complète des sédiments des analyses chimiques approfondies sont souvent nécessaires. Parmi eux nous citons le pH(pzc) .

IV.3. Taux de matière organique dans les sédiments étudiés :

Les résultats de l'analyse de la matière organique par la méthode de calcination Sont montrés dans le tableau IV-1. Les différents résultats montrent que les teneurs en carbone organique oscillent entre 0.30 et 4.40%. (Moyenne de 1.87% et Écart type de 0.976 %).

Les faibles valeurs sont observées pour les échantillons à la granulométrie la plus grande et les plus fortes valeurs concernent à granulométrie très fine. Les résultats obtenus sont classés sur le tableau IV-1 et Figure IV.1

Tableau IV.1 : Taux de matière organique dans les sédiments marins étudiés

ECH		M ₁ (g)	M ₂ (g)	ΔM(MO)(g)	%MO	Moyenne Par zone%
C1	FM (Ferme Marine)	1	0.987	0.013	1.30%	1.93
C2		1	0.982	0.018	1.80%	
C4		1	0.973	0.027	2.70%	
D1	STEP	1	0.993	0.007	0.70%	2.025
D2		1	0.997	0.003	0.30%	
D3		1	0.973	0.027	2.70%	
D4		1	0.956	0.044	4.40%	
E1	Nouvelle Station De Dessalement	1	0.987	0.013	1.30%	2
E2		1	0.979	0.021	2.10%	
E3		1	0.975	0.025	2.50%	
E4		1	0.979	0.021	2.10%	
F1	Station de dessalement Fouka	1	0.9842	0.0158	1.58%	1.53
F2		1	0.9871	0.0129	1.29%	
F3		1	0.9852	0.0148	1.48%	
F4		1	0.9820	0.018	1.80%	
Moyenne		1	0.951	0.0187	1.87%	1.87
Ecart type		0	0,009764147	-	0.976	0.22

Les résultats obtenus montrent une variation faible du taux de la matière organique dans l'ensemble des échantillons.

La matière organique varie de 0.2% (D2) à 4.4 (D4). Les deux valeurs correspondent à la radiale (D) de la station d'épuration des eaux usées (STEP de Bou Ismail).

La variation moyenne de la matière organique pour l'ensemble des sédiments étudiés est de $MO_{moy} = (4.4\% \pm 0.22)$

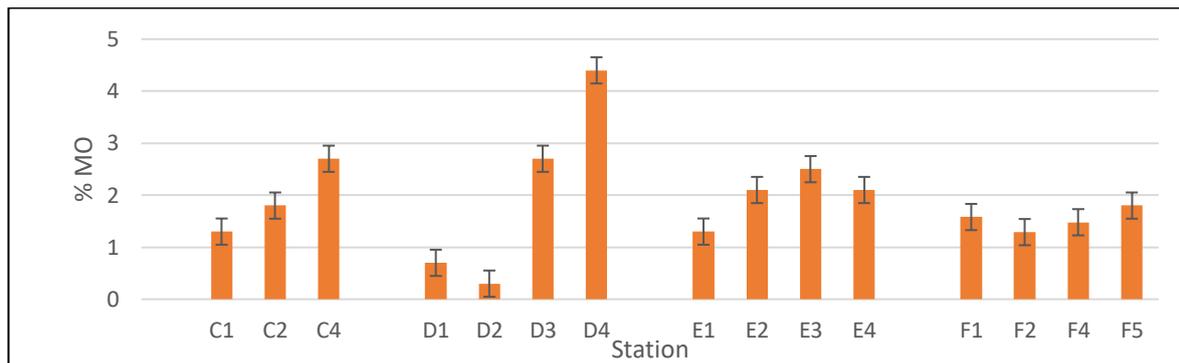


Figure IV.1: représentation graphique de la moyenne de la matière organique

Les valeurs les plus importantes sont enregistrées dans la radiale correspond à la STEP, dont la valeur maximale est de (D4 :4.4%). Ceci est lié aux rejets épurés ou mal épurés qui sont libérés dans le milieu récepteur. Cette concentration anormale pourrait être liée à un dysfonctionnement local du système de traitement des eaux, à des phénomènes d'eutrophisation, ou à une sédimentation dans un milieu riche en particules fines, telles que les argiles, connues pour leur capacité à piéger la matière organique

Les échantillons issus qui correspondent à **la radiale C (FM)** présentent également des valeurs relativement élevées en matière organique. Cette accumulation peut s'expliquer par plusieurs facteurs environnementaux et anthropiques. Notamment la nature de rejets aquacoles très riche en MO. D'une part, la présence de dépôts organiques sur les sédiments avoisinant la ferme, où les résidus aquacoles (aliments non consommés, excréments...ect) peuvent s'accumuler au fond. D'autre part, ces zones sont souvent caractérisées par un hydrodynamisme fort, favorisant un transfert de la MO depuis la STEP qui n'est pas très loin de la ferme. En effet, les apports anthropiques directs – tels que les effluents urbains de la STEP ou industriels – sont des sources majeures de matière organique, en particulier à proximité des exutoires d'eaux usées (cas de la STEP) ou d'infrastructures côtières.

En conclusion, la variation de la MO dans la zone d'étude eut être attribuée à :

- Un environnement hydrodynamique actif, favorisant la distribution de la MO,
- Une minéralisation rapide de la matière organique dans certaines stations,
- Influence directe des effluents mal traités de la STEP sur le milieu récepteur

VI.4. Granulométrie :

Sur la figure IV-5 Nous avons les résultats obtenus de l'analyse granulométrique des sédiments marins étudiés. Nous avons constaté que la fraction granulométrique qui a le plus grand pourcentage dans les deux plages sont surtout entre [100-200.] μm .

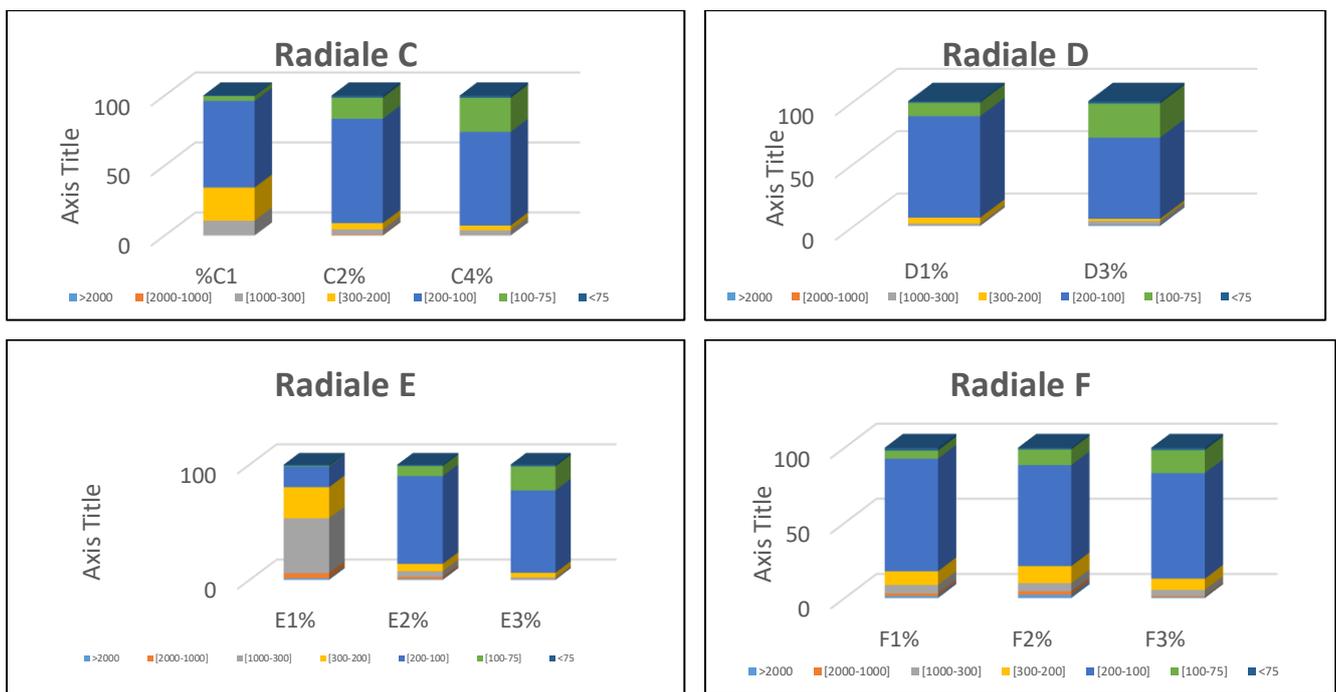


Figure IV-2 : représentation graphique de la granulométrie des échantillons étudiés

Les résultats obtenus montrent la majorité des sédiments étudiés ont une granulométrie comprise entre 100, 200 et 300 μm .

Ces résultats montrent clairement que l'ensemble des sédiments est de type grossier à moyen car le pourcentage de la fraction fine pour l'ensemble des échantillons est inférieure à 2% ; avec une valeur maximale de **1.85%** enregistré pour l'échantillon **F1** et minimale de 0.43% pour l'échantillon **C1**.

Par ailleurs, l'analyse granulométrique met en évidence une faible variabilité spatiale entre les stations étudiées, reflétant des différences faibles en termes de type de sédiments existants dans la région de BouIsmaïl

VI.5. Le pH_{pzc} des sédiments étudiés :

Le tableau suivant présente les valeurs du pH_{pzc} des sédiments analysés.

Tableau IV-2 : variation du pH_{pzc} des sédiments analysés

Station	pH_{pzc}	Moyenne
C1	-	pH_{pzc} moy (C)= 5.985
C2	5.85	
C3	-	
C4	6.12	
D1	6.01	pH_{pzc} moy (D)= 6.155
D2	6.2	
D3	6.25	
D4	6.16	
E1	5.91	pH_{pzc} moy (E)= 5.992
E2	6.07	
E3	5.98	
E1C1	6.04	
F1	5.8	pH_{pzc} moy (F)= 5.945
F2	5.82	
F3	6.08	
F4	6.08	
Moyenne	6.0264	

L'analyse du pH au point de charge zéro (pH_{pzc}) des différents échantillons révèle des valeurs comprises entre 5,94 et 6,15, traduisant globalement une tendance légèrement acide à neutre des surfaces sédimentaires étudiées. Ces valeurs indiquent que, dans des conditions environnementales courantes ($pH \sim 7-8$ pour de nombreux milieux aquatiques), les surfaces des sédiments sont majoritairement chargées négativement, ce qui confère une affinité préférentielle pour les cations.

Cette faible variation indique une stabilité chimique du milieu sédimentaire, ce qui pourrait traduire un environnement de dépôt peu perturbé ou une source sédimentaire constante. Globalement, ces variations dans les valeurs de pH_{pzc} peuvent être utilisées pour mieux comprendre la réactivité chimique des sédiments en fonction de leur origine ou de leur

localisation. Des valeurs plus faibles de pH_{pzc} traduisent une plus grande capacité à adsorber des métaux lourds ou des composés cationiques, ce qui est un paramètre important pour l'évaluation des risques environnementaux et la conception d'éventuelles stratégies de dépollution.

IV.6. Abondance des MPs dans les quatre radiales :

Dans cette partie, nous avons procédé à l'étude quantitative des MPs dans toutes les stations des quatre radiales. Les résultats obtenus montrent que les concentrations des MPs varient comme suit :

IV.6.1.1. Classification des MPs par Couleur :

Pour l'étude de la pollution par les microplastiques, nous avons classé les MPs par : type de plastique, par couleur et par taille. Les résultats obtenus sont montrés sur la figure IV-3

Le graphe IV-3 Montrent que la couleur de microplastique le plus dominant est le noir. Avec une concentration de 50 unités dans la radiale C, 60 unités dans la radiale E (zone de la station de dessalement), 25 unités dans la radiale F (oued Mazafran), et 65 unités dans la radiale D (ferme marine) pour 50g de sédiments analysés.

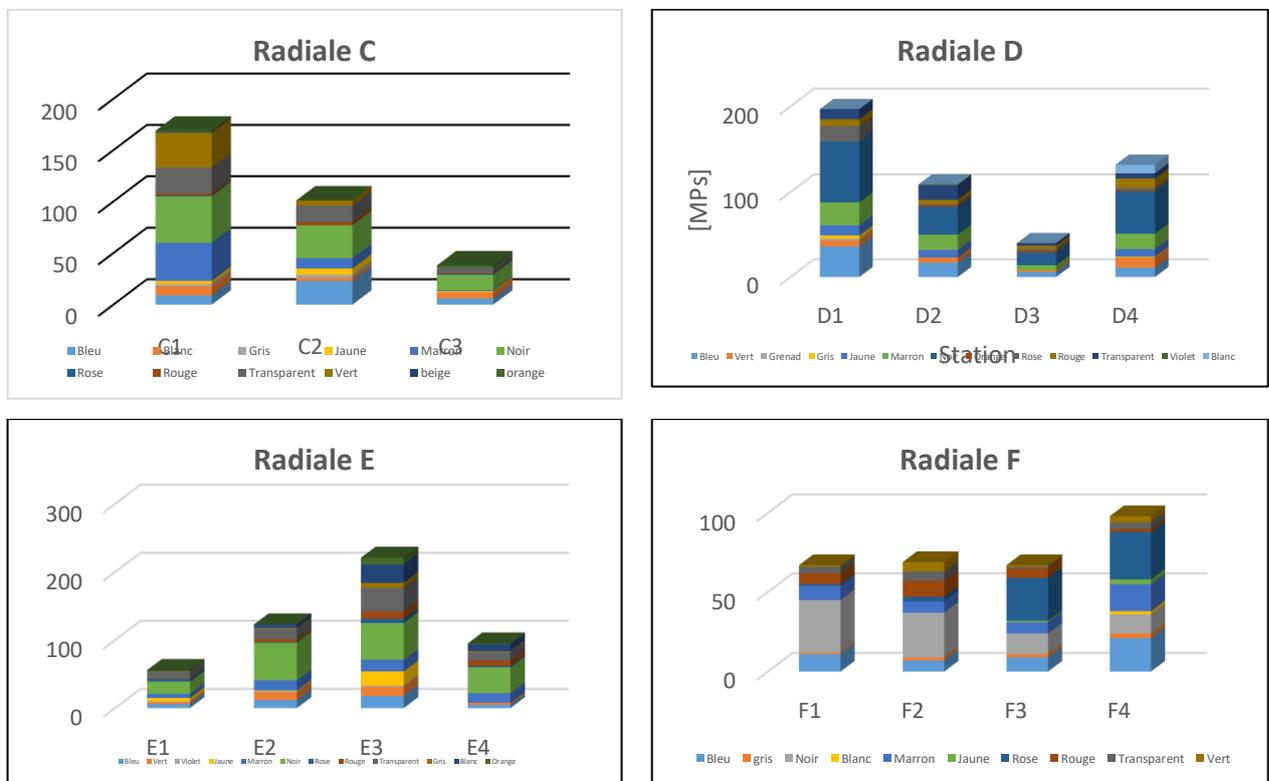


Figure IV.3: Classification des MPs par couleurs

- La radiale C, correspondant à la ferme marine du CNRDPA, et qui présente une forte concentration de microplastiques, surtout au point C1, dominée par les couleurs noir, vert, gris, jaune et rouge. Cette pollution provient principalement des équipements aquacoles (filets, tuyaux, cages), et la diversité de couleurs indique des sources variées, incluant des déchets d'origine humaine. La diminution vers C4 suggère une dispersion des microplastiques avec l'éloignement de la zone d'activité.
- La radiale D, située près d'une STEP, présente une forte concentration de microplastiques au point D1, avec une dominance des couleurs noir, bleu, vert et rouge. Cette pollution provient des rejets insuffisamment filtrés des eaux usées domestiques et urbains. Les couleurs reflètent des sources variées (détergents, textiles, produit cosmétiques, rejets non traités, emballages, macro-plastiques détériorés,...ect). La baisse de concentration vers D3 indique un effet de dilution avec l'éloignement du point de rejet.
- La radiale E, associée à la nouvelle station de dessalement de BouIsmaïl, montre une forte concentration de microplastiques au point E3, avec une grande diversité de couleurs (notamment noir, bleu, rouge, jaune, vert, blanc, transparent). Cette pollution provient probablement des rejets de la STEP qui est située pas très loin de cette l'installation et d'apports marins. Le mélange de couleurs reflète des sources multiples, et E3 pourrait représenter un point de rejet direct ou une zone d'accumulation par les courants.
- La radiale F, correspond à la station de dessalement de Fouka, présente une pollution modérée mais constante en microplastiques, dominée par les couleurs noire, grise, bleue, marron et rouge. Cette pollution peut être liée à la pollution d'oued Mazafran qui ne se situe pas très loin de cette station. Oued Mazafran se caractérise par les apports variés des zones urbaines, agricoles et industrielles drainées par l'oued, qui joue un rôle important dans le transport des microplastiques vers la mer, notamment en période de crue.

La figure IV indique des exemples des couleurs du micro plastiques trouvé dans les sédiments

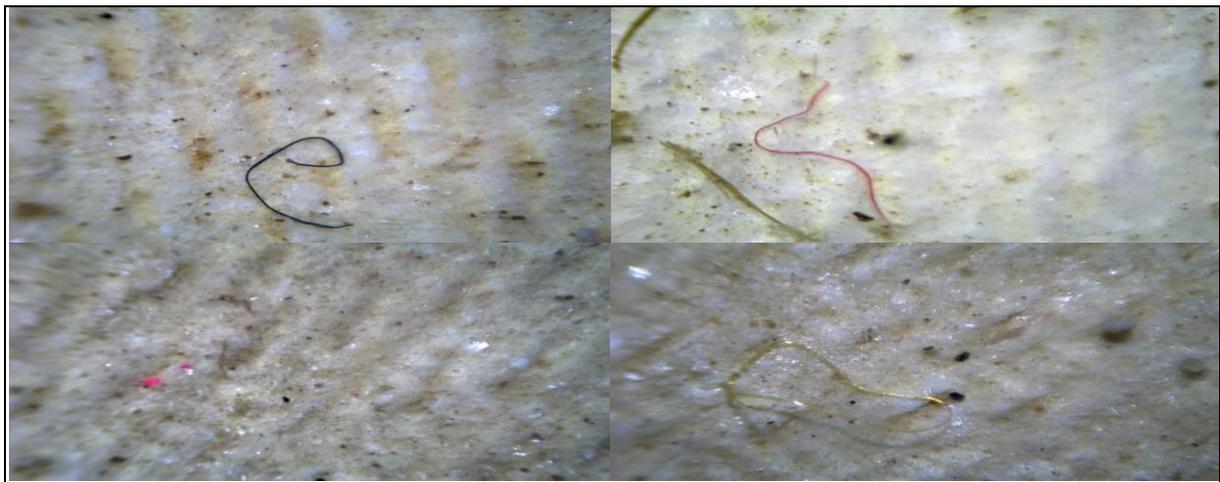


Figure IV 4 : Les filaments de différentes couleurs identifiées dans les MPs des sédiments

IV.6.2. Classification des MPs par Type :

La figure IV.5 montre la distribution des particules MPs extraites des sédiments étudiés selon chaque radiale. Nous constatons que le type de MPs présents le plus dans les sédiments est filament, et fragment.

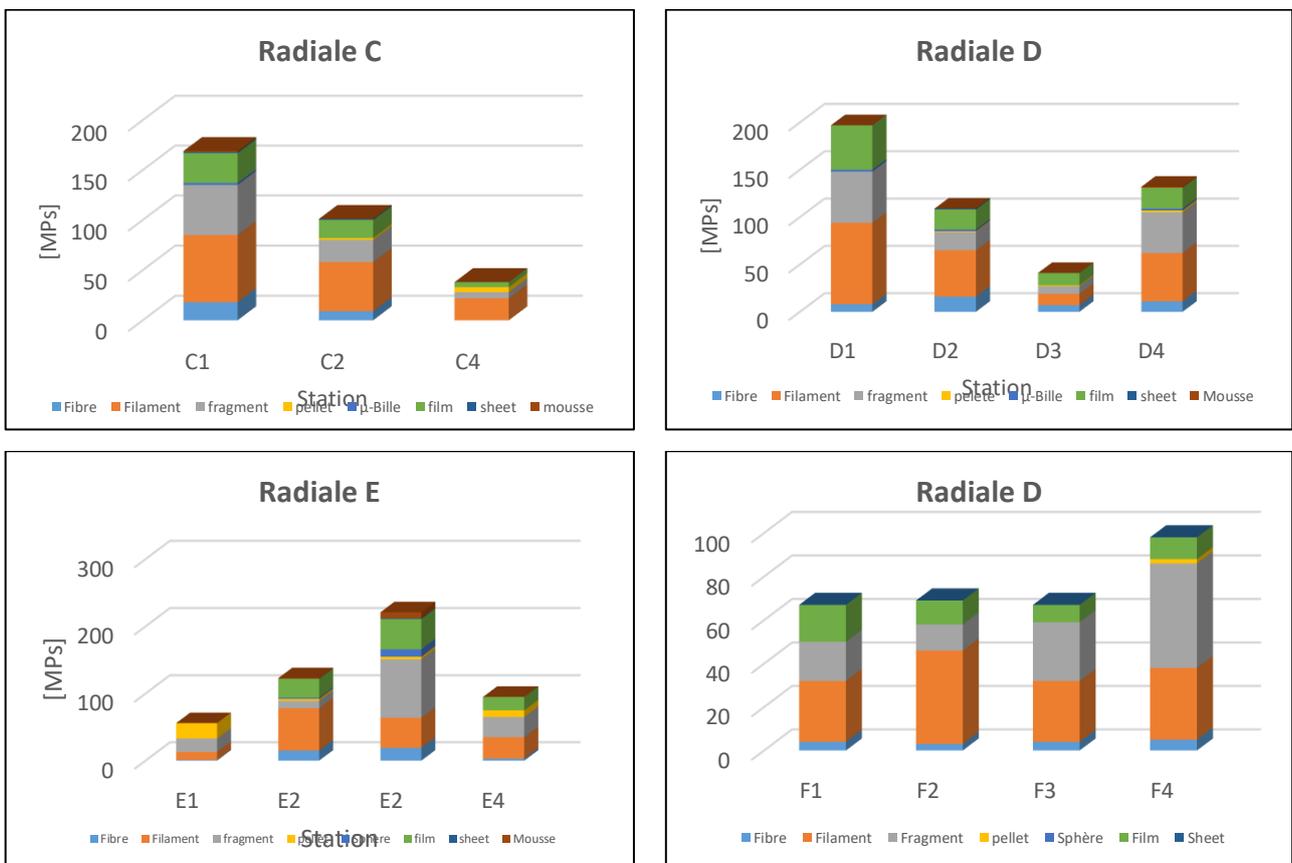


Figure IV.5: Résultats obtenus pour les différents types de particules MPs isolées dans cette étude

- **Radiale C (Ferme marine) :**

Forte concentration de microplastiques, surtout au point C1. Dominance de filaments, fragments et pellets. Pollution liée à l'aquaculture (filets, tuyaux).

- **Radiale D (STEP) :**

Pollution très élevée à D1. Présence marquée de fibres, filaments et fragments. Rejets d'eaux usées insuffisamment traitées par la station d'épuration. Aussi, source de pollution multiple d'origine terrestre : déchets urbains, agricoles, textile, transportés par les rejets non traités.

- **Radiale E (Nouvelle Station de dessalement) :**

Point E3 très contaminé. Grande diversité de types (film, pellet, fibre) et de couleurs. La zone semble être impactée par les rejets non traités de La STEP via les courants marins.

- **4. Radiale F (Station de dessalement de Fouka) :**

Pollution modérée mais constante sur tous les points. La contamination de cette zone est probablement dû à l'impact direct d'Oued mazafran sur la zone. Les images suivantes nous donnent des exemples des types de microplastiques trouvés dans les sédiments

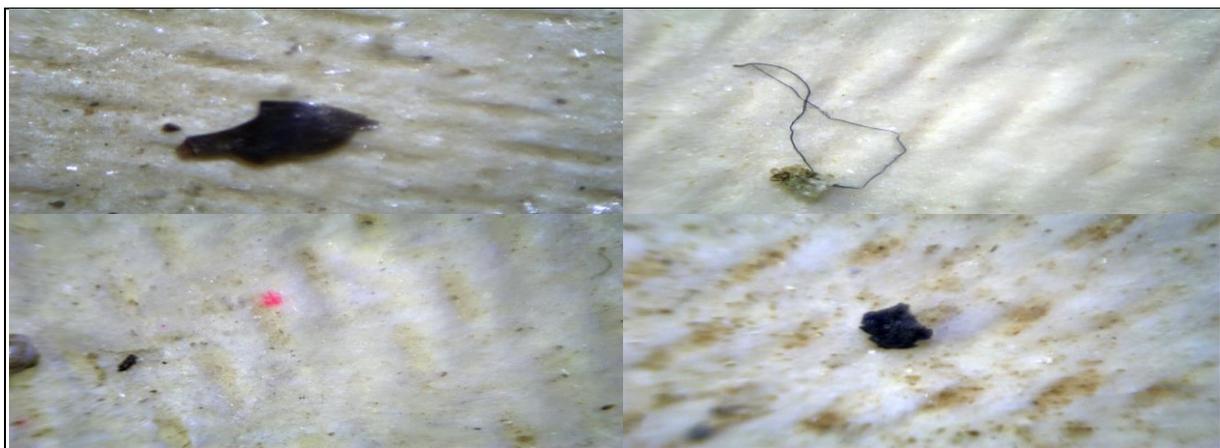


Figure IV. 6 : les types des identifiés dans les sédiments

IV.6.3. Classification par taille :

Dans cette partie, nous avons également étudié la classification des MPs par leurs tailles (voir Figure IV-7).

- **Radiale C (Ferme Marine) :**

C1 présente une forte dominance de grande particules de taille comprise entre (1–5) mm). Cette classe de taille est liée à la dégradation lente de gros plastiques (filets, cordages, macroplastiques. ect). Par ailleurs, C2 et C4 : présence équilibrée des 3 tailles, avec une légère préférence pour les < 1 mm.

- **Radiale D (STEP) :**

D1 très forte présence de petits MPs (< 0,3 mm) → typique des eaux usées non filtrées (fibres textiles, cosmétiques). D2-D4 : distribution plus équilibrée, mais toujours avec une forte proportion de petits MPs.

- **Radiale E (Nouvelle Station de Dessalement) :**

Dans cette radiale, la station E2 montre un pourcentage élevé de particule de taille (< 0,3 m. Ceci implique que cette zone est fortement impactée par la pollution causée par la STEP. Cela suggère aussi, que les processus de traitement des eaux en STEP est inefficace devant cette classe de de très faible taille.

- **Radiale F (Station de dessalement de Fouka) :**

En général, cette radiale présente la pollution la plus faible en microplastiques. Les tailles des MPs dans cette radiale sont assez équilibrée, mais F4 se distingue avec une dominance des plus grandes tailles (1–5 mm), et qui est probablement lié l'hydrodynamisme qui joué un rôle primordial dans la dispersion des MPs.

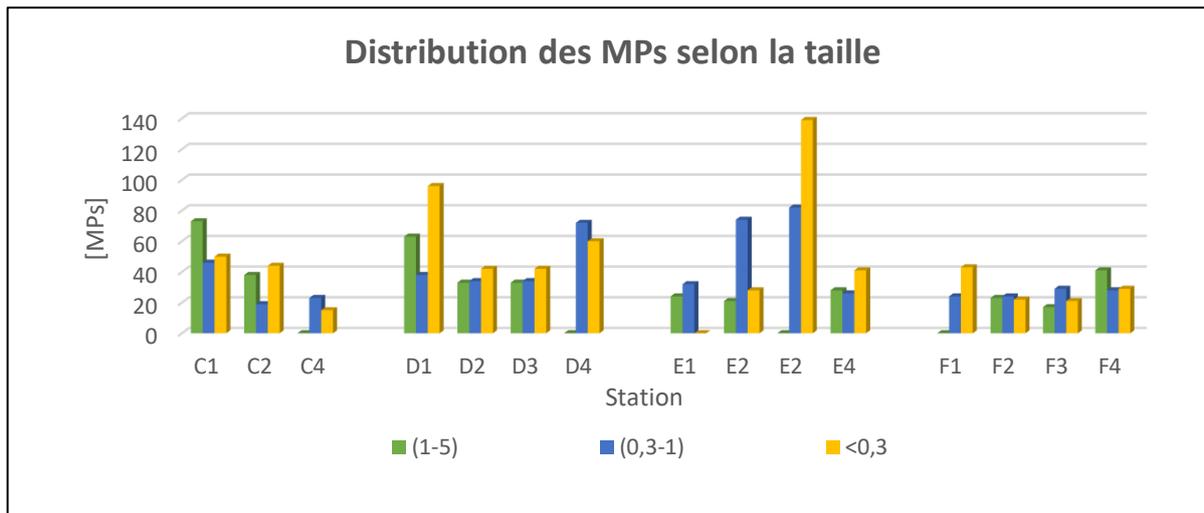


Figure IV.7: distribution par taille des MPs identifiés dans les quatre radiales

IV.7. Abondance des microplastiques dans la zone d'étude :

Le tableau suivant présente les valeurs moyenne des particules MPs extraite dans les quatre radiales étudiées :

Tableau-IV-. les valeurs moyenne des particules MPs extraite dans les quatre radiales

Type	MPs (moy/radiale)	MPs (moy/g)	MPs (moy/Kg)
Cmoy	102,67	2,05	2053,33
Dmoy	119,75	2,40	2395,00
Emoy	123,75	2,48	2475,00
Fmoy	75,25	1,51	1505,00
Mpsmoy	105,35	2,11	2107,08
Ecart-type	22,05	0,44	441,08

La moyenne de la concentration des MPs dans la zone d'étude est de (2.11 particules/g±0.44) ce qui correspond à une concentration de (2107.8 particule/Kg ±441.08) [115]

- **Radiale E : la nouvelle Station de dessalement (la plus polluée) :**

La radiale E montre la concentration moyenne la plus élevée, avec 2,48 MPs/g. Cela peut s'expliquer par l'influence direct de la STEP sur le milieu récepteur, et l'absence de systèmes de filtration efficaces pour les microplastiques fins.

- **Radiale D (STEP) :**

Pollution très proche de la radiale E : 2,40 MPs/g. Confirme que les stations d'épuration n'éliminent pas complètement les MPs, notamment les fibres textiles et fragments plastiques. Aussi, l'inefficacité de la STEP face à l'élimination des MPs au sein de ces processus d'épuration.

- **Radiale C (ferme marine) :**

Niveau modéré avec 2,05 MPs/g, principalement lié aux débris d'équipements aquacoles (filets, cordes, tuyaux). Aussi, ces résultats met en lumière l'effet des courants et l'hydrodynamisme de la région dans le transfert et la transformation des MPs en milieux aquatique.

- **Radiale F (Station de dessalement de Fouka) :**

Cette radiale est la moins contaminée des quatre radiales : 1,51 MPs/g. Probablement parce que la station possède des équipements efficaces pour la production de l'eau potable. Par ailleurs, cette zone est impactée par les apports d'oued mazafran. Ce qui met en lumière la contribution des courants et des vagues dans la dispersion et le transfert des MPs dans la zone marine.

IV- 8 Point de situation :

La moyenne générale de microplastiques dans les sédiments de la baie de Bou -Ismaïl est de 2,11 MPs/g, soit 2107 MPs/kg, révélant un niveau de pollution relativement élevé. Cette contamination résulte principalement des rejets domestiques, industriels, aquacoles, ainsi que des apports fluviaux, notamment ceux de l'oued Mazafran. L'écart-type modéré (0,44) indique que cette pollution est diffuse et touche l'ensemble de la baie, y compris les zones plus éloignées des sources directes. La forte présence de microplastiques de petite taille (<1 mm) renforce leur impact écologique, car ces particules sont facilement ingérées par les organismes marins et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Ces constats mettent en évidence la nécessité urgente d'une gestion rigoureuse des déchets plastiques et d'un renforcement du suivi environnemental afin de limiter les impacts sur l'écosystème marin de la région.

Ci-dessous, nous présentons quelques photos de MPs isolées dans notre étude figure (IV-8,9,10 et 11) :

a) **la ferme marine FM (la radiale C) :**



Figure IV.8 : Photos numériques des MPs dans la zone de ferme marin FM(radiale C)

b) **la zone de la STEP de Bou-Ismaïl :**

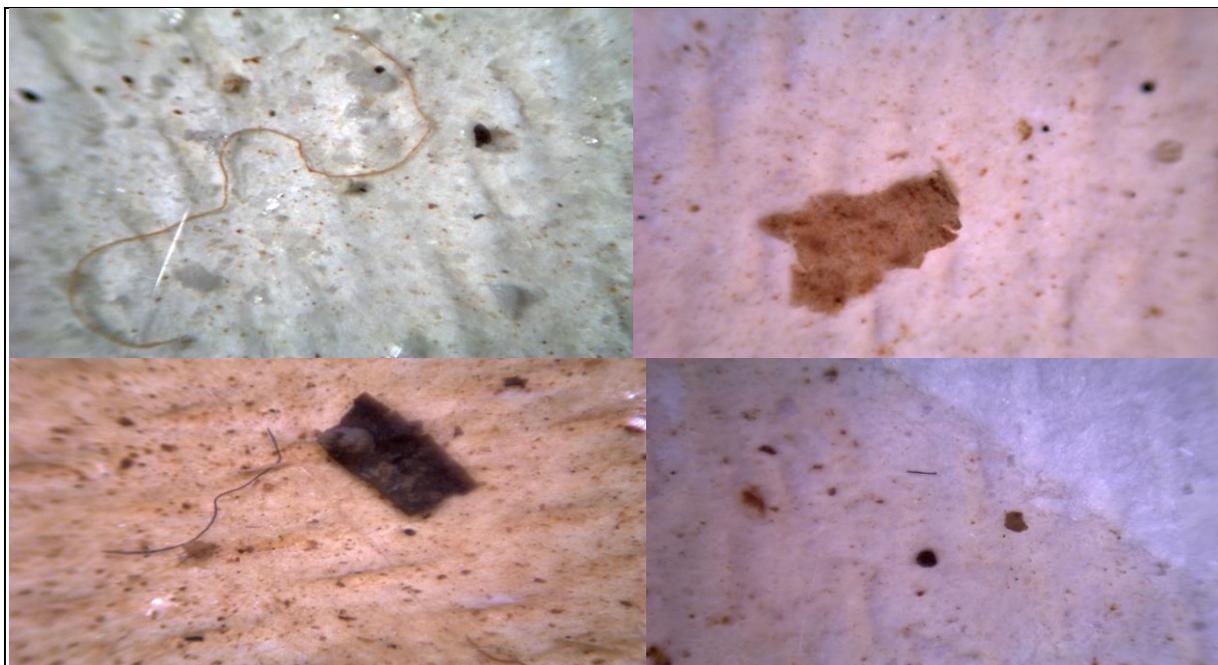


Figure IV.9 : Photos numériques des MPs dans la zone de la STEP de Bou-Ismaïl (radiale D)

c) la station de Dessalement de bousmail :

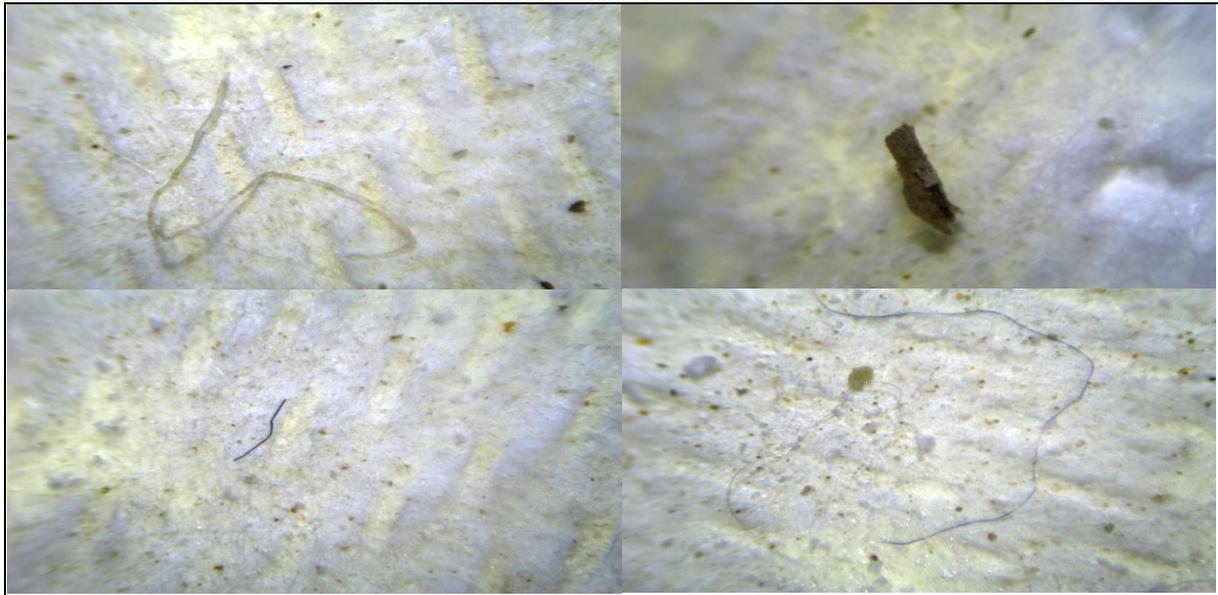


Figure IV.10 : Photos numériques des MPs dans la zone de la station de dessalement de Bouismail

d) station de dessalement FOUKA (la radiale F de)

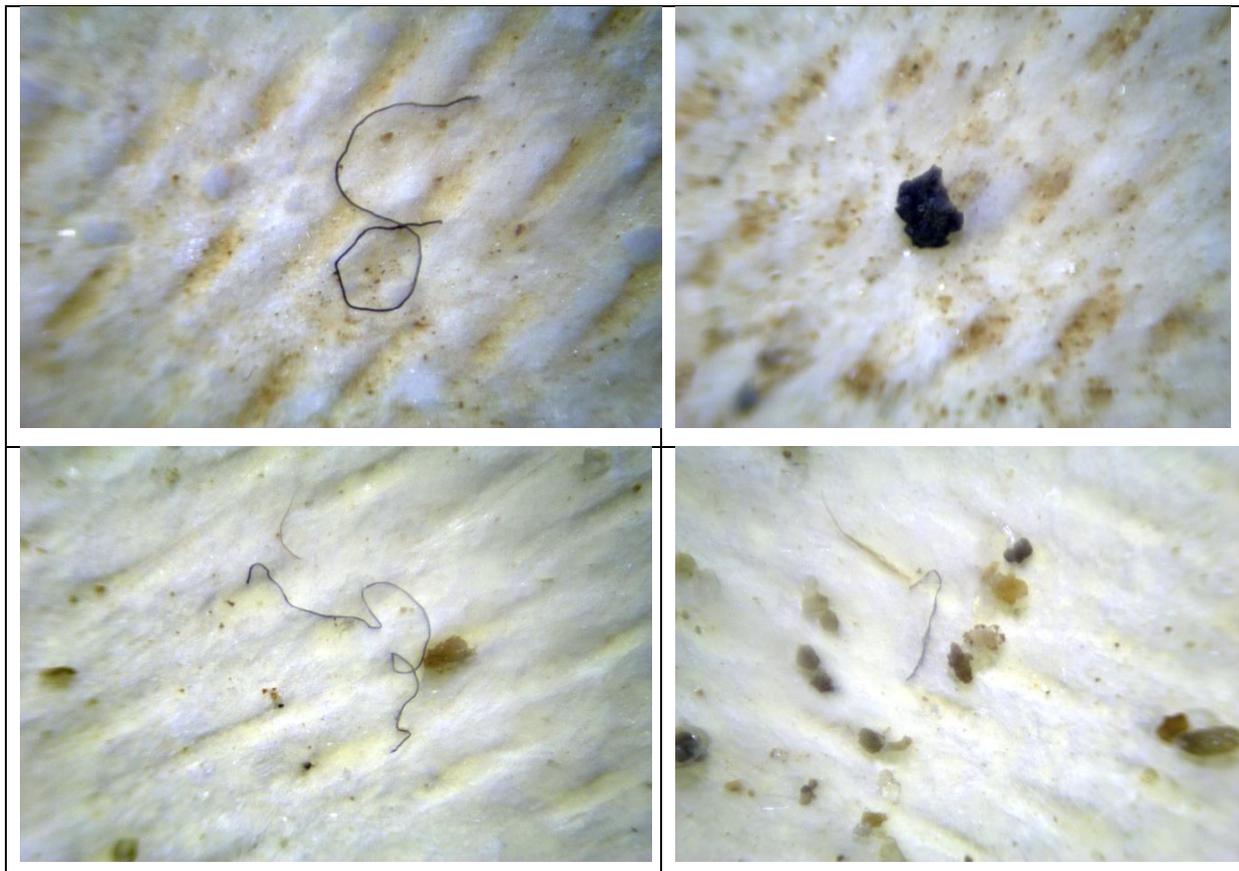


Figure IV.11: Photos numériques des MPs dans le périmètre de la zone de station de dessalement de Fouka

Conclusion

Conclusion générale :

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous avons réalisé une évaluation détaillée de la pollution par les microplastiques dans les sédiments marins de la baie de BouIsmaïl, en utilisant des méthodes analytiques rigoureuses et complémentaires.

Les échantillons prélevés ont d'abord été séchés en étuve pour assurer la fiabilité des analyses. La séparation des microplastiques a été effectuée par flottation dans une solution de chlorure de sodium (NaCl) d'une densité de $1,2 \text{ g/cm}^3$, permettant ainsi d'extraire les particules plastiques les plus légères, caractéristiques de ce type de pollution.

Pour une meilleure caractérisation des sédiments, une calcination a été réalisée afin de déterminer la teneur en matière organique (MO), ce paramètre indique une variation importante dans la radiale D, avec une moyenne de 2.025%.

Tandis qu'une analyse granulométrique des sédiments, a permis d'identifier la distribution des tailles des particules. Les résultats indiquent que la fraction est presque absente dans les sédiments analysés. La fraction la plus fréquente est [200-100] avec une moyenne de 1.85 %. Ces données sont essentielles pour évaluer l'impact de la granulométrie sur l'accumulation.

Notre étude a également inclus la mesure du pH au point de charge zéro (pHpzc), un paramètre crucial pour appréhender les interactions physico-chimiques entre les surfaces des particules sédimentaires et les polymères plastiques. Les résultats montrent que notre sédiment a un pH qui varie entre 5.8 et 6.25

Les particules isolées ont été d'abord examinées et quantifiées à l'aide d'une loupe binoculaire et d'une caméra, ce qui a permis de les classer morphologiquement. Les résultats ont montré une prédominance des fragments plastiques, suivis des fibres, ce qui illustre la diversité des sources de pollution, telles que les effluents domestiques, le tourisme côtier, ainsi que les activités portuaires et maritimes.

Le classement par type de MPs montre que les types de MPs les plus croisés sont fragment, filament et film.

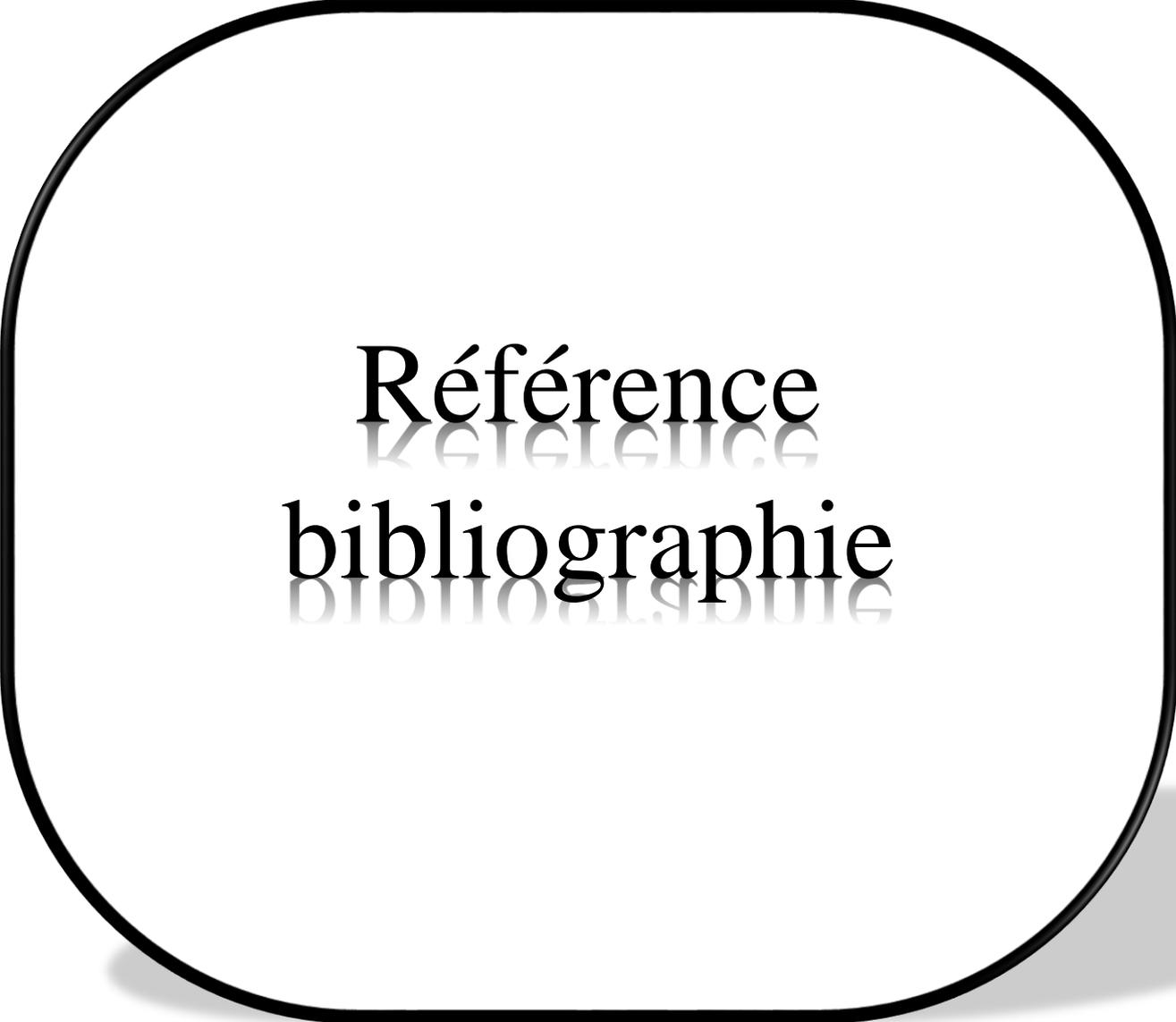
Pour la couleur, noir et marron

Et en fin, le classement par taille de particule, montre que la classe de taille la plus identifiée est de <0.3

L'analyse spatiale des données a révélé une variabilité de la contamination selon les différents sites, confirmant l'impact des facteurs anthropiques et hydrodynamiques locaux. De manière générale, des quantités significatives de microplastiques ont été détectées dans la radiale D, soulignant une contamination préoccupante de l'environnement marin.

L'étude met en évidence la nécessité d'intensifier la surveillance environnementale de cette pollution émergente. Les microplastiques constituent une menace sérieuse pour la faune benthique, pouvant entraîner une bioaccumulation dans la chaîne alimentaire et, à terme, des risques pour la santé humaine.

En somme, ce travail représente une ressource précieuse pour comprendre la dynamique des microplastiques dans les écosystèmes côtiers algériens. Il pave la voie à des recherches plus approfondies, notamment sur l'identification des types de polymères par le biais de la spectroscopie (comme le FTIR ou le Raman), le suivi temporel de la pollution, ainsi que l'évaluation de ses impacts écotoxicologiques. Il met également en avant l'urgence d'adopter des stratégies de gestion intégrée du littoral, combinant prévention, traitement des déchets, sensibilisation à l'environnement et réglementation.



Référence
bibliographique

Références :

- [1] (Andrady, 2011)
- [2] (Eriksen et al., 2014)
- [3] (Barnes et al., 2009).
- [4] Office français de la biodiversité. Pollutions des milieux d'eau douce 2024.
- [5] Réviseur 1-2. Cours 5 – Environnement L3 GAT21 2021.
- [6] Laurence Ledireach. Pollutions marines : les définitions 2013.
- [7] Robert P, Rey-Debove J, editors. Le nouveau Petit Robert: dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française; [60 000 mots - 300 000 sens]. Nouv. éd. du Petit Robert de Paul Robert, [40. éd.]. Paris: Dictionnaires Le Robert; 2007.
- [8] Rey A, editor. Dictionnaire historique de la langue française: contenant les mots français en usage et quelques autres délaissés. Paris: Dictionnaires Le Robert; 1994.
- [9] Lambert S, Sinclair C, Boxall A. Occurrence, Degradation, and Effect of Polymer-Based Materials in the Environment. In: Whitacre DM, editor. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Volume 227, vol. 227, Cham: Springer International Publishing; 2014, p. 1–53. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01327-5_1.
- [10] Addou A. Traitement des déchets: valorisation, élimination. Paris: Ellipses; 2009.
- [11] (Morét-Ferguson et al., 2010).
- [12] (Colton et al., 1974)
- [13] (Meadows et al., 1972)
- [14] (Peakall, 1975)
- [15] Carpenter EJ, Smith KL. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* 1972;175:1240–1. <https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>.
- [16] Peakall DB, Shugart LR, editors. Biomarkers. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1993. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-84631-1>.
- [17] (Thompson et al., 2004)
- [18] (Moore, 2008)
- [19] (Frias et al., 2010 ; Moore, 2008)
- [20] (Claessens et al., 2013 ; Van Cauwenberghe
- [21] (GESAMP, 2015)
- [22] (Wright et al., 2013b)

- [23] (Van Cauwenberghe et al., 2013a ; Van Cauwenberghe et al., 2015b ; Van Cauwenberghe et al., 2013b)
- [24] (GESAMP, 2015)
- [25] (GESAMP, 2015 ; Van Cauwenberghe et al., 2015b)
- [26] (GESAMP, 2015)
- [27] (Cole, 2013)
- [28] (Girault et al., 2017)
- [29] (GESAMP, 2015)
- [30] (Kang et al., 2015)
- [31] Thompson RC. Microplastics in the Marine Environment: Sources, Consequences and Solutions. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M, editors. *Marine Anthropogenic Litter*, Cham: Springer International Publishing; 2015, p. 185–200. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_7.
- [32] Van Cauwenberghe L, Devriese L, Galgani F, Robbens J, Janssen CR. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research* 2015;111:5–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>.
- [33] De Lucia GA, Caliani I, Marra S, Camedda A, Coppa S, Alcaro L, et al. Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean Sea). *Marine Environmental Research* 2014;100:10–6. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.03.017>.
- [34] Gigault J, El Hadri H, Reynaud S, Deniau E, Grassl B. Asymmetrical flow field flow fractionation methods to characterize submicron particles: application to carbon-based aggregates and nanoplastics. *Anal Bioanal Chem* 2017;409:6761–9. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0629-7>.
- [35] GESAMP. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment 2015.
- [36] Claessens M, Van Cauwenberghe L, Vandegheuchte MB, Janssen CR. New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin* 2013;70:227–33. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.009>.
- [37] Frias JPGL, Sobral P, Ferreira AM. Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin* 2010;60:1988–92. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.030>.
- [38] Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* 2004;304:838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>.
- [39] Van Cauwenberghe L, Devriese L, Galgani F, Robbens J, Janssen CR. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research* 2015;111:5–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>.

- [40] (Buchanan, 1971)
- [41] (Carpenter & Smith, 1972)
- [42] (Colton et al., 1974)
- [43] (Wong et al., 1974)
- [44] (Thompson et al., 2004)
- [45] (Baztan et al., 2014 ; Do Sul et al., 2009).
- [46] (Browne et al., 2010 ; Claessens et al., 2011 ; Van Cauwenbergue et al., 2013)
- [47] (Arthur et al., 2009)
- [48] (Obbard et al., 2014)
- [49] (Cozar et al., 2014)
- [50] (Buchanan, 1971 ; Carpenter et al., 1972)
- [51] (Gregory, 1978)
- [52] (Thompson et al., 2004)
- [53] (Van Cauwenberghe et al., 2013)
- [54] (Andrady, 2011 ; Zettler et al., 2013 ; Thompson et al., 2004)
- [55] (Law et al., 2010 ; Moret-Ferguson et al., 2010 ; Van Cauwenberghe et al., 2013 ; Cozar et al., 2014)
- [56] (Laist, 1997)
- [57] (Ward & Kach, 2009 ; Long et al., 2015)
- [58] (Browne et al., 2008 ; Van Cauwenberghe et al., 2015)
- [59] (Thompson et al., 2004 ; Browne et al., 2013 ; Wright et al., 2013)
- [60] (Cole et al., 2013)
- [61] (Carpenter et al., 1972 ; Collignon et al., 2012 ; Browne et al., 2013 ; Lusher et al., 2013 ; Rochman et al., 2013b)
- [62] (Farrell & Nelson, 2013)
- [63] (Ryan et al., 2009 ; Colabuono et al., 2010 ; Tanaka et al., 2013)
- [64] (McMahon et al., 1999 ; Eriksson & Burton, 2003)
- [65] Andrady AL. Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin* 2011;62:1596–605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.
- [66] Lebreton LC-M, Greer SD, Borrero JC. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Marine Pollution Bulletin* 2012;64:653–61. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.027>.

- [67] Eriksen M, Mason S, Wilson S, Box C, Zellers A, Edwards W, et al. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin* 2013;77:177–82. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>.
- [68] Van Cauwenberghe", "given": "Lisa" }, "Vanreusel", "given": "Ann" }, "Mees", "given": "Jeroen" },, "Janssen", "given": "Colleen R. Microplastic pollution in deep-sea sediments 2013.
- [69] Zettler ER, Mincer TJ, Amaral-Zettler LA. Life in the "Plastisphere": Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environ Sci Technol* 2013;47:7137–46. <https://doi.org/10.1021/es401288x>.
- [70] Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, Davis A, Rowland SJ, John AWG, et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science* 2004;304:838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>.
- [71] Gregory MR. Accumulation and distribution of virgin plastic granules on New Zealand beaches. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 1978;12:399–414. <https://doi.org/10.1080/00288330.1978.9515768>.
- [72] Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, Miklas HP, Peck BB. Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science* 1972;178:749–50. <https://doi.org/10.1126/science.178.4062.749>.
- [73] Carpenter EJ, Anderson SJ, Harvey GR, Miklas HP, Peck BB. Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science* 1972;178:749–50. <https://doi.org/10.1126/science.178.4062.749>.
- [74] Moore CJ, Moore SL, Leecaster MK, Weisberg SB. A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 2001;42:1297–300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X).
- [75] (Lusher et al., 2017)
- [76] (Salvador Cesa et al., 2017).
- [77] (Shiber, 1979)
- [78] (Norèn, 2007)
- [79] (Fendall et Sewell, 2009)
- [80] (Napper et al., 2015)
- [81] (Browne et al., 2011)
- [82] (Leslie, 2014)
- [83] (Singh et Sharma, 2008).
- [84] (Yoshida et al., 2016)
- [85] (Sundt et al., 2014)
- [86] Boltovskoy D. *Encyclopedia of Marine Geosciences* Encyclopedia of Marine Geosciences. Jan Harff, Martin Meschede , Sven Petersen, and Jörn Thiede (editors).

Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, XXXIII+961 pp, ISBN: 978-94-007-6237-4. *Ameghiniana* 2017;54:255–6. <https://doi.org/10.5710/AMGH.v54i2.1>.

[87] Van Cauwenberghe L, Claessens M, Vandegehuchte MB, Janssen CR. Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental Pollution* 2015;199:10–7.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.008>.

[88] (Routier et al., 2023)

[89] (Lavers et al., 2021)

[90] (Carbery et al., 2018)

[91] (Pandey et al., 2022)

[92] (Allsopp et al., 2006)

[93] (Pandey et al., 2022)

[94] (Rist et al., 2016)

[95] (Yin et al., 2018)

[96] (Rafa et al., 2024)

[97] (McLachlan, 2019)

[98] (Zuccarello et al., 2019)

[99] (Djouina, M. 2023.)

[100] Lambert S, Sinclair C, Boxall A. Occurrence, Degradation, and Effect of Polymer-Based Materials in the Environment. In: Whitacre DM, editor. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Volume 227, vol. 227, Cham: Springer International Publishing; 2014, p. 1–53. https://doi.org/10.1007/978-3-319-01327-5_1.

[101] Jenner LC, Rotchell JM, Bennett RT, Cowen M, Tentzeris V, Sadofsky LR. Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Science of The Total Environment* 2022;831:154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>.

[102] Braun T, Ehrlich L, Henrich W, Koepfel S, Lomako I, Schwabl P, et al. Detection of Microplastic in Human Placenta and Meconium in a Clinical Setting. *Pharmaceutics* 2021;13:921. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13070921>.

[103] Rafa N, Ahmed B, Zohora F, Bakya J, Ahmed S, Ahmed SF, et al. Microplastics as carriers of toxic pollutants: Source, transport, and toxicological effects. *Environmental Pollution* 2024;343:123190. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123190>.

[104] Cole M, Lindeque P, Fileman E, Halsband C, Galloway TS. The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ Sci Technol* 2015;49:1130–7. <https://doi.org/10.1021/es504525u>.

- [105] Pandey B, Pathak J, Singh P, Kumar R, Kumar A, Kaushik S, et al. Microplastics in the Ecosystem: An Overview on Detection, Removal, Toxicity Assessment, and Control Release. *Water* 2022;15:51. <https://doi.org/10.3390/w15010051>.
- [106] Lavers JL, Rivers-Auty J, Bond AL. Plastic debris increases circadian temperature extremes in beach sediments. *Journal of Hazardous Materials* 2021;416:126140. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126140>.
- [107] Routier E, Guenther M, Terzariol M. The Impact of Microplastics on the Physical Behavior of Marine Sediments 2023. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4384906>.
- [108] (LEM,1998).
- [109] (CNRDPA, 2005)
- [110] (CNRDPA, 2005)
- [111] (CNRDPA, 2005)
- [112] (CNRDPA, 2005)
- [113] (Khettab et Lachtar., 2017).
- [114] Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environ Sci Technol* 2012;46:3060–75. <https://doi.org/10.1021/es2031505>.
- [115] Benyerou D, Boudjenane N, Belhadri M. Influence chimique et minéralogique des sédiments de dragage portuaire dans le cadre de leur valorisation dans la fabrication des briques. *Environnement, Ingénierie & Développement* 2019;N°81-septembre 2019:7733. <https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.4137>.