

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT ET MASTER EN SCIENCES DE LA MER**

OPTION : Ingénierie de l'environnement marin et côtier

**EVALUATION DES MICROPLASTIQUES DANS
LES SEDIMENTS ET LES EAUX DE SURFACE DE
LA BAIE DE ZEMMOURI**

Réalisé par :

ELBACHIR Asmaa

HAMZA Fatma Zohra

Soutenu le 06/11/2021 devant le jury composé de :

Mme.HOUMA BACHARI. F	Professeur	ENSSMAL	Présidente
Mr.HAMDI BOUALEM	Professeur	ENSSMAL	Promoteur
Melle GHEZALI YOUSRA	Doctorante	ENSSMAL	Co-promotrice
Melle LOUNAS RYHANE	Docteur	ENSSMAL	Examinatrice
Melle TOUINA AMEL	Docteur	ENSSMAL	Examinatrice

2020/2021

A la mémoire de mon oncle

HAMZA Redouane

A la mémoire de

HAMZA Leila

Qu'ils reposent en paix ...

Fatima Zohra

Remerciements

Ce travail est le résultat de recherches analytiques ainsi que de contacts enrichissants

On tient tout d'abord à adresser nos plus vifs remerciements et notre gratitude à notre directeur de thèse

-Mr.HAMDI BOUALEM-

Pour sa disponibilité et son aide, qui nous ont permis de mener à bien notre mémoire de fin d'études.

Avec un grand honneur et un profond respect, nous remercions en particulier Melle **GHEZALI YOUSRA** qu'on a eu la chance de côtoyer dans le cadre de notre travail de recherche, et qui a su avec rigueur diriger et orienter nos travaux, avec ses conseils et ses critiques tout au long de ce travail de recherche, on ne peut que lui être reconnaissantes surtout pour ses qualités intellectuelles et humaines. De même qu'à Mr **SETITI SKANDER** qui a été disponible avec tous ses efforts et sa patience lors de nos deux sorties, qui ont été essentiels pour la réalisation de ce mémoire, chacun des deux nous a permis de développer des compétences, qu'ils trouvent ici le témoignage de notre reconnaissance.

Nous adressons nos sincère remerciement à Mme **HOUMA-BACHARI FOUZIA** de nous avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence du jury, qu'elle trouve ici l'expression de notre profond respect, Un grand merci également à Melle **LOUNAS RYHANE** et Melle **TOUINA AMEL** qui ont bien voulu faire partie du jury et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail par leurs commentaires constructifs, leurs bons sens et leurs expériences.

Nous tenons à remercier Youcef, Ali, Amina, Malik ainsi que toute l'équipe du laboratoire de l'ENSSMAL, pour leur disponibilité, aide, et conseils qui nous ont beaucoup aidé durant toute la période du laboratoire.

Nous tenons également à témoigner notre profonde reconnaissance au marin Mr Youcef qui nous accompagné durant notre deuxième sortie à Djinat qui a été exceptionnelle et unique, grâce à son expérience et ses compétences intellectuelles, ce qui nous a beaucoup aidé pour la réussite de cette sortie, et qui nous a permis d'enrichir nos connaissances dans le domaine marin.

Nos sincères remerciements à toute personne ayant contribué à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je tiens d'abord à remercier ma petite famille pour leur support inconditionnel. Fidèles à leur habitude, ils m'encouragent dans tous mes projets, aussi ambitieux soient-ils, me rappelant que ma passion me permet de relever bien des défis.

Je remercie de plus précis maman et papa, pour tous leurs efforts et amour qu'ils m'ont porté, la force et le courage qu'ils m'ont donné étaient ma motivation pour avancer tout au long de ce parcours.

Une simple mention à mon aînée Nadjet, pour son soutien sans faille, et de m'avoir toujours relevé, encouragé et motivé, tu trouves ici ma sincère reconnaissance. Ainsi qu'à mes chères petites lunes, Rachida et Naima, pour leur grande capacité d'écoute, leurs précieux encouragements et leur amour.

Ma petite famille, je vous exprime toute ma reconnaissance et ma gratitude pour avoir su me pousser à aller toujours plus loin, à ne pas abandonner et à toujours persévérer, et je vous exprime également mon amour. Sans oublier mes deux petits neveux Mohamed et Tasnime que j'aime trop.

Je dédie ce travail à ma grand-mère Yemma Zhira, qui m'a donné tout l'amour et l'éducation, pour en arriver ici, ainsi qu'à mes grands-parents Papa Mohamed et Mma Louiza, de m'avoir aidé avec tous les moyens pour réussir, je n'oublierai jamais vos douâas, ainsi que Oussama, Wahiba et Lotfi, je vous remercie d'avoir été à mes côtés lorsque j'en avais besoin.

Je dédie également ce travail à mes quatre oncles Chiyah, sans oublier mon oncle Redouane qui nous a quitté il y a quatre mois, j'aurai bien aimé qu'il sera présent à ma soutenance, mais, paix à son âme. Je voudrais vous exprimer mon amour ici, et de passage je vous avoue que je suis fière d'être votre fille. Ainsi qu'à mes cousines Soumia, Sabrina, Amel, Hnifa, Khadidja, et Malek, à Mohamed et Ikram, à mes cousins, et à toute la famille Chiyah. Je n'oublie surement pas de mentionner Leila Chiyah qui nous a quitté il y a six mois, paix à son âme.

Tout au long de cette aventure académique, mon binôme Asmaa m'a beaucoup inspiré, soutenu et même confronté, je souhaite lui présenter ici mes sincères remerciements pour cette expérience unique, et pour son sérieux.

Mes profondes gratitude s'adressent ensuite à mes chères copines Amina, Rym et Rima avec qui j'ai passé cinq années d'études, de folie, de risque, de colère, de joie, et d'aventure, je vous remercie pour cette expérience que je n'oublierai jamais.

Je n'oublie surement pas de mentionner celles qui me sont chères, Maissa, Mayssa, Souha, et ma copine d'enfance Sabrina, pour leur présence et surtout pour leur aide moral.

A la personne la plus chère à mon cœur.

Fatima Zohra

Dédicace

A mes parents, ceci est ma profonde gratitude pour votre amour éternel, que ces efforts soient le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.

Je dédie également ce travail à mes sœurs et mes frères, à mon binôme qui m'a toujours poussé à aller loin et à donner mieux, que tu trouves ici ma sincère gratitude et reconnaissance

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et qui ont été à mes côtés lorsque j'en avais besoin.

Asmaa

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....	01
Problématique.....	03
CHAPITRE I- Généralités et concepts.....	04
I. Généralités sur les microplastiques.....	05
I-1. Le plastique.....	05
I-1.1. Définition de plastiques.....	05
I-1.2. Composition.....	05
I-1.3. Le cycle de vie du plastique.....	05
I-2. Les microplastiques, notions et généralités.....	07
I-2.1. Définition.....	07
I-2.2. L’histoire de la recherche sur les microplastiques.....	10
I-2.3. Définition des polymères.....	10
I-2.4. Sources ou origines de microplastiques.....	11
I-2.5. Classification.....	11
I-2.6. Le devenir des microplastiques dans l’environnement.....	14
I-2.7. Les risques induits par les microplastiques.....	15
I-3. Impact des débris plastiques sur les écosystèmes marins et côtiers.....	15
I-3-1. Impacts indirects sur le milieu naturel.....	15
I-3-2. Impacts directs sur la faune.....	15
I-3-3. Impact socio-économique.....	16
I-3-4. Impact des additifs.....	17
I-4. Les pollutions par les microplastiques sont une menace pour l’environnement.....	17
I-4-1. Conséquence de l’ingestion des microplastiques.....	17
I-4-2. Le cas des microplastiques des produits cosmétiques.....	18
I-5. Contamination des microplastiques par d’autres polluants.....	18

I-5.1. Micropolluants dans l'eau et microplastiques.....	18
I-5.2. Les microplastiques vecteurs de micropolluants.....	19
CHAPITRE II- Zone d'étude.....	21
II-1. Situation géographique de la zone d'étude.....	22
II-2. Sédimentologie de la baie.....	22
II-3. Caractéristiques morphologiques.....	23
II-4. Hydrodynamisme.....	23
II-4-1. La houle.....	23
II-4-2. Les courants.....	23
II-5. Réseaux hydrologiques.....	24
II-6. Climatologie.....	25
II-6-1. La précipitation.....	25
II-6-2. La température.....	26
II-6-3. Le vent.....	26
CHAPITRE III- Matériel et méthodes.....	28
III-1. Travaux effectués en mer.....	29
III-1.1. Choix et localisation des stations.....	29
III-1.2. Prélèvement des échantillons.....	30
III-1.2.1. Matériels de prélèvement.....	30
III-2. La matrice [Eau] : Via le filet manta.....	31
III-2.1. Échantillonnage des microplastiques à la surface de la mer.....	32
III-2.2. Les coordonnées géographiques des stations de prélèvement.....	33
III-3. La matrice sédiment [S] : Via la benne Van Veen.....	34
III-3.1. Les coordonnées géographiques des stations de prélèvement.....	35
III-4. Analyse laboratoire.....	35
III-4.1. La solution saline ZnCl ₂	35
III-4.1.1. Principe de la méthode de la solution saline ZnCl ₂	35
III-4.1.2. Préparation de la solution saline ZnCl ₂	36
III-4.2. Matrice Eau.....	37
III-4.2.1. Procédures de traitements des échantillons au laboratoire.....	37
III-4.2.2. Identification des microplastiques sous la loupe binoculaire.....	38

III-4.3. Matrice Sédiment.....	41
III-4.3.1. Etude granulométrique.....	41
III-4.3.2. Analyse granulométrique par tamisage à sec.....	42
III-4.3.3. Identification des microplastiques par spectroscopie IR..	47
CHAPITRE IV- Résultats et discussions.....	48
IV-1. Résultats des eaux de surface.....	49
IV-1.1. Quantification des microplastiques dans la matrice d'eau.....	49
IV – 1.1.1. Les paramètres physico-chimiques des transects de la	
matrice eau.....	51
IV-1.2. Comparaison entre les différentes stations.....	52
IV-2. Résultats de la granulométrie.....	54
IV-2.1. Refus du tamisage.....	54
IV- 2.2. Résultats de tamisage de sédiments prélevés.....	55
IV- 2.3 Courbes de probabilités cumulées.....	56
IV- 2.4. Les indices.....	59
IV- 3. Résultats de quantification de microplastiques dans les sédiments.....	60
IV- 3.1. Les paramètres physico-chimiques des stations des sédiments.....	60
IV- 3.2. Quantification des microplastiques.....	60
IV-3.3. Sédiment et microplastique	62
IV- 4. Comparaison entre la matrice eau et la matrice sédiment	63
IV- 4.1. Facteurs explicatifs associés au dépôt de microplastiques.....	64
IV – 5. Spectroscopie IR.....	64
Conclusion.....	70
Bibliographie.....	72
Table des matières.....	76
Annexes.....	80

N°	Liste des figures	Page
01	Augmentation de la production mondiale de plastique en fonction de la croissance de la population de 1956 à 2014	06
02	Le cycle de vie des produits en plastique	06
03	Évolution du traitement des déchets plastiques post-consommation entre 2017 et 2018	07
04	Schéma des catégories des particules de plastiques selon sa taille	08
05	Représentation des tailles maximales d'un « microplastique » en fonction de la limite supérieure choisie dans la littérature.	08
06	Exemple de trois nomenclatures de fragments de plastique.	10
07	Les microplastiques primaires récupéré dans un milieu aquatique	12
08	Les microplastiques secondaires récupérés dans un environnement aquatique	13
09	Schéma des facteurs centraux responsables de la biodégradation des polymères composants la matière plastique	15
10	L'ingestion par le crabe <i>Carcinus maenas</i> de microfibres en polypropylène a pour conséquence une baisse du budget énergétique pour le crabe	18
11	Exemple de fragment de peinture de bateau.	19
12	Situation géographique de la Baie de Zemmouri	22
13	Diagramme ombrothermique de Boumerdès	25
14	Courbe de température de Boumerdès	26
15	Prélèvement des eaux de surface avec le Filet Manta au large de la plage de Zemmouri	29
16	Sonde CTD lors du prélèvement	30
17	GPS 72H	30
18	Filet manta en cours de prélèvement	31
19	Vue générale des éléments principaux du filet Manta	31
20	Carte géo référencée des stations de prélèvement de sédiments	34
21	Benne Van Veen en cours de prélèvement	34
22	Préparation e la solution saline ZnCl ₂	36
23	Rampe a filtration	38
24	Identification des microplastiques sous la loupe binoculaire	39

25	Une membrane après filtration	39
26	Procédure de lecture du filtre	39
27	Mode opératoire de la procédure de la granulométrie	42
28	La pesée de l'échantillon de sédiment	44
29	Meulage de sédiments collés dans le mortier	44
30	Tamissage de sédiments	44
31	Classification des grains de sables	44
32	Les valeurs adoptées de MZ pour la taille moyenne du grain	45
33	Les valeurs adoptées pour S0 représentants les types de classement	45
34	Les valeurs adoptées de SK representants les types d'asymetrie	46
35	Identification des différents polymères par spectroscopie infra-rouge FT-IR	47
36	Résultats des microplastiques dans chaque transect	51
37	Comparaison entre les différentes stations	52
38	Courbe de distribution granulométrique de la Station 01	56
39	Courbe de distribution granulométrique de la Station 02	56
40	Courbe de distribution granulométrique de la Station 03	56
41	Courbe de distribution granulométrique de la Station 04	56
42	Courbe de distribution granulométrique de la Station 05	56
43	Courbe de distribution granulométrique de la Station 06	57
44	Courbe de distribution granulométrique de la Station 07	57
45	Courbe de distribution granulométrique de la Station 08	58
46	Courbe de distribution granulométrique de la Station 09	58
47	Courbe de distribution granulométrique de la Station 10	58
48	Courbe de distribution granulométrique de la Station 11	58
49	Résultats de quantification de microplastiques dans les sédiments	60
50	Distribution des stations analysées	61
51	Comparaison entre la quantité de microplastiques et la quantité des sédiments dans chaque refus dans la station 1	62
52	Comparaison entre la quantité des microplastiques et la quantité des sédiments dans chaque refus dans la station2	62

53	Comparaison entre la quantité des microplastiques et la quantité des sédiments dans chaque refus dans la station 3	63
54	Spectre de polymère, type : polystyrène	65
55	Spectre de polymère, type : polypropylène	67
56	Spectre de polymère, type : polyéthylène	68

N°	Liste des tableaux	Page
01	Principales sources de microplastiques primaires et secondaires	13
02	Coordonnées géographiques des stations de prélèvement	33
03	Coordonnées géographiques des stations de prélèvement de sédiment	35
04	Quantité comparative de sels (g) ajoutée à 1 L d'eau ultra-pure pour atteindre des densités spécifiques, et leurs coûts associés.	36
05	Mode opératoire	37
06	Catégories utilisées pour décrire les microplastiques,	40
07	Diamètres des grains et appellations correspondant à la norme AFNOR	41
08	Types et quantification de microplastiques dans chaque transect	49
09	les paramètres physico-chimiques des transects	51
10	Tableau présentant les refus de tamis de chaque station	54
11	Tableau récapitulatif des Indices et leurs classements au niveau de toutes les stations de prélèvement de sédiment	59
12	les paramètres physico-chimiques des stations	60
13	Tableau de quantification de microplastiques dans les sédiments	60
14	Quantification des microplastiques dans la matrice eau	63
15	Quantification des microplastiques dans la matrice sédiment	64

Liste des abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

MP : Micro Plastique

UV : Ultraviolet

UE : Union Européenne

ISO : International Organisation of Standardization

POP : Polluants Organiques Persistants

DDT : Dichlorodiphényltrichloroéthane

HAP : Hydrocarbure Aromatique Cyclique

A blue scroll graphic with a dark blue outline and a light blue gradient fill. The scroll is unrolled in the center, with the word "INTRODUCTION" written in a black, serif font. The top and bottom edges of the scroll are rolled up, and the left edge is also rolled up, creating a three-dimensional effect.

INTRODUCTION

Introduction:

La pollution par plastique est reconnue comme l'un des problèmes environnementaux les plus urgents au monde. La plupart des plastiques sont durables et se dégradent lentement, de sorte que les plastiques restent longtemps dans l'environnement, devenant ainsi un danger pour pressant. Les risques liés aux grands débris de plastique, tels que l'enchevêtrement de la vie marine et l'ingestion par les oiseaux de rivage, les reptiles et les poissons, sont très élevés, causent souvent des blessures ou la mort et ont été bien documentés dans les systèmes marins (**Derraik 2002 ; Gall et Thompson 2015**). Les débris de plastique qui s'échouent sur le littoral ou dans les zones développées ont des impacts économiques sur le tourisme et l'industrie en plus des effets écologiques (**Avio et al. 2016, Critchell et Lambrechts 2016**). Les plastiques ne manquent pas dans la société. En 2010, 275 MT de déchets plastiques ont été générés dans le monde et 270 MT de nouveaux déchets plastiques ont été produits (**Jambeck et al. 2015**). Si même un de cette production annuelle de plastique est rejeté dans les océans, les lacs et les rivières, il peut s'accumuler en de grandes quantités de débris plastiques, comme l'ont démontré de nombreuses études sur les débris marins.

Les scientifiques ne trouvent pas seulement de gros débris de plastique dans l'océan et autour du globe, mais aussi des microplastiques.

Les microplastiques sont définis comme des particules de plastique fabriquées par l'homme d'une taille inférieure à 5 mm qui résultent principalement de la décomposition d'articles en plastique plus grands, tels que les bouteilles d'eau et les lignes de pêche, ou de la fabrication de petits articles en plastique, soit de la fabrication de petites particules, notamment les perles cosmétiques ajoutées aux produits de gommage du visage et aux dentifrices. Les fibres des vêtements, comme la laine, constituent également une part importante des microplastiques.

Les microplastiques pénètrent dans l'océan soit indirectement à partir du ruissellement terrestre ou par le transport fluvial, soit sous forme de gros morceaux dérivant déjà dans l'océan et se dégradant en plus petits morceaux (**Browne et al. 2010, Yonkos et al. 2014**). Ces très petits morceaux ont été trouvés dans le zooplancton, le corail, corail, des copépodes, des vers marins, des filtreurs, des poissons et d'autres organismes qui servent de proies à des espèces plus grandes (**Cole et al. 2013, Yonkos et al. 2014, Wright et al. 2013, Setala et al. 2014**). Ceci n'est pas surprenant puisque les microplastiques sont souvent de la même taille que les particules alimentaires pour ces organismes.

Bien que des études continuent d'être publiées sur le devenir et l'effet des microplastiques sur la physiologie d'un organisme et sur la bioamplification potentielle dans les réseaux alimentaires, les recherches ont déjà démontré que l'ingestion et les risques toxicologiques potentiels (par exemple, **Browne et al. 2013, Wright et al. 2013, Farrell et Nelson 2013, Setala et al. 2014, Rochman et al. 2014, Avio et al. 2015**). Lorsque le plastique est associé avec des additifs sont couramment utilisés tels que les phtalates (plastifiants pour améliorer la flexibilité), un composé potentiellement cancérigène, et le bisphénol A (BPA -

ajouté au polycarbonate et aux résines plastiques), un perturbateur endocrinien. Les microplastiques peuvent également adsorber des polluants organiques persistants, comme les polychlorobiphényles (PCB - par exemple, les liquides de refroidissement), présents dans de nombreux environnements côtiers. Le devenir et les effets de l'ingestion de ces petites particules contenant ces substances chimiques sur des écosystèmes entiers sont un nouveau sujet de recherche (**Besseling et al. 2013, Chua et al. 2014, Rochman et al. 2014, Koelmans et al. 2013, Koelmans et al. 2016**).

Une grande quantité de déchets marins aboutit chaque année dans la mer Méditerranée, dont une proportion importante (~ 80%) est généralement constituée de débris plastiques (**Eriksen et al., 2014 ; Suaria & Aliani, 2014 ; UNEP/MAP, 2015**). Par conséquent, la question des déchets plastiques est aujourd'hui considérée comme un problème de pollution pour l'ensemble du bassin méditerranéen. Le problème est d'autant plus grave que les démographes prévoient une augmentation de la population de 572 millions d'habitants autour du bassin méditerranéen d'ici 2030, avec deux phénomènes latéraux principaux : la " littoralisation " et l'" urbanisation " (**UNEP/MAP, 2017**), qui entraînent tous deux une augmentation de la production de déchets et de la pression anthropique le long de la zone côtière. côtière, alors que les infrastructures appropriées de gestion des déchets font souvent encore défaut (**Galgani et al., 2013**).

La tendance temporelle des importations de plastiques vierges en Algérie montre une augmentation régulière avec des importations passant de 0,096 Mt en 1992 à environ 1,38 Mt en 2016. Au même temps, en Algérie, la consommation annuelle de sacs plastiques était d'environ 5,5 milliards en 2017 (**MERE, 2017**) et on estime que 0,52 Mt de déchets plastiques sont mal gérés dans le pays chaque année (**Jambeck et al., 2015**). La pollution microplastique est une crise urgente dont nous devons nous préoccuper.

Notre travail s'inscrit dans la continuité des travaux antérieurs menés par l'équipe du professeur Hamdi sur la pollution par les microplastiques sur les côtes algériennes qui ont commencés en 2014 dont (**Setiti et al, 2021**). L'objectif principal de cette étude est de mener une recherche primaire sur les microplastiques dans la matrice eau et dans le sédiment pour la première fois dans la baie de Zemmouri, et de valider l'hypothèse selon laquelle il existe une corrélation positive entre les concentrations de microplastiques et la taille des particules le long du profil sédimentaire.

L'approche globale d'un échantillonnage unique sur plusieurs sites à travers une large zone géographique nous permet de déterminer à quel point la pollution microplastique est répandue et variable et de commencer à faire des inférences sur les sources et les puits.

Les données produites par cette étude devraient être utilisées pour mieux comprendre où se trouvent les microplastiques dans notre zone d'étude et d'avoir une idée de la gamme des charges trouvées le long de la baie.

Problématique

Quel est le taux de pollution induit par les microplastiques dans la baie de Zemmouri ?

- La zone étudiée est bien connue pour sa forte population et ses activités industrielles qui peuvent contribuer à la pollution par les microplastiques, elle est aussi une zone influencée par les courants et le vent, ce qui permet le déplacement des microplastiques.

Objectif : Mener une recherche primaire sur les microplastiques dans la baie de Zemmouri.

- En testant l'hypothèse selon laquelle le macro et les microplastiques s'enfoncent dans le fond marin, nous avons essayé de déterminer leur abondance en bas (1m-26m) ainsi qu'identifier les différents polymères par spectroscopie infra-rouge FT-IR.
- Valider l'hypothèse selon laquelle il existe une corrélation positive entre les concentrations de microplastiques et la taille des particules de sable selon le profil de granulométrie.



CHAPITRE I
Généralités et concepts

CHAPITRE I- Généralités et concepts

I. Généralités sur les microplastiques

I-1. Le plastique

I-1.1. Définition de plastiques

Le mot plastique vient du mot grec "plastikos", qui signifie "haineux". Les plastiques sont définis comme des polymères non métalliques artificiels de haut poids moléculaire composés de macromolécules répétitives (Bowmer et Kershaw, 2010). Ils font référence à une série de plus de 700 matériaux importants fabriqués à partir de combustibles fossiles (produits pétroliers) ou de cellulose. L'huile est raffinée et distillée pour former des chaînes moléculaires appelées polymères. Afin de leur donner les caractéristiques de répondre aux besoins quotidiens, des éléments (chlore, azote, etc.) peuvent être ajoutés sous forme d'additifs ou d'adjuvants.

Les matières plastiques sont des matières organiques ou semi-organiques. Elles sont constituées d'un ou plusieurs polymères et de plusieurs additifs, par exemple, des produits auxiliaires, des stabilisants, des colorants et pigments, des plastifiants, des retardateurs de flamme ou ignifuges, et des charges et matériaux de renforcement (Outils PFERD, 2012).

I-1.2. Composition

Un matériau plastique est généralement constitué d'une matrice polymère qui est responsable des principales propriétés du matériau (mécaniques, thermiques, barrière, etc.) dans lequel peuvent être ajoutés différents additifs ou adjuvants pour ajuster les propriétés (des pigments pour apporter de la couleur, des stabilisants pour améliorer la tenue au vieillissement, des plastifiants pour jouer sur la ductilité, des charges pour abaisser le coût, des renforts pour moduler les propriétés mécaniques,...). Un plastique est donc souvent composé d'un « cocktail » d'additifs variés dont la nature et la proportion sont rarement connues.

I-1.3. Le cycle de vie du plastique

La production des plastiques débute en 1907 avec la Bakélite. À partir des années 1940, ils commencent à être produits en masse. Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la production de plastiques n'a cessé d'augmenter. Entre 1950 et 2015, la production mondiale de matières plastiques hors fibres plastiques est passée de 1,5 MT à 322 MT (Fig. 1) (PlasticsEurope, 2016). Actuellement, le polyéthylène est le plastique le plus couramment produit (30 % de la production totale) devant le polypropylène (19 %), le PVC (10 %), le PET (7 %) et les PS (7 %) (PlasticsEurope, 2013, 2016).

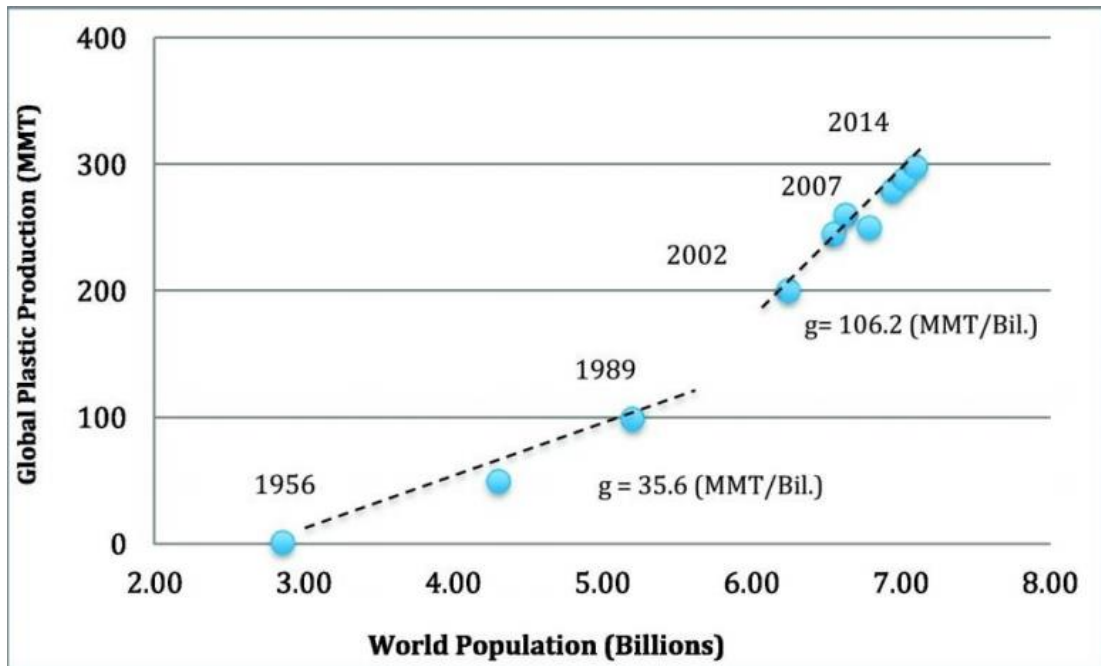


Figure 1 : Augmentation de la production mondiale de plastique en fonction de la croissance de la population de 1956 à 2014 (Andrady, 2017).

Les produits plastiques ne sont pas tous les mêmes, et n'ont pas tous la même durée de vie. Certains produits sont une seule composante d'un produit final et d'autres, plusieurs parties de ce produit. La multiplication de l'utilisation des produits plastiques entraîne une différence de durée de vie entre eux. Ils peuvent durer un an, 50 ans ou plus. C'est pourquoi, la quantité de déchets collectés dans une année n'est pas forcément en concordance avec la demande de plastique de la même année.

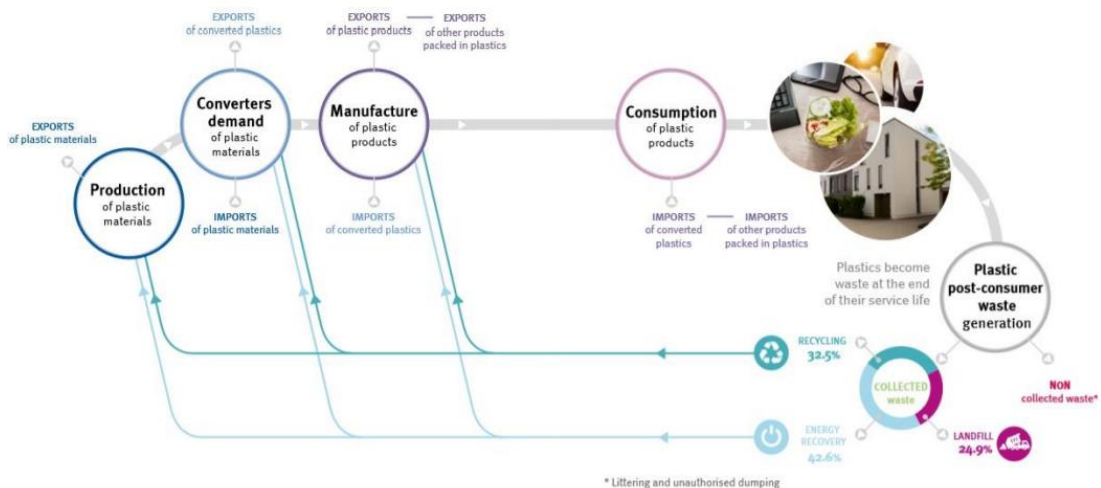


Figure 2 : Le cycle de vie des produits en plastique (PlasticsEurope, 2019)

Depuis l'année 2006, on peut utilement remarquer que les quantités de déchets plastiques envoyés au recyclage ont doublé. Mais on constate qu'en 2018, 25% des déchets post-consommation sont envoyés en décharge.

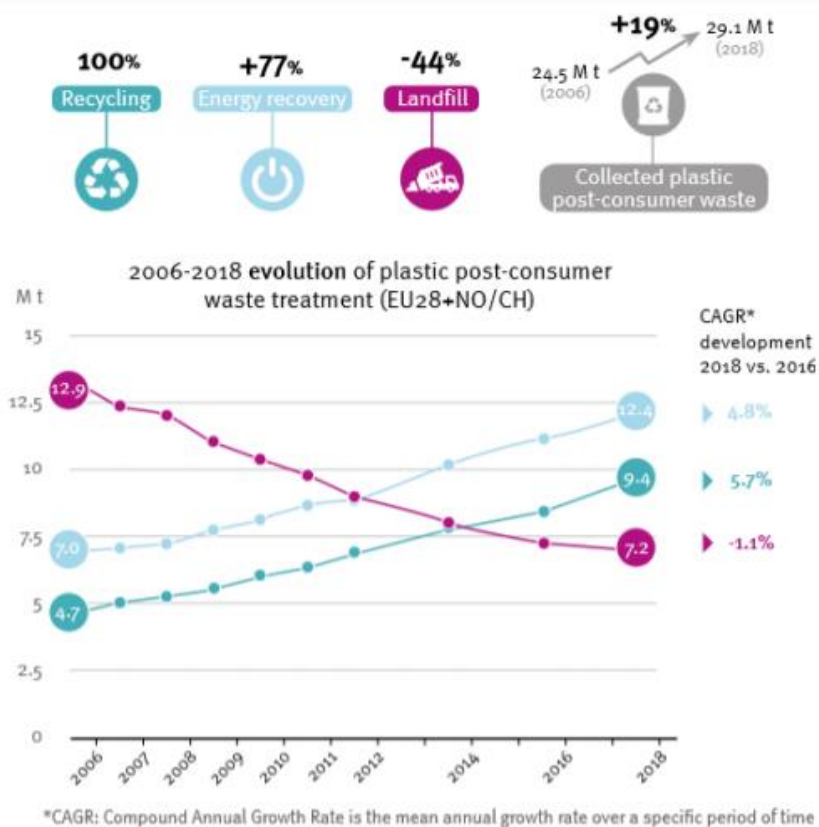


Figure 3 : évolution du traitement des déchets plastiques post-consommation entre 2017 et 2018 (PlasticsEurope, 2019)

Dans l'Union européenne en 2018, 29,1 millions de tonnes de déchets plastiques ont été collectés afin d'être traités.

La directive (UE) 2018/852 sur les emballages et les déchets d'emballages fixe des objectifs à atteindre : un recyclage des matières plastiques plus élevé de 50 % d'ici 2025 pour atteindre 55 % d'ici 2030 (PlasticsEurope, 2019).

I-2. Les microplastiques, notions et généralités

I-2.1. Définition

La plupart des auteurs du microplastique le définissent comme un matériau (particule de plastique) qui a une longueur de diamètre ≤ 5 mm pour la majorité des particules.

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

On peut dire, selon Lambert et al, (2014) que les particules > 5 mm sont des macroplastiques, les mésoplastiques comme 5 à > 1 mm, les microplastiques comme 1 mm à $> 0,1$ μm et les nanoplastiques comme $0,1$ μm .

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



Figure 4 : Schéma des catégories des particules de plastiques selon sa taille (source : Thibaut Saur, 2018)

A. Limite de taille

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 « microplastique » (document donc de référence pour l'ensemble de la communauté des chercheurs travaillant sur les microplastiques), Thompson et collaborateurs ne donnent pas de définition du terme « microplastiques » (Thompson et al., 2004). Il faut attendre 2008 pour que soit proposée la première limite permettant de différencier « macrodébris » de « microdébris » de plastique : celle de 5 mm (Moore, 2008). Ainsi, lorsque le nombre de publications sur les microplastiques a commencé à s'accroître, entre 2010 et 2013, un nombre important de limites supérieures ont été proposées (Fig. 2) :

- < 10 mm (Carson et al., 2011) ;
- < 5 mm (Frias et al., 2010; Moore, 2008) ;
- < 2 mm (Rosevelt et al., 2013) ;
- < 1 mm (Claessens et al., 2011; Van Cauwenberghe et al., 2015b).

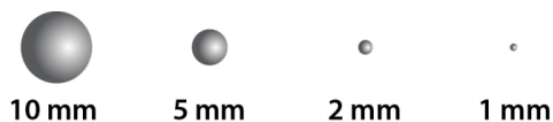


Figure 5 : Représentation des tailles maximales d'un « microplastique » en fonction de la limite supérieure choisie dans la littérature.

La limite inférieure est encore plus variable d'une étude à l'autre. Dans certains cas, la limite est placée à 1 μm (GESAMP, 2015; Van Cauwenberghe et al., 2015b), permettant ainsi de rester cohérent avec la signification du préfixe « micro ». Cependant, peu d'études ont été consacrées aux nanoplastiques. Ainsi, si cette limite a déjà été utilisée dans le cadre d'une étude impliquant des nanoplastiques (Cole &

Galloway, 2015), une autre utilise une taille de 100 nm (Gigault et al., 2016). 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 microplastiques étudiés est étroitement liée à la méthode d'extraction utilisée (GESAMP, 2015). Le meilleur exemple en est le prélèvement des microplastiques à la surface de l'eau. En effet, l'utilisation de système de piégeage de microplastiques tel que les chaluts Manta limitent la récupération des microplastiques au diamètre des mailles. Ainsi, des limites basses à 50 μm (Kang et al., 2015), 80 μm (Gewert et al., 2017), 300 μm (Fischer et al., 2016; Hidalgo-Ruz et al., 2012; Ivar do Sul et al., 2013), 330 μm (Kang et al., 2015), 333 μm (Eriksen et al., 2013; Gago et al., 2015; Setälä et al., 2016), 335 μm (Gewert et al., 2017), 500 μm (de Lucia et al., 2014) sont observées 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 « microplastique ».

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).

B. Nomenclatures

La création du terme de microplastique en 2004 (Thompson et al., 2004) a rapidement induit la création de termes tels que « macroplastique », « mésoplastique » ou encore « nanoplastique » entre la fin des années 2000 et le début 2010. Ainsi, se sont développées les premières nomenclatures intégrant différents termes nouveaux et permettant de nommer les plastiques en fonction de leur taille. Par exemple, Lee et collaborateurs (Lee et al., 2013) proposent de catégoriser les débris plastiques tels que :

- Macroplastiques ($d \geq 25 \text{ mm}$) ;
- Mésoplastiques ($25 > d > 5 \text{ mm}$) ;
- Grands microplastiques ($d < 5 \text{ mm}$).

En 2014, Mohamed Nor et Obbard (Mohamed Nor & Obbard, 2014) proposent une classification plus complète intégrant dix classes de plastiques (Fig. 14). En 2015, Van Cauwenberghe et collaborateurs (Van Cauwenberghe et al., 2015b) proposent une classification des plastiques s'appuyant sur le travail réalisé par les experts du MFSD Technical Subgroup on Marine Litter (MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter, 2013). La même année une autre proposition de classification,

relativement similaire, est suggérée par les experts du GESAMP (GESAMP, 2015). Ces classifications restent cependant relativement peu utilisées, car peu d'études prennent en compte des gammes de particules aussi larges.

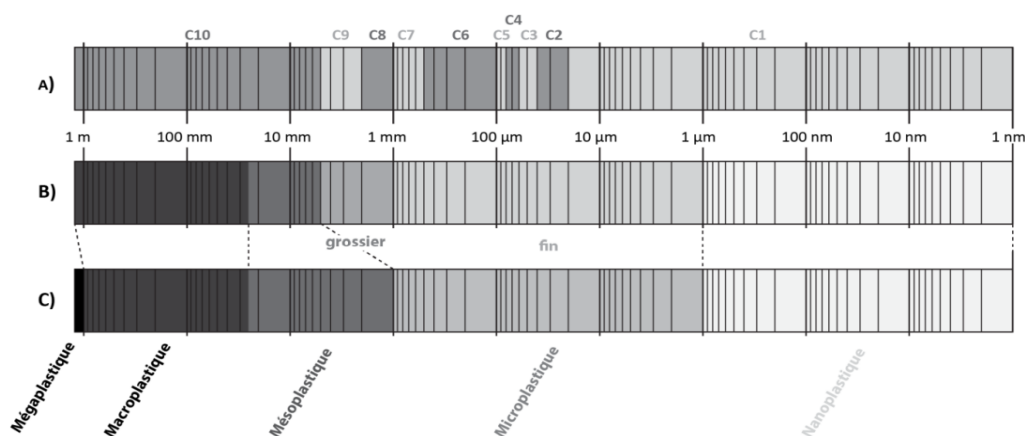


Figure 6 : Exemple de trois nomenclatures de fragments de plastique.

I-2.2. L'histoire de la recherche sur les microplastiques

Dès le début des années 1970, les études initiales ont mis la lumière sur les particules de plastique inférieures à cinq millimètres. C'est à partir de 1971, que des analyses sont effectuées dans des prélèvements d'eau des côtes anglaises, elles montrent l'existence de fibres synthétiques. En 1972, des granules issus de la préproduction industrielle sont retrouvés dans la mer des Sargasses (océan Atlantique nord), leur taille est comprise entre 0,25 et 0,5 mm. En 1974, des opérations de cartographie de l'état de la pollution plastique de surface ont été faites dans l'Atlantique nord-ouest et le Pacifique et qui font état de granules de quelques millimètres. En 1997, la situation est devenue tellement inédite que le navigateur Charles Moore invente l'expression « Great Pacific Garbage Patch » (« grande poubelle du Pacifique ») en franchissant le gyre Pacifique Nord. Elle sera par la suite reprise dans les médias sous le nom de « 7e continent de plastique ». Le terme « microplastique » ne sera employé qu'à partir de 2004, pour définir ces particules inférieures à quelques millimètres présentes dans l'environnement (KEDZIERSKI, 2017).

I-2.3. Définition des polymères

Les polymères organiques synthétiques sont appelés matières plastiques dès lors qu'ils sont additifs par certains adjuvants destinés à moduler leurs caractéristiques. Un polymère est généralement défini comme un « produit constitué de macromolécules caractérisées par un grand nombre de répétitions d'une ou de plusieurs espèces d'atomes ou de groupes d'atomes (motifs constitutionnels), reliées en quantité suffisante pour conduire à un ensemble de propriétés qui ne varient pratiquement pas avec l'addition ou l'élimination d'un seul ou d'un petit nombre de motifs constitutionnels » (ISO 472)

Les polymères constituent la base des matières plastiques. Ce sont des grandes molécules composées d'unités basiques appelées « les monomères » qui sont reliées

par des liaisons covalentes (P. WEISS, 2009-2010). Elles ressemblent à un collier de perles. La polymérisation, processus de liaison des monomères qui forment le polymère est utilisée afin d'obtenir des objets du quotidien solide, par exemple l'éthylène qui se transforme en polyéthylène, plastique courant (Christopher Blair Crawford, 2017). La plupart des polymères sont dérivées de la polymérisation de molécules extraites du pétrole ou du gaz naturel.

I-2.4. Sources ou origines de microplastiques

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

Mais aussi, l'origine des microplastiques peuvent être attribuées à deux sources principales :

- L'introduction directe par les eaux de ruissellement
- Certains microplastiques, notamment les micro et nanoparticules de plastiques manufacturés utilisés dans les produits de consommation, sont directement introduits dans les océans par le biais du ruissellement (Gregory, 1996 ; Fendall et Sewell, 2009), celles générées dans les l'industrie du démantèlement des navires (Reddy et Shaik, 2006) et des abrasifs dans les supports synthétiques de " sablage " (billes de plastique acrylique et de polyester). Ces substances peuvent facilement atteindre les océans par ruissellement.

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

Cependant, le mécanisme probable de production de la majorité des microplastiques est l'altération in situ des mésoplastiques et des plus gros fragments de déchets plastiques dans l'océan. Les déchets plastiques sont présents sur les plages (Gregory et Andrady, 2003). Andrady, 2003).

Les déchets plastiques sont présents sur les plages, dans les eaux de surface et en eaux profondes mais, comme nous l'avons déjà souligné, les taux d'altération dans ces trois sites seront très différents. Compte tenu de la chaleur spécifique relativement faible du sable (664 J/kg-C), les surfaces des plages de sable et les déchets plastiques qui s'y trouvent peuvent atteindre des températures de 40°C en été (Shaw et Day, 1994).

I-2.5. Classification

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

A. Les microplastiques primaires

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

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

Les microparticules produites dans la fabrication d'exfoliants sont le plus souvent de taille $< 100 \mu\text{m}$, ce qui facilite leur passage à travers les traitements des stations d'épuration, elles se retrouvent ainsi dans les eaux environnantes. On peut signaler que l'arrivée des produits synthétiques a multiplié par 10 le nombre de microplastiques arrivant au niveau des STEPs comparé aux produits cosmétiques même si des retombées atmosphériques y contribuent également (Frère et al., 2017).

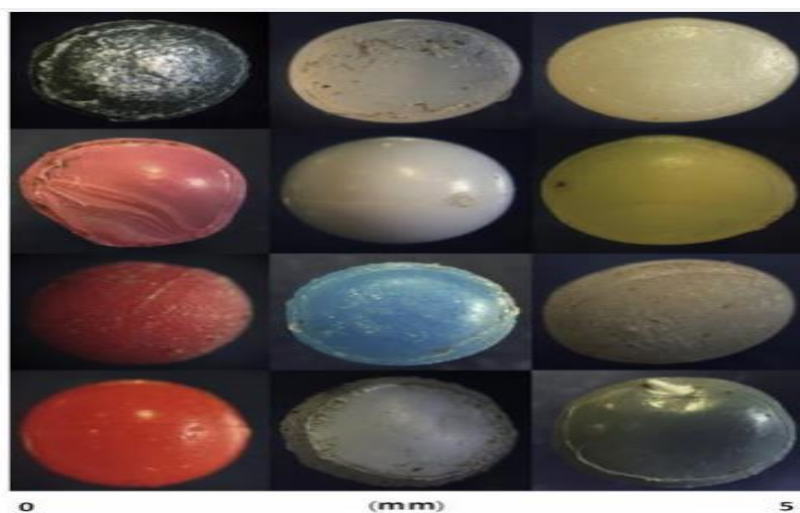


Figure 7 : Les microplastiques primaires récupéré dans un milieu aquatique (source : Christopher Blair Crawford, 2017)

B. Les microplastiques secondaires

Les microplastiques secondaires sont le résultat d'une décomposition de plastiques plus gros. Cette altération peut se faire pendant l'utilisation de ce plastique, comme par exemple les textiles, les peintures ou les pneus.

Le largage de ses produits en plastique dans l'environnement peut être une source directe des microplastiques secondaires (GESAMP, 2015). Cependant, la fragmentation peut se produire plus en amont comme dans le cas des fibres synthétiques relâchées pendant le lavage des vêtements (Cole et al., 2011).

Le tableau ci-dessous résume la plupart des sources des microplastiques primaires et secondaires, il met en avant la multiplicité des sources ainsi que leur forte tendance à imprégner l'environnement (WILSON & WILSON'S, 2017).

Tableau 1 : Principales sources de microplastiques primaires et secondaires (WILSON & WILSON'S, 2017)

Primary Microplastics	Personal care products, such as exfoliants
	Specific medical products, including dental tooth polish
	Industrial abrasives
	Drilling fluids
	Raw materials for plastic production; process subproducts
	Improper handling
Secondary Microplastics	General littering, dumping of plastic waste
	Abrasion in landfill sites and recycling facilities
	Carelessly handled plastic fishing gear
	Ship-generated litter or disposed off after recreational activities
	Plastic material present in organic waste
	Paints containing synthetic polymers/abrasion during paint removal
	Polymers used in composting additives
	Fibres released from hygiene products
	Fibres released from synthetic textiles

As reviewed by K. Duis, A. Coors, Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects, Environ. Sci. Eur. 28 (1) (2016) 1–25.

Lorsque les débris plastiques sont exposés sur une longue période au soleil, ils sont sujets au phénomène de photo-dégradation. Une solution est apparue, le développement de plastiques biodégradables pour se substituer aux plastiques conventionnels. En effet, la partie amidon sera décomposée, laissant les polymères synthétiques s'accumuler dans l'environnement (Cole et al., 2011).

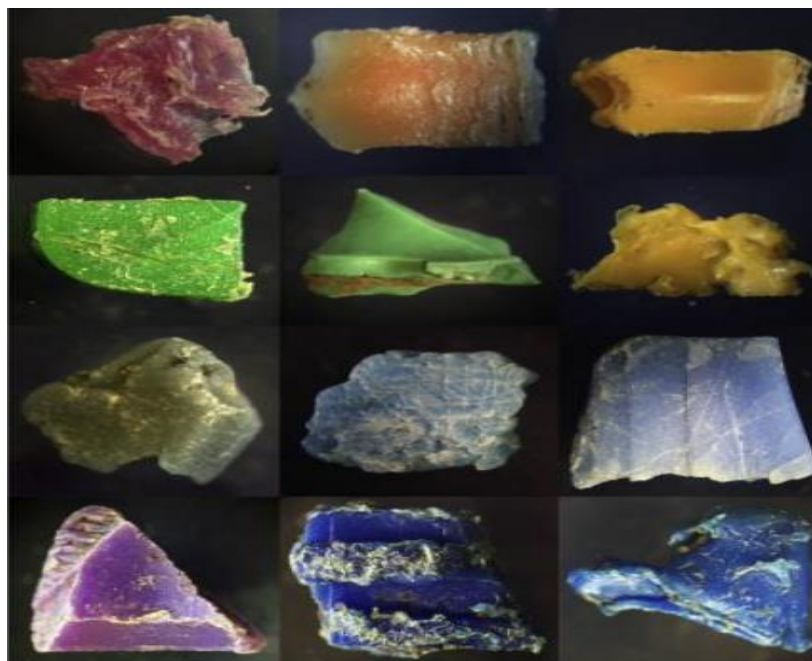


Figure 8 : Les microplastiques secondaire récupérés dans un environnement aquatique (source : Christopher Blair Crawford, 2017)

En résumé, les pasties possédant une taille microscopique dès leur arrivée dans le milieu naturel sont appelés **microplastiques primaires** (Cole et al., 2011). Ceux-ci sont par exemple utilisés pour leurs propriétés abrasives soit dans certains produits cosmétiques (Fendall & Sewell, 2009), mais aussi dans certains équipements de nettoyage par jet d'air (Gregory, 1996). Ils peuvent également être générés sous forme de microfibrilles lors du lavage de vêtements synthétiques (Browne et al., 2011; Dubaish & Liebezeit, 2013). Au total, selon une estimation réalisée en 2011, la production journalière par habitant de microplastiques primaires est de 2,4 mg aux États-Unis (Gouin et al., 2011). Ainsi, en dépit des systèmes de traitement, une eau sortante de station d'épuration est susceptible de contenir plus de 100 microplastiques par litre (Leslie, 2014).

Cependant, la première source de microplastiques dans l'environnement semble être liée à la formation de plastiques directement dans le milieu naturel à partir de plastique plus grands (Barnes et al., 2009). Ces particules sont appelées « **plastiques secondaires** ». Ils sont issus de la fragmentation d'un plastique d'une taille supérieure sous l'action de processus physiques, chimiques et/ou biologiques (Ryan et al., 2009).

I-2.6. Le devenir des microplastiques dans l'environnement

a) La répartition des MP dans le temps et l'espace :

Il est bien difficile de déterminer le devenir des microplastiques dans l'environnement, essentiellement à cause de leur petite taille, les différentes voies de pénétration dans l'environnement, et enfin, en raison du temps qu'il faut pour vérifier leur dégradation. Enfin, la définition et la caractérisation des microplastiques ne sont pas toujours les mêmes. Sachant que les stations d'épuration traitent bien les microplastiques, il a été démontré que l'efficacité de l'élimination dépend essentiellement des procédés appliqués, ainsi que du type de la matière traitée et de sa charge. Les études ont démontré que la présence des microplastiques est prédominante dans les régions à forte influence anthropique comme dans les zones à forte activité industrielle et commerciale (WILSON & WILSON'S, 2017).

b) Décomposition et durabilité des plastiques dans les eaux douces :

Peu d'environnements expérimentaux réunissent toutes les conditions environnementales nécessaires, réunissant l'interaction de plusieurs processus de dégradation comme dans la réalité. Ces études-là se focalisent sur les pertes de poids, les changements de résistance à la traction, ou bien sur les raisons d'utiliser tel ou tel polymère par rapport à la rupture de la structure moléculaire et l'identification de certaines souches microbiennes déterminées (Wagner et Lambert, 2018).

Le taux et l'accroissement de la biodégradation des polymères peuvent être affectés par le type d'organismes présents dans l'eau ainsi que l'abondance de biomasse (Mohan, 2011), ainsi que leur sensibilité et leur adaptabilité aux paramètres environnementaux (Lambert et al., 2013). Le schéma suivant

résume en général, les facteurs qui peuvent influencer la biodégradation des polymères.

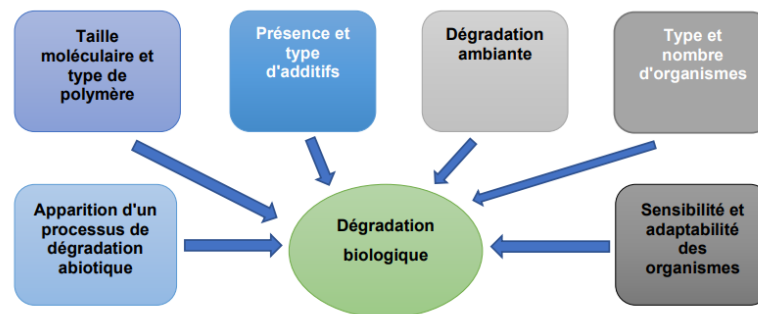


Figure 9 : Schéma des facteurs centraux responsables de la biodégradation des polymères composants la matière plastique (source : Da Costa, J et al., 2016)

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

I-2.7. Les risques induits par les microplastiques

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

I-3. Impact des débris plastiques sur les écosystèmes marins et côtiers

I-3-1. Impacts indirects sur le milieu naturel

Lorsque la quantité de débris sur la plage est importante, les autorités Des villes mettent en œuvre un nettoyage mécanisé au lieu d'un nettoyage manuel, ce qui perturbe Ainsi, en éliminant le varech qui constitue l'habitat marin, l'écosystème naturel Un grand nombre de lieux de reproduction et de nourriture pour les invertébrés et les oiseaux, tout en provoquant Il y a aussi l'érosion de la plage (Andre, 2000).

I-3-2. Impacts directs sur la faune

a. Ingestion

L'ingestion de débris de plastique serait la cause de la mort de nombreuses espèces Marines. Au moins 44% des espèces d'oiseaux marins sont connues pour avaler Fragments de plastique (Rios et al., 2007). Par exemple, l'alimentation des albatros à

pieds noirs Leurs poussins transportent des granulés de plastique, ce qui perturbe leur nourriture Habituellement (Mallory, 2008). Une autre étude menée sur du poisson fumé en mer du Nord Montre que 95% de ces oiseaux ont accumulé en moyenne 35 morceaux de plastique Leurs estomacs (Franeker, 2011).

b. Enchevêtrement

L'étranglement notamment par les cordes synthétiques, ligne et filets dérivants en mers, seraient à l'origine du décès de nombreuses espèces marines (oiseaux, mammifères marin, tortues ...ect). On recense ainsi plus 267 espèces à travers le monde touchées par le phénomène des déchets plastiques, incluant 86% des espèces de tortues marines, 44% des espèces d'oiseaux et 43% des espèces de mammifères marins (Derraik, 2002).

I-3-3. Impact socio-économique

a. Les nuisances vis-à-vis de la population humaine

Les déchets échoués sur le littoral constituent la plupart des villes côtières, La principale nuisance esthétique qui détruit l'image du site. L'utilisateur est Particulièrement sensible à la qualité de leurs lieux de vacances ou de loisirs. Et, Certains des déchets trouvés sur la plage peuvent avoir causé de nombreux L'utilisateur est blessé (André, 2000). Les granulés de plastique peuvent également Nocif pour la santé humaine. En fait, les particules de plastique ont une grande Capacité d'absorption des produits chimiques hydrophobes, y compris le DDT et les PCB. Leur L'ingestion d'organismes marins augmente le risque d'entrer dans la chaîne alimentaire et éventuellement d'atteindre les humains ; être au sommet de la chaîne alimentaire ; Le long de la chaîne végétative (Adams et al., 2007).

b. Les nuisances vis-à-vis des activités humaines

L'un des principaux impacts est l'impact sur les activités touristiques. Vue des déchets Être sur la côte n'est pas propice à l'image du site et constitue donc une nuisance esthétique Interférence avec le trafic touristique, les déchets flottants peuvent causer de l'inconfort Important pour la navigation (André, 2000).

c. Les nuisances économiques

Le nettoyage des plages et l'élimination des déchets ont entraîné des coûts énormes pour la région commune. Lorsque le varech est gâché par ces déchets, ils sont juste Dangereux et malsains ont tout désir de développement touristique, alors La municipalité s'est vue obligée de nettoyer (Poitou, 2003). La pêche professionnelle est fortement impactée par les déchets plastiques marins, La production mondiale de poisson connaît un déclin alarmant. Un tiers du transport net Il s'agit de débris marins, principalement de plastique (ANONYME 2, 2012).

I-3-4. Impact des additifs

Les additifs sont des composants essentiels de la fabrication de plastiques. Ils ne sont cependant que partiellement prisonniers de la matrice polymérique et ont parfois la capacité de migrer de celle-ci vers le milieu environnant. Or, les plastiques sont constitués d'une quantité parfois importante d'additifs dont certains sont connus pour être nocifs pour l'environnement et la santé. C'est par exemple le cas de certaines molécules appartenant à la famille des phtalates.

Les additifs ayant des effets de perturbateurs endocriniens peuvent induire des effets négatifs même à des teneurs très faibles de l'ordre du ng/L au µg/L (Cole et al., 2011). Par ailleurs, selon une étude, le coût des perturbateurs endocriniens pour la santé humaine est de l'ordre de 150 milliards d'euros par an pour les états de l'Union européenne (Trasande et al., 2015).

En plus de leur effet de perturbateur endocrinien, certains phtalates sont connus pour leur impact sur l'hérédité épigénétique et sur l'apparition de pathologies à l'âge adulte (Benjamin et al., 2017).

I-4. Les pollutions par les microplastiques sont une menace pour l'environnement

I-4-1. Conséquence de l'ingestion des microplastiques

L'ingestion de nanoplastiques ou de microplastiques par des organismes planctoniques est susceptible d'affecter un large ensemble de fonctions telles que la reproduction, la croissance (Besseling et al., 2014) ou encore le comportement de nutrition (Cole et al., 2015). L'ingestion de microplastiques a un coût énergétique pour les organismes (Fig. 10) (Watts et al., 2015). Ce coût peut se traduire par une diminution de la croissance, de la reproduction et de la santé de l'organisme (Sussarellu et al., 2016). L'exposition de l'huître japonaise à des concentrations élevées de microplastiques a montré l'impact négatif de ces particules sur le comportement de nutrition et la reproduction des adultes ainsi que sur la croissance des juvéniles (Sussarellu et al., 2016). Une augmentation des taux de mortalité et une diminution des recrutements ont ainsi été mises en évidence chez le copépode *Calanus helgolandicus* soumis à de fortes concentrations de microplastiques (Cole et al., 2015). Chez les poissons, l'ingestion de plastiques pourrait, à grande échelle de temps et d'espace, entraîner une diminution des populations (Boerger et al., 2010).

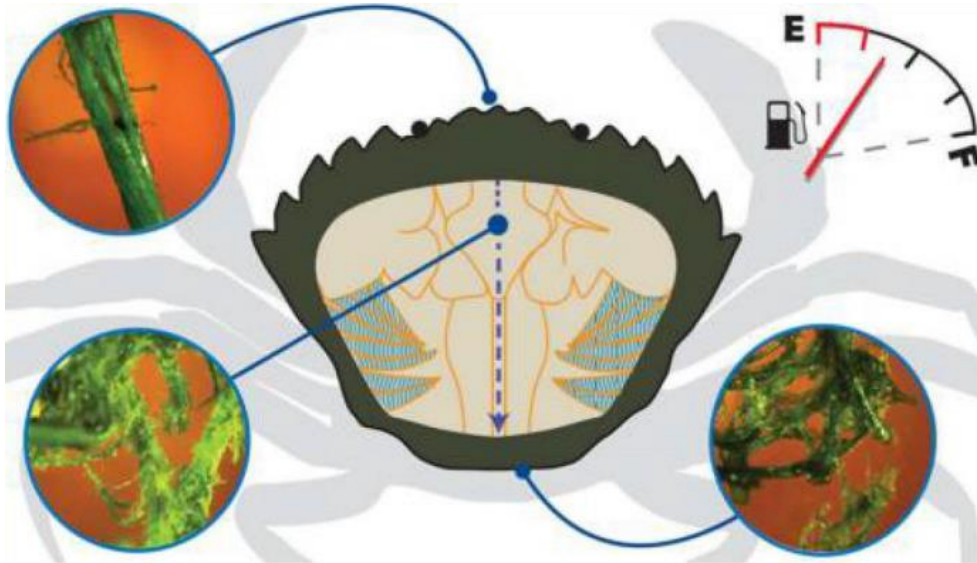


Figure 10 : L'ingestion par le crabe *Carcinus maenas* de microfibrilles en polypropylène a pour conséquence une baisse du budget énergétique pour le crabe (Watts et al., 2015).

I-4-2. Le cas des microplastiques des produits cosmétiques

De nombreux microplastiques utilisés dans les produits d'hygiène sont susceptibles de passer les barrières des systèmes d'assainissement et de se retrouver dans le milieu naturel. Ces particules ont la taille du plancton et il est probable que ces particules puissent être ingérées par les organismes marins. Il est intéressant de constater que dans le cas de ces plastiques des tests sur leur toxicité ont été réalisés. Ces tests sont cependant effectués dans des conditions « normales » d'utilisation, pour l'essentiel donc sur le derme (Boerger et al., 2010). Par conséquent, un ingrédient est considéré comme sain à partir du moment où il ne montre pas d'impact négatif par application cutanée, même si en cas d'ingestion il est impliqué dans la formation de tumeurs (Leslie, 2014).

I-5. Contamination des microplastiques par d'autres polluants

I-5.1. Micropolluants dans l'eau et microplastiques

Les microplastiques possèdent un ratio surface sur volume élevé. Cette propriété facilite l'adsorption de polluants présents dans l'eau tels que les métaux (Boucher et al., 2016; Brennecke et al., 2016; Holmes et al., 2012, 2014), les perturbateurs endocriniens (Fossi et al., 2014; Fossi et al., 2012) ou encore les polluants organiques persistants (Bakir et al., 2012; Lee et al., 2013; Rios et al., 2007).

a. Métaux lourds

Les métaux lourds, tels que ceux utilisés comme antifouling (Cu et Zn) dans les peintures de bateau (Fig. 11), présentent une affinité élevée pour les microplastiques

et peuvent être rapidement adsorbés (Brennecke et al., 2016). L'adsorption de métaux lourds peut être très rapide puisqu'en seulement huit semaines, de l'aluminium, du fer, du manganèse, du cuivre, du plomb, du zinc et de l'argent ont été adsorbés par des granulés plastiques industriels placés dans l'eau d'un port (Ashton et al., 2010). Une autre étude met en évidence que la cinétique d'adsorption de métaux lourds pouvait être très rapide puisqu'une centaine d'heures suffit pour que la réaction atteigne l'équilibre (Holmes et al., 2012). Au contraire, d'autres tests menés sur un an dans le milieu marin sur différents plastiques ont montré une augmentation progressive en métaux lourds sur cette période (Rochman et al., 2014a).

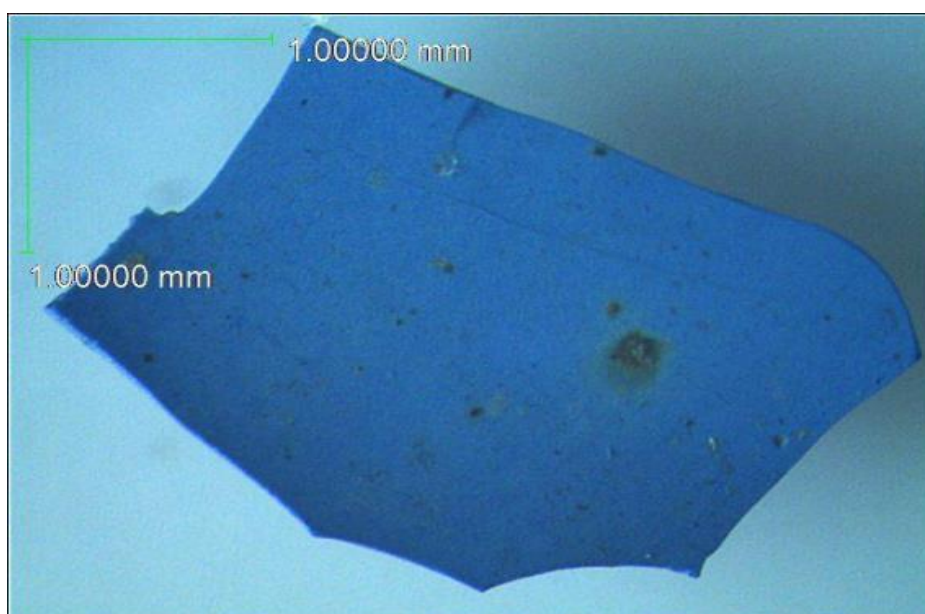


Figure 11 : Exemple de fragment de peinture de bateau.

b. Molécules organiques

Les microplastiques peuvent également être contaminés par de nombreuses molécules organiques hydrophobes (Rios et al., 2007). Parmi ces molécules organiques, les polluants organiques persistants (POP) sont la classe la plus couramment rencontrée. Les plastiques peuvent en effet être, tout comme pour les métaux lourds, être des pièges à POP (Rios et al., 2007). Des molécules comme le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) peuvent ainsi être observées dans certains microplastiques prélevés en mer (Frias et al., 2010; Rios et al., 2007). Le DDT est l'un des insecticides les plus utilisés dans le monde. Il est connu pour s'accumuler de manière importante dans les poissons, et se bioaccumuler le long de la chaîne alimentaire.

I-5.2. Les microplastiques vecteurs de micropolluants

Les microplastiques peuvent être considérés comme des vecteurs de transfert d'autres pollutions (Nakashima et al., 2016), les plastiques permettant ainsi la

contamination d'écosystèmes encore vierges de toute pollution (Bouwman et al., 2016; Cole et al., 2011). C'est par exemple le cas de l'Arctique, où les plastiques semblent être un facteur supplémentaire de transport d'HAP (Zarfl & Matthies, 2010).

Lors de leur ingestion, les microplastiques pourraient jouer le rôle d'un « cheval de Troie » permettant à certaines toxines d'entrer dans les organismes vivants. Ainsi, sans être la voie principale de contamination, l'ingestion de microplastiques pourrait être une voie secondaire de contamination des chaînes alimentaires par des métaux lourds tels le plomb (Boucher et al., 2016; Fife et al., 2015) ou par des POPs (Colabuono et al., 2010). Ainsi, le risque environnemental que représentent les microplastiques et les micropolluants associés restent largement inconnu (Koelmans et al., 2017).



CHAPITRE II

Zone d'étude

CHAPITRE II- Zone d'étude

II-1. Situation géographique de la zone d'étude

La baie de Zemmouri est située au Nord-Est d'Alger à quarantaine de kilomètre, limitée au Nord par la Méditerranée occidentale, au Sud par la plaine de la Mitidja, à l'Est par le Cap Djinet (36°53' Nord et 3°45' Est), et à l'Ouest par le Cap Matifou (36°49' Nord et 3°15' Est). Elle s'étale sur un linéaire côtier d'environ 54 km, très largement ouverte vers le nord, il est à noter l'existence d'un promontoire rocheux d'environ 100 m (Rocher Noir).

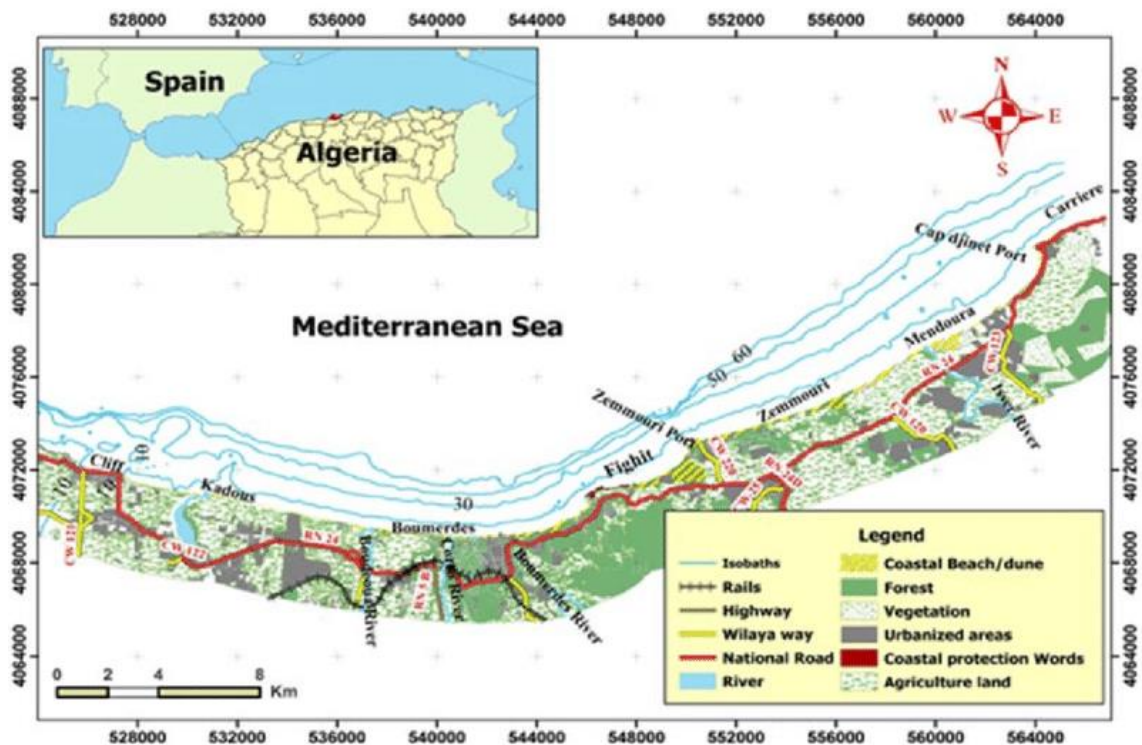


Figure 12 : Situation géographique de la Baie de Zemmouri (Cherif AOUDJ et al.2020)

II-2. Sédimentologie de la baie

Dans cette baie, la géomorphologie littorale montre une plateforme dont les sédiments sont variés. (Maouche, 1987) a défini trois faciès sédimentaires, dont la répartition de la côte vers le large est la suivante :

- Faciès à sables et sable calcaréo-siliceux de la frange littorale.
- Faciès à vases silico-calcaires à silico-argileuses à illites et à quartz,
- Faciès à boues du talus supérieur particulièrement riches en foraminifères.
- Entre ces principaux faciès, se trouvent des sédiments de transition : des vases calcaréoargileuses ou silico-argileuses.

Les argiles sont abondantes dans la baie de Zemmouri, puisque l'oued Isser est le principal vecteur d'apport véhiculant les sédiments détritiques du domaine continental vers le domaine marin.

L'oued Isser présente un faible pourcentage sableux (9,89% en moyenne) d'où un faciès argilo-silteux. Les argiles sont constituées essentiellement de La kaolinite, en plus fortes teneurs (48,1% en moyenne), de l'illite (22,15%), d'interstratifiés et autres sédiments détritiques (18,35%) et de Chlorite (11,4%). La fraction argileuse est constituée de minéraux argileux tels que, kaolinite, illite chlorite, organisées suivant un ordre de grandeur décroissant. La répartition de ces minéraux sur le plateau continental Est-Algérois (baie de Zemmouri) est très significative, étant donné la présence de deux facteurs importants : les apports de l'oued Isser drainant des formations néogènes issues de son bassin versant et la proximité du massif volcanique du Cap-Djinet. (BOUHMADOUCHE, M. 2015)

II-3. Caractéristiques morphologiques

La baie est caractérisée par un plateau continental réduit de 1.5km (Leclaire, 1972), et une morphologie côtière plus ou moins diversifiée, on constate :

- succession des plages sableuses tout au long de la baie avec très peu de falaises.
- succession de grand amas dunaire sous-marins au niveau de Cap Blanc et Cap Djinet qui se forment sous l'effet de la houle.
- un platier rocheux contournant le promontoire de cap matifou pour apparaître sous la forme de lambeaux formant ainsi le platier de l'île aguéli et les îles Sandja. Le reste du fond est constitué de sédiments meubles avec parfois une végétation clairsemée.
- le talus continental est intensément buriné par un réseau de canyons (vallée sous-marine de zemmouri) qui perturbe la régularité du plateau ainsi que l'évolution du trait de côte. Les canyons de cap blanc et zemmouri sont parfaitement nets en entaillant le rebord de ce talus.

II-4. Hydrodynamisme

II-4-1. La houle

La baie de Zemmouri reçoit les houles de direction nord-ouest qui sont présentes durant toute l'année avec une préférence hivernale, et les houles nord-est qui sont présentes durant toute l'année mais qui sont plus fréquentes en période estivale.

II-4-2. Les courants

❖ Les courants de surface

Ces courants n'agissent pas séparément, ils se combinent entre eux augmentant ou diminuant, selon le cas leur vitesse, ainsi le courant permanent peut être perturbé en surface de dérive littorale par le vent de terre, les eaux littorales sont entraînées vers le large. Selon l'institut danois d'hydraulique les courants de surface près de

zemmouri ont une direction vers l'est la plus grande vitesse est de 0.35m/s. elle fut dépassée de deux fois mais en général, les vitesses sont inférieures à 0.10m/s. Par contre, un courant près de la cote a une direction sud-ouest à l'ouest.

❖ **Les courants de dérive littorale**

Ces courants ne sont notables que dans la zone de déferlement, ils interviennent donc dans le transport latéral des sédiments (**Eckman, 1932 ; sheppard et Inman, 1950 in Buhmadouche, 2012**)

Le courant de dérive littorale est la résultante au rivage de tous les mouvements d'eau dirigé vers la terre et qui sont oblique, ils sont généralement parallèles à la cote, convergents dans la baies et divergents au niveau des caps

La dérive littorale Nord-Est est la plus active, elle est à l'origine d'énormes transports littoraux acheminés depuis l'oued Sebaou vers l'Ouest pour former les plages de Zemmouri et le Cap Blanc.

❖ **Les courants de retour**

Ils sont produits par des houles frontales, puissantes et fréquentes surtout en période hivernale de direction Nord et du Nord-est dans la zone de Boumerdès (**Bouhmadouche, 2012**).

❖ **Les courants permanents**

Du courant atlantique dirigé de l'ouest vers l'est se détache une branche secondaire qui s'incurve vers le fond de la baie et semble donner naissance à un contre-courant qui longe la cote, il remonte ensuite vers le Nord pour rejoindre le atlantique.

II-5. Réseaux hydrologiques

La baie de Zemmouri a un réseau hydrographique très dense et diversifié qui entraîne avec des apports plus ou moins importants tout au long de sa cote. Les principaux oueds qui composent ce réseau sont :

- **Oued Isser** : est le principal vecteur hydrographique du littoral Est-algérois a grand bassin versant de 3615 km², il prend naissance dans les monts de Titteri dans la région de Berrouaghia transportant sur une grande distance des matériaux variables (vases, minéraux solides et légers, matières organique...)
- **Oued Sebaou** : il vient après oued Isser en importance, il provient de la chaîne orientale de Djurdjura, il coule d'Est en ouest entre le massif de grand Kabylie et la chaîne côtière de Kabylie, il traverse les communes de Baghliya, Benchoud et Sidi Daoud.
- **Oued boudouaou** : il se situe dans une plaine alluviale.
- **Oued El Hamiz** : il traverse les communes de Khemis El Khechna et Hammadi
- **Oued Boumerdès** : il est localisé à l'Est de ville urbaine de boumerdès , s'écoule vers la mer en drainant avec oued bou-salah et chourfa

- **Oued corso** : il est situé entre oued boudouaou et Boumerdès, il est peu important par rapport aux autres oueds

Les conditions climatiques et pédologiques des bassins versants de ces oueds facilitent l'érosion et le ruissellement. En été, les lits des oueds sont réduits à minces filets d'eau, alors qu'en hiver leurs crues peuvent être violentes (**Bouhmadouche, 2012**).

II-6. Climatologie

La baie de Zemmouri subit le climat méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés, doux et humides

II-6-1. La précipitation

La précipitation est un paramètre important de climat, d'après le diagramme ombrothermique la précipitation moyenne annuelle est de 672 mm, Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 2mm.

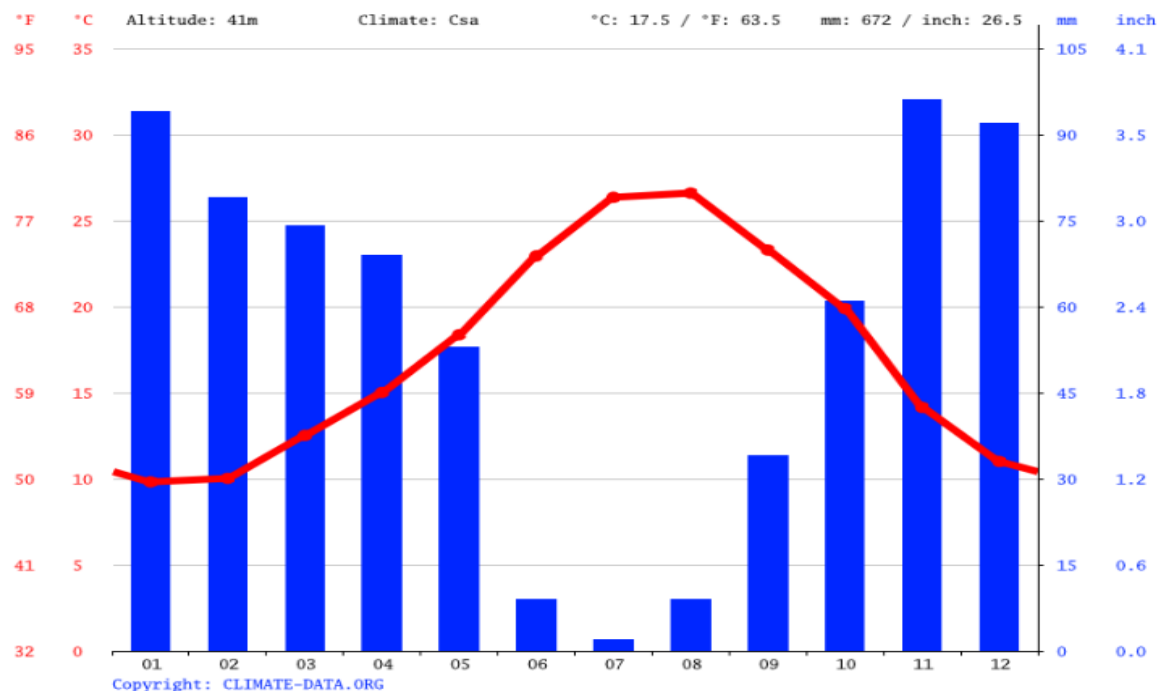


Figure 13 : Diagramme ombrothermique de Boumerdès (CLIMATE-DATA.ORG)

Il existe donc trois périodes de pluviométrie, on note :

- ❖ Une période de sécheresse qui s'étend du mois de juin au mois d'Aout ou on remarque que les précipitations ne dépassent pas les 10mm.
- ❖ Une période moyenne qui va du mois de mars au mois d'mai avec une moyenne de 65.3mm.
- ❖ Une période pluvieuse allant du mois novembre au mois de janvier avec une moyenne de précipitation de 96mm.

II-6-2. La température

C'est le deuxième facteur important de climat après les précipitations, elle conditionne l'hydro climatologie d'une région et l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique (**Chemlal, N. 1983**).

D'une manière générale les températures dans la région côtière connaissent un adoucissement dû à la proximité de la mer. C'est le cas de notre zone d'étude. Les moyennes mensuelles des températures varient entre 12.5 °c et 28.5 °c. La température moyenne en été (saison chaude) varie de 32 à 38°C, et en hiver (saison relativement froide) elle est de 12°C (**Bouhamadouche, M. 1993**)

Le relief isolé de la mer accentue les différences de températures, il fait froid en hiver sur les reliefs même à proximité de la côte. En été, ces reliefs sont surchauffés et ne bénéficient pas d'air marin.

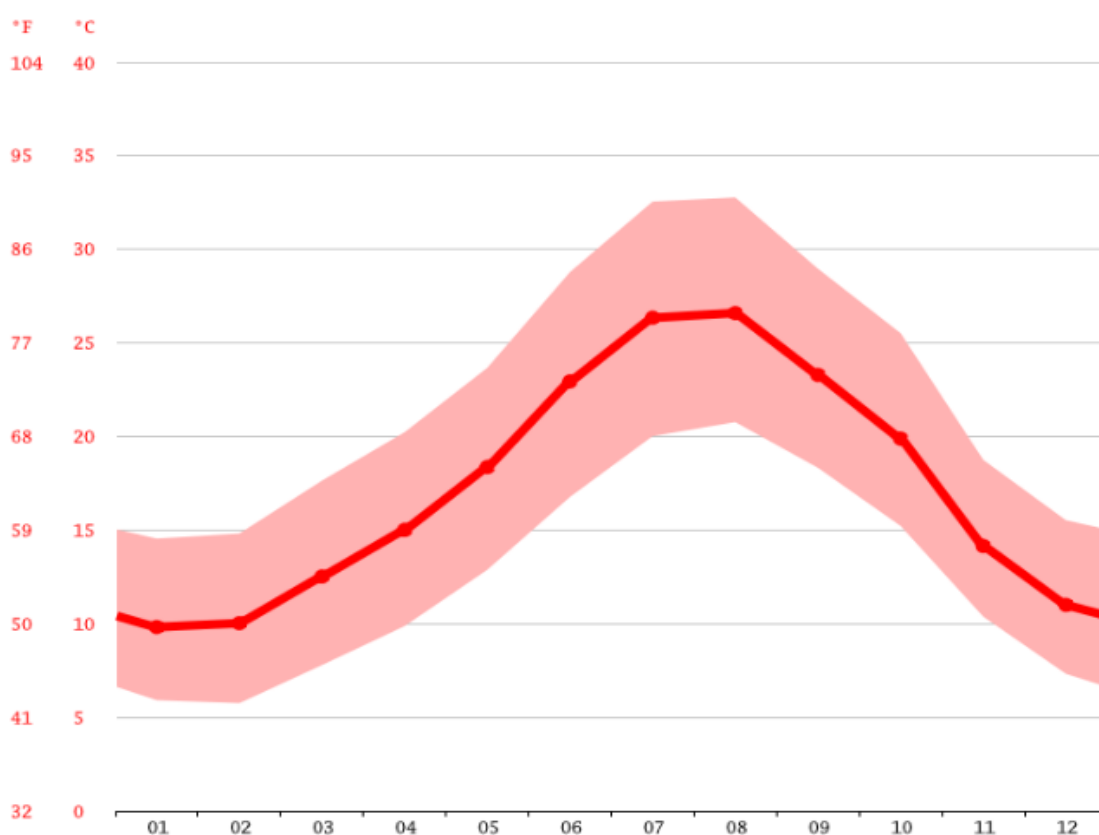


Figure 14 : Courbe de température de Boumerdès (CLIMATE-DATA.ORG)

II-6-3. Le vent

C'est un facteur primordial de climat qui intervient dans la dispersion des matières en suspension et le transport des particules ainsi que la provocation des houles et ses déferlements.

D'après l'étude statistique de l'US naval weather service (**Bouhamadouche, M. 1993**), les vents dominants sont ceux de l'ouest et du nord-ouest et soufflent en prédominance de novembre à Avril.

Les vents Est et Nord-Est soufflent en été, les vents du Nord sont les plus fréquents et soufflent durant toute l'année, le sirocco, vent du sud soufflent avec moyenne de 20 jours/an (**D.P.A.T, 2004**).

II-7. Les sources de pollution :

La baie de Zemmouri est une zone à vocation touristique et agricole ; sa frange côtière est soumise principalement aux rejets domestiques ; provenaient principalement d'oued ISSER qui est un vecteur de pollution les agglomérations et des villes côtières ainsi que des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas. Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissellement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels, Cependant, avec le développement démographique et l'extension de l'urbanisation, de l'agriculture et surtout de l'industrie (station de dessalement, central électrique), ces dernières décennies, la charge polluante est en voie d'augmentation.



CHAPITRE III
Matériel et méthodes

CHAPITRE III- Matériel et méthodes

III-1. Travaux effectués en mer

III-1.1. Choix et localisation des stations

- ❖ Afin de répondre à notre problématique et évaluer la pollution par les microplastiques dans notre zone choisie et étudiée pour la première fois, cette dernière a une forte activité anthropique et différentes autres activités touristiques et industrielles.
- ❖ La première sortie a été effectuée en 08/06/2021. Dont les conditions météorologiques étaient défavorables, ainsi qu'un manque d'embarcation a empêché les prélèvements au niveau du large qui est le but de cette étude.
- ❖ Pour atteindre l'objectif de cette recherche, une deuxième sortie était primordiale, qui avait lieu le 06-10-2021 (dont la mer a été très agitée) et le 07-10-2021 (dont la mer a été calme), au bord d'une embarcation dont le point de départ était le port de Djinat vers Zemmouri. Une fois les échantillons nécessaires aux déroulements des travaux obtenus (eau via le filet manta, et sédiments via la benne VanVeen), ces derniers ont été traités et classés au laboratoire, déposés dans des boîtes de pétrie, sur lesquelles, on utilisera pour chaque analyse, la quantité de sédiments nécessaires. Pour cette étude qui a pour objectifs, essentiellement, dans un but d'une analyse de microplastiques dans l'eau (par filtration) et le sédiment (par analyse granulométrique) du large d'une la baie de Zemmouri, nous avons procédé à de différentes analyses. Les travaux se sont déroulés au sein du laboratoire de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral ENSSMAL.

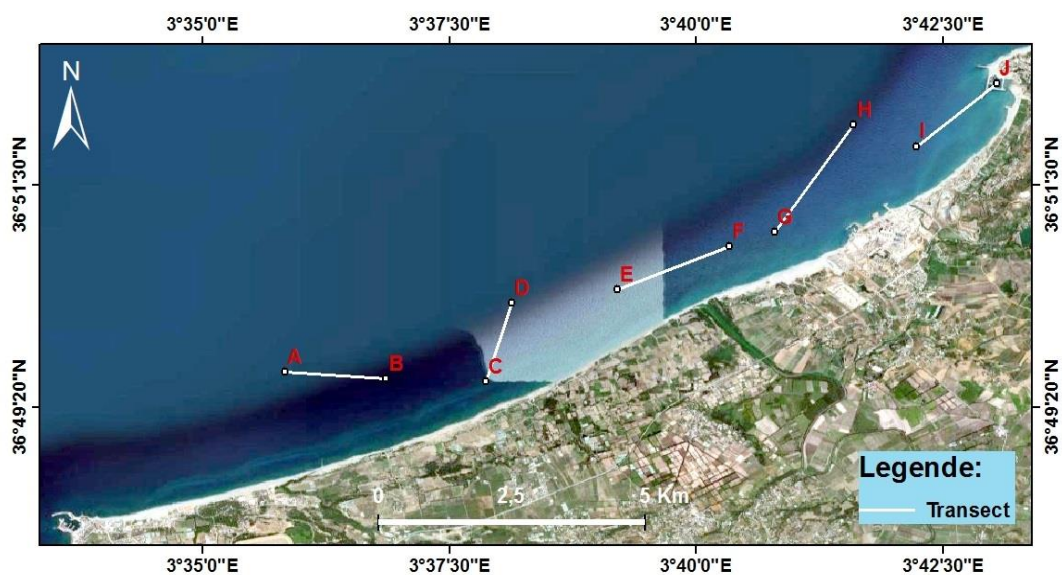


Figure 15 : Prélèvement des eaux de surface avec le Filet Manta au large de la plage de Zemmouri

III-1.2. Prélèvement des échantillons

III-1.2.1. Matériels de prélèvement

a. Eaux de surface

- Filet Manta avec les cordes d'attache.
- GPS pour noter les coordonnées des points de prélèvements (**figure**)
- Flacons étiquetés
- Pissette pour le rinçage du collecteur
- Formol 10%
- Glacière
- Fiche de recueil des données
- Pour chaque prélèvement, la position GPS est soigneusement lors de la mise à l'eau et lors de la récupération du filet.
- Sonde pour détecter les paramètres physico-chimiques. (Figure 15)

b. Sédiment

- Benne preneuse de type Van Veen
- Spatules en metal
- Bocaux en verre étiquetés
- GPS



Figure 16 : Sonde CTD lors du prélèvement



Figure 17 : GPS 72H

III-2. La matrice [Eau] : Via le filet manta

Les échantillons d'eau libre sont généralement prélevés avec des filets à plancton de différentes tailles de maille (M.G.J. Löder and G. Gerdts). La surface de la mer est échantillonnée pour les microplastiques flottants à l'aide de chaluts manta (Eriksen et al. 2013a, b ; Doyle et al. 2011).

La vitesse de chalutage dépend des conditions météorologiques et des courants, mais se situe généralement entre 1 et 5 nœuds. La durée du chalutage dépend des concentrations de seston et se situe entre quelques minutes à plusieurs heures (Boerger et al. 2010).

Le filet Manta (Figure17) est mieux utilisé dans les eaux calmes pour éviter les sauts sur les vagues et les dommages à l'appareil. Nous avons utilisé ce filet Manta dans nos prélèvements des eaux.

Le filet Manta est constitué essentiellement de plusieurs parties (Figure18). -tissu de nylon ou polyester à un maillage de 330µm une ouverture de 60 cm de large par 15cm (Figure 18) :

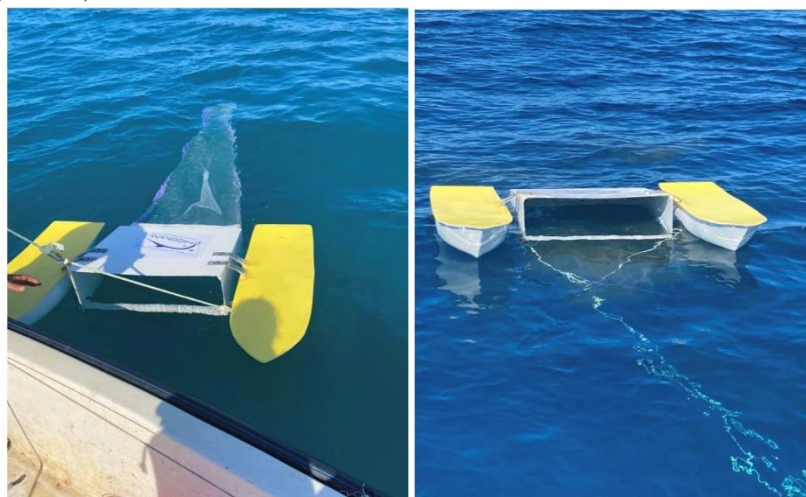


Figure 18 : Filet manta en cours de prélèvement

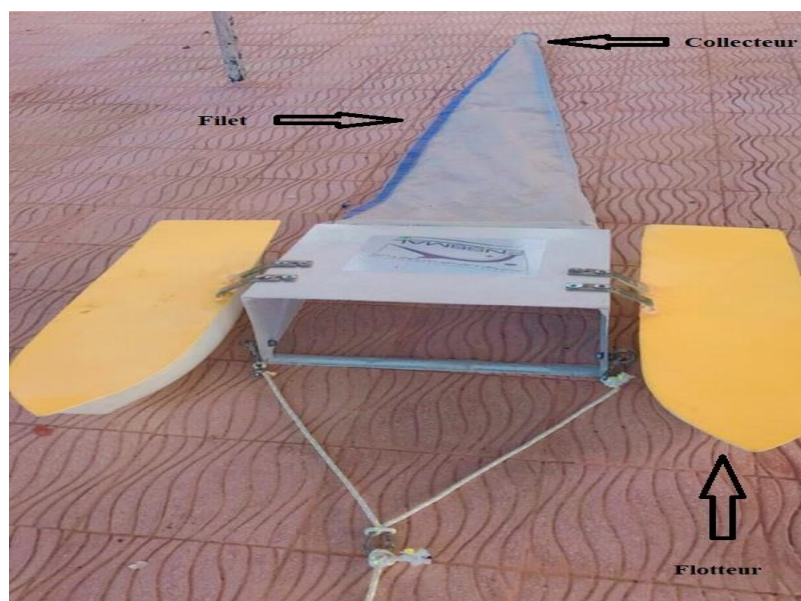


Figure 19 : Vue générale des éléments principaux du filet Manta

III-2.1. Échantillonnage des microplastiques à la surface de la mer

- a. Déployer le filet manta depuis le côté du navire à l'aide d'un mât de spinnaker ou d'un "A-frame" en utilisant des lignes et des mousquetons.
- b. Déployer le filet manta en dehors de la zone de sillage (à une distance d'environ 3 à 4 m du bateau) afin d'éviter de collecter de l'eau affectée par des turbulences à l'intérieur de la zone de sillage.
- c. Noter les coordonnées GPS initiales et l'heure initiale sur la fiche de données.
- d. Commencer à se déplacer en ligne droite à une vitesse d'environ 2 à 3 nœuds pendant 30 minutes et commencer la mesure du temps.
- e. Après 30 minutes, arrêter le bateau et notez les coordonnées GPS finales, la longueur de la route (la manière la plus correcte est de calculer la longueur à partir des coordonnées GPS) et la vitesse moyenne du bateau sur la feuille de données fournie et sortez le filet manta de l'eau.
- f. Rincer soigneusement le filet manta de l'extérieur à l'eau de mer à l'aide d'une pompe submersible ou de l'eau du réservoir d'eau du bateau. Rincer dans le sens de la bouche de la manta vers le cul de chalut afin de concentrer toutes les particules adhérant au filet dans le cul de chalut.

Note : Ne rincer jamais l'échantillon par l'ouverture du filet afin d'éviter toute contamination.

- g. Retirer le cul de chalut en toute sécurité et tamiser l'échantillon dans le cul de chalut à travers un tamis de 300 µm de maille ou moins.
- h. Rincer soigneusement le cul de chalut de l'extérieur et verser le reste de l'échantillon dans le tamis. Répéter cette étape jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de particules à l'intérieur du cul de chalut.
- i. Concentrez tout le matériel sur le tamis dans une partie du tamis.
- j. À l'aide d'un entonnoir, rincer le tamis dans un bocal en verre ou une bouteille en plastique en utilisant de l'éthanol à 70 %.
- k. Fermer la bouteille, essuyer-la avec des serviettes en papier et étiqueter le couvercle et l'extérieur du bocal avec le nom de l'échantillon et la date avec un marqueur résistant à l'eau.

(Il est primordial de mettre une deuxième étiquette écrite au crayon sur du papier velum dans le bocal pour éviter la perte éventuelle du nom de l'échantillon à cause de l'étiquette effacée sur le bocal). Transférer la bouteille en plastique étiquetée dans la glacière.

Note sur les conditions générales d'échantillonnage : La vitesse du vent ne doit pas être supérieure à 2 Beaufort, car les vagues sont trop hautes et le filet n'est pas stable à la surface de la mer. Il est important de maintenir une trajectoire linéaire régulière à une vitesse constante pendant les chaluts. La moitié de l'ouverture du filet manta doit être immergée pendant l'échantillonnage. La durée de l'échantillonnage doit être de 30 minutes (dans les cas où il y a une grande quantité de matériel naturel,

par exemple du plancton). Par exemple une prolifération de plancton, la durée de l'échantillonnage peut être plus courte). Évitez l'utilisation d'outils et de récipients en plastique. Évitez les vêtements synthétiques (par exemple, les polaires), les cordes et le contact du filet manta avec le bateau pour éviter la contamination de l'échantillon. Faites très attention à ne pas endommager le filet manta ou la coque du bateau en déployant et en capturant le filet.

III-2.2. Les coordonnées géographiques des stations de prélèvement :

Tableau 2 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement

A: 36°49'40.55"N	3°35'49.94"E	B: 36°49'36.57"N	3°36'51.13"E
C: 36°49'34.92"N	3°37'52.00"E	D: 36°50'21.11"N	3°38'7.73"E
E: 36°50'28.74"N	3°39'11.81"E	F: 36°50'54.28"N	3°40'20.28"E
G: 36°51'2.52"N	3°40'47.65"E	H: 36°52'5.72"N	3°41'35.59"E
I: 36°51'52.90"N	3°42'13.81"E	J: 36°52'29.89"N	3°43'2.36"E

III-3. La matrice sédiment [S] : Via la benne Van Veen

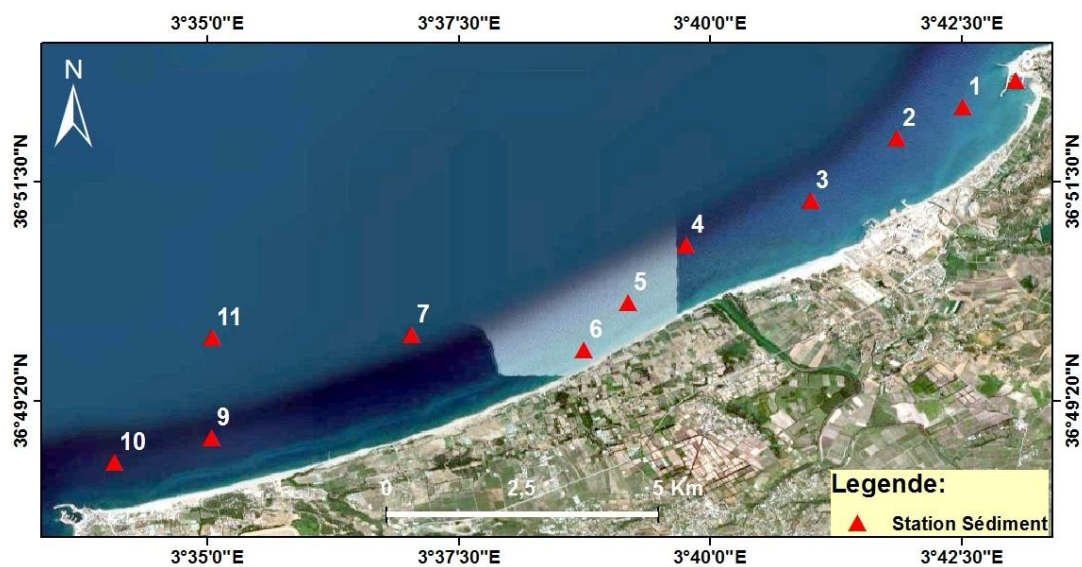


Figure 20 : Carte géo référencée des stations de prélèvement de sédiments

Les prélèvements de sédiments ont été réalisés à l'aide d'une benne preneuse de type « VAN VEEN » attachée à un câble et envoyée sur le fond (figure N° 21)



Figure 21 : Benne Van Veen en cours de prélèvement

III-3.1. Les coordonnées géographiques des stations de prélèvement :

Tableau 3 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement de sédiment

S1:	36°52'14.88"N	3°42'30.79"E
S2:	36°51'55.85"N	3°41'51.36"E
S3:	36°51'18.85"N	3°40'59.69"E
S4:	36°50'52.33"N	3°39'45.04"E
S5:	36°50'18.50"N	3°39'10.95"E
S6:	36°49'50.10"N	3°38'44.36"E
S7:	36°49'58.87"N	3°37'1.38"E
S8:	36°52'30.47"N	3°43'2.18"E
S9:	36°48'57.82"N	3°35'2.30"E
S10:	36°48'43.26"N	3°34'4.23"E
S11:	36°49'57.40"N	3°35'2.66"E

III-4. Analyse laboratoire

Pendant toute la procédure, des précautions particulières ont été prises pour éviter la contamination. Partout où possible, des composants non plastiques ont été utilisés.

La contamination a été évitée 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.

III-4.1. La solution saline ZnCl₂

III-4.1.1. Principe de la méthode de la solution saline ZnCl₂

Le principe de la méthode de la solution saline saturée, a pour but d'extraire le maximum des types de microplastiques présents dans les échantillons, y compris les plastiques à haute densité.

Le choix de la solution saline ZnCl₂ de densité ($d = 1,58 \text{ g/cm}^3$), était pour son taux de récupération élevé de microplastiques, et son coup moins cher, par rapport à NaCl (moins dense) et NaI (cher et nocif pour la nature malgré son taux de récupération élevé).

Tableau 4 : de (R.L. Coppock et al.2017) Quantité comparative de sels (g) ajoutée à 1 L d'eau ultra-pure pour atteindre des densités spécifiques, et leurs coûts associés.

Sel	Densité (g/cm ³)	Quantité ajoutée à 1 L H ₂ O (g)	Unité de coût relative
Chlorure de sodium (NaCl)	1.2	373	1
Iodure de sodium (NaI)	1.3	494	20.5
	1.5	1000	40.5
Chlorure de zinc (ZnCl ₂)	1.3	500	4.3
	1.5	972	8.4
	1.8	1800	15.6

Bien que cette méthode se soit avérée fiable pour l'extraction de microplastiques dans une gamme de types de sédiments, elle dépend en fin de compte de l'utilisateur qui doit trier et extraire manuellement les plastiques, (R.L. Coppock et al.2017).

III-4.1.2. Préparation de la solution saline ZnCl₂

- Dans un erlenmeyer, on met 200ml d'eau distillée.
- Sur une balance à précision, peser 4g de sel ZnCl₂.
- Ajouter les 4g pesé dans l'erlenmeyer, tout en agitant pour se dissoudre.

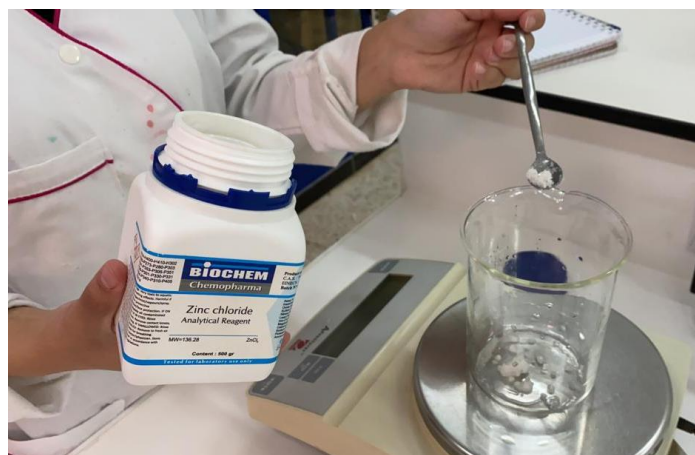


Figure 22 : Préparation e la solution saline ZnCl₂

III-4.2. Matrice Eau

III-4.2.1. Procédures de traitements des échantillons au laboratoire

- Ajouter 15ml de H₂O₂ (30%) dans des flacons en verre, qui contiennent des échantillons pour l'oxydation de la matière organique.
- Agiter bien les flacons, et mettre à décanter chaque échantillon pendant 24 h à l'abri de la lumière.
- Ajouter la solution aine ZnCl₂, et laisser se décanter pendant 1h voire 2h.
- Tamiser les échantillons qui contiennent les microplastiques sur une série de tamis de 5mm, 1mm, 0,4mm successivement, pour éliminer les macroplastiques, déchets et quelques phanérogames et algues ...
- Séparer les gros débris de l'échantillon à l'aide d'une pince, en les mettant dans une boîte de pétri.
- Passer le surnageant récupéré dans la rampe a filtration (Figure 23).
- Récupérer les membranes de taille de pores de 40µm après filtration, dans un papier aluminium, puis les inspecter ultérieurement, et identifier et compter les microplastiques.

(Voir la figure du mode opératoire).

Tableau 5 : Mode opératoire

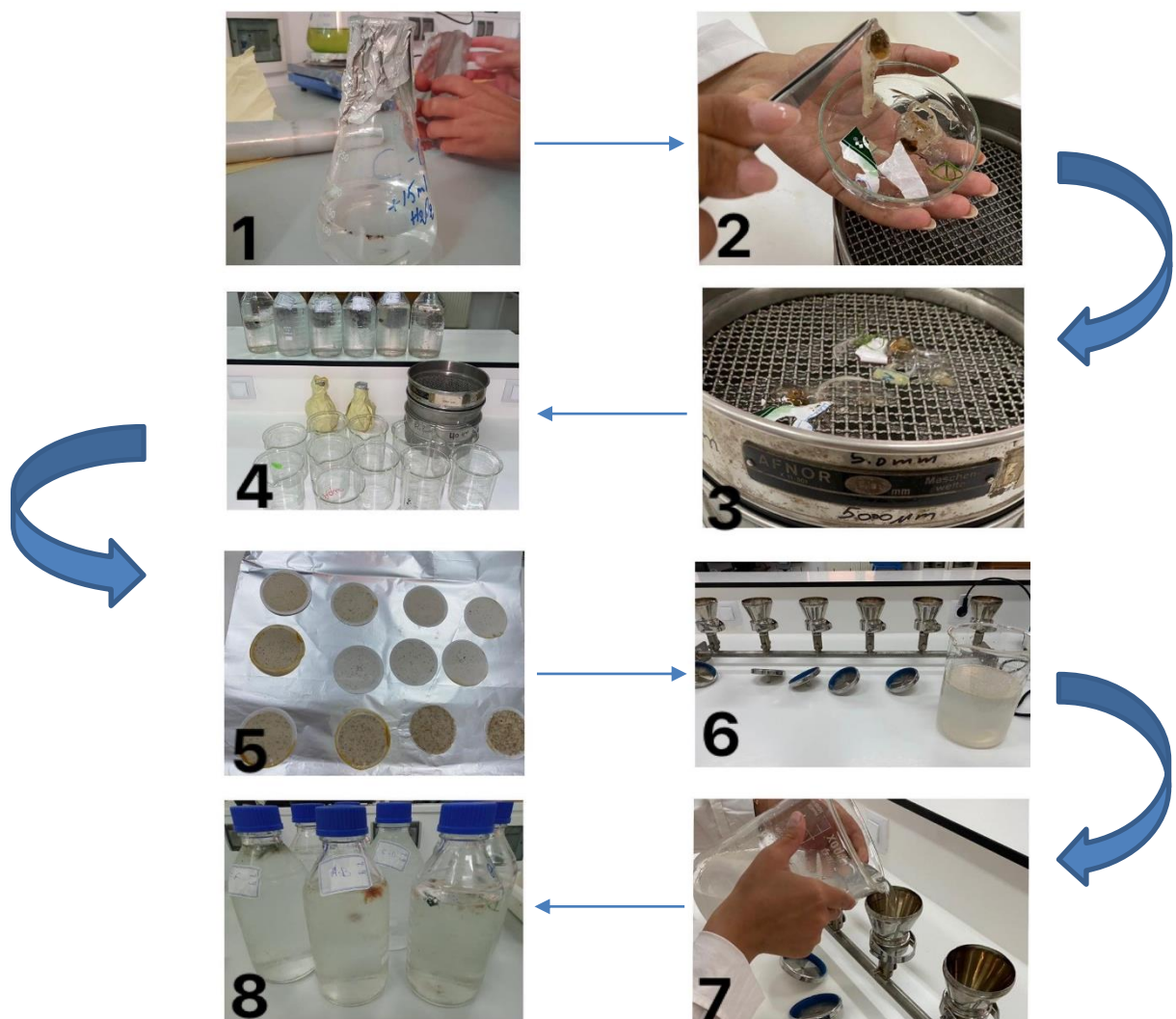




Figure 23 : Rampe a filtration

III-4.2.2. Identification des microplastiques sous la loupe binoculaire

III-4.2.2.1. Caractéristiques des microplastiques (Hidalgo-Ruz et al., 2012)

- Petite taille (dimension la plus grande <5mm)
- Aucune structure cellulaire ou organique visible
- Les fibres doivent être d'épaisseur égale sur toute leur longueur.
- Les particules doivent présenter une couleur claire et homogène.

III-4.2.2.2. Equipment

- Loupe binoculaire (figure 24), microscope, lames, lamelles couvre-objet, filtres (idéalement quadrillés).
- Boîtes de Pétri (idéalement en verre)
- Pince à épiler et sonde pour piquer les pièces
- Zone de travail propre et non contaminée.
- Fiches de données
- Picette avec eau distillée



Figure 24 : Identification des microplastiques sous la loupe binoculaire

III-4.2.2.3. Procédure de lecture d'un filtre

- a. 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.

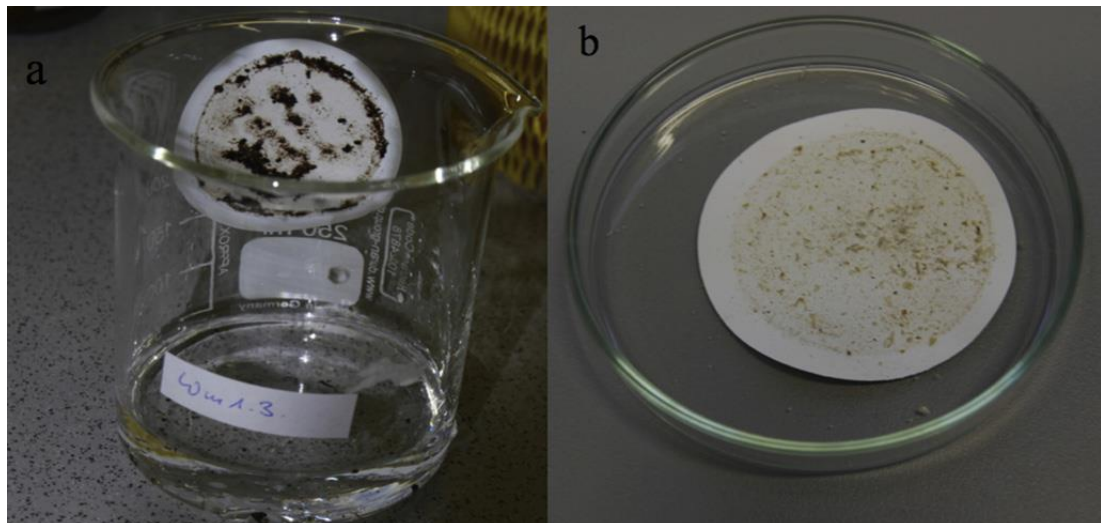


Figure 25 : Une membrane après filtration

- b. 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.

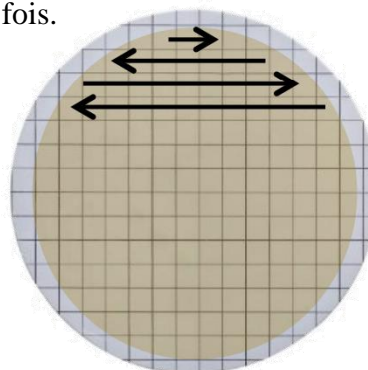


Figure 26 : Procédure de lecture du filtre

III-4.2.2.4. Identification des microplastiques

- **Inspection au microscope :** Inspectez les filtres sous un microscope à dissection à un grossissement de 4,5 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 ambiante, mais selon l'humidité du filtre et la température du laboratoire, cela peut prendre plus de temps.

- **Morceaux et textures :** La plupart des pièces en plastique sont assez souples et ne se cassent pas lorsqu'on les pique. Les pinces à épiler et des sondes vous permettront d'enfoncer des pièces individuelles. Les pièces en plastique 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.

- **Description des microplastiques**

Tableau 6 : Catégories utilisées pour décrire les microplastiques, Source: Hidalgo-Ruiz et al., 2012

CATEGORIES	DESCRIPTION
SOURCES	<ul style="list-style-type: none">• Fragments de produits de consommation (par exemple, filet de pêche)• Granules industriels bruts
TYPE	<ul style="list-style-type: none">• Fragments de plastique, granules, filaments, films plastiques, mousse de plastique, pelletes.
FORME	<ul style="list-style-type: none">• 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
EROSION	<ul style="list-style-type: none">• 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	<ul style="list-style-type: none">• Transparent, cristallin, blanc, blanc-crème clair, rouge, orange, bleu,• Opaques, noirs, gris, bruns, verts, roses, bronzés, jaunes et pigmentés.

III-4.3. Matrice Sédiment

III-4.3.1. Etude granulométrique

III-4.3.1.1. Principe de la méthode

Ce procédé consiste à passer l'échantillon par une série de tamis de mailles décroissantes et de récolter ensuite le poids partiel de chaque quantité dans le tamis. Cependant, il existe de très nombreuses normes de tamisage, dans lesquelles les mailles varient selon une progression géométrique décroissante permettant un espacement régulier des abscisses dans l'échelle logarithmique, ainsi qu'une représentation étendue sur un graphique. Cette analyse granulométrique permet de définir, suivant leurs calibres, diverses classes de sédiments indépendamment de leur nature chimique. Le tableau ci-dessous correspond aux diamètres des grains selon la norme AFNOR.

Tableau 7 : Diamètres des grains et appellations correspondant à la norme AFNOR

Qualification des classes de taille	Définition granulométrique des classes de taille
Cailloutis, galets	< 2cm
Gravies	2 mm < X < 2 cm
Sables grossiers	500 µm < X < 2 mm
Sables moyens	200 < X < 500 µm
Sables fins	50 < X < 200 µm
Silts et argiles (ou pélites)	< 50 µm

III-4.3.1.2. Appareillage

Il comprend

- ✓ Un dispositif de lavage avec arroseur et, éventuellement, de malaxage ;
- ✓ Un jeu de tamis emboîtables à mailles d'ouvertures carrées conforme à la norme NF ISO 565 dont les montures ont :
 - Des diamètres de (en mm) : 1.4 - 1.25 - 1 - 0.8 - 0,63 - 0,5 - 0,4 - 0,315 - 0,25 - 0,2 - 0,18 - 0,16 - 0,14 - 0,1 - 0,08 - 0,063.

Toutes les montures des tamis d'une même colonne ont le même diamètre imposé par la dimension de la plus grande maille des tamis utilisés.

- ✓ Couvercles et fonds de tamis de même diamètre que les tamis ;
- ✓ Récipients en matériau non altérable, brosse, pinceau, ... ;
- ✓ Balances dont les portées maximale et minimale sont compatibles avec les masses à peser et telles que les pesées sont effectuées avec une incertitude de 1/1 000 de la valeur mesurée ;

- ✓ Étuve : une enceinte thermique ou une étuve de dessiccation à température réglable à 50 ° c et à 105 ° c, de classe d'exactitude C comme défini dans l'annexe A de la norme X 15-016 pour la température uniquement.

III-4.3.2. Analyse granulométrique par tamisage à sec

❖ Mode opératoire

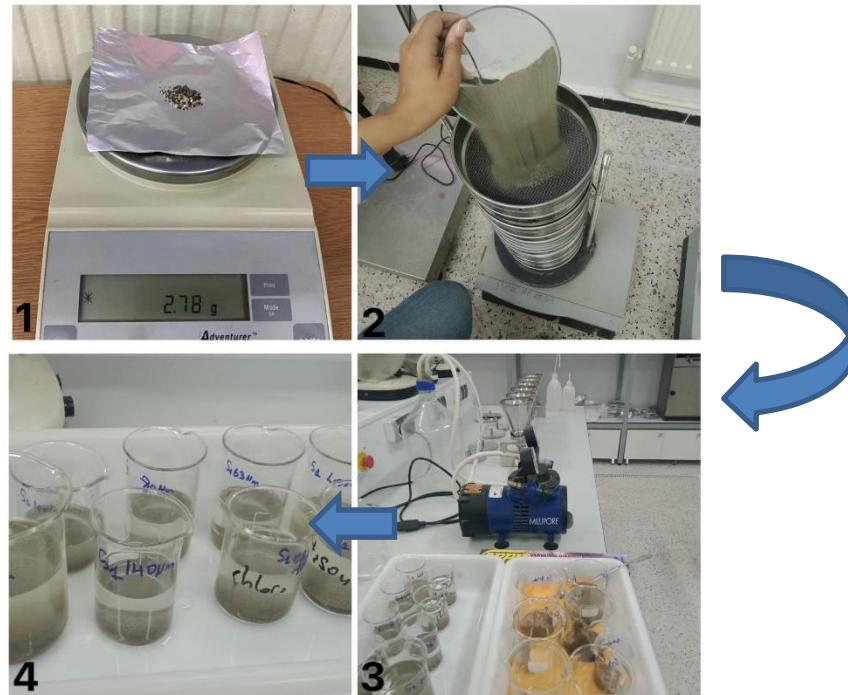


Figure 27 : Mode opératoire de la procédure de la granulométrie

a. Séchage

- Les échantillons mis dans des boîtes de pétri, sont placés à l'étuve pendant 24 heures ajustées à une température de 105°C.

b. Tamisage à sec

- Après séchage, 350 grammes de sédiments ont été prélevés de chaque boîte de pétri.

c. Pesage des refus

- Commencer par dresser la colonne des tamis. Les ouvertures des tamis doivent être croissantes de bas en haut. Les tamis à prendre en compte sont (en mm) : 1.4 - 1.25 - 1 - 0.8 – 630 – 500- 400 – 315 – 250 – 200 – 180 – 160 – 140 - 100 – 80 – 63.
- Peser le sédiment de l'échantillon de chaque station en calculant le Dmax. ((Diamètre maximale pour désigner la maille de tamis de départ et définir la quantité nécessaire à peser). $D_{max} = \text{maille de tamis de départ} \times 0,2$).
- Prendre la quantité calculée de sédiment et la verser sur le tamis supérieur puis fermer la colonne par le couvercle.
- Placer la colonne des tamis sur le vibreur.
- Procéder à l'agitation pendant 10 min.
- Procéder à la pesée cumulée des refus des tamis en commençant par le tamis supérieur.
- Peser chaque refus.

Notes

- ✓ La fraction pélitique n'a pas été éliminée dans notre cas d'étude, pour but de l'analyser et quantifier les microplastiques qu'elle contient.



Figure 28 : La pesée de l'échantillon de sédiment



Figure 29 : Meulage de sédiments collés dans le mortier



Figure 30 : Tamisage de sédiments

Les indices de classement des grains :

1. Classification des grains de sables

Diamètre du grain	Classification
< 110 μm	Sable très fin
110-150 μm	Sable fin
150-200 μm	Sable moyen
200-500 μm	Sable grossier
>500 μm	Sable très grossier

Figure 31 : Classification des grains de sables (Folk et Ward, 1954)

2. Indice central MZ

Cet indice nous permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments.

$$Mz = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})/3 \dots \dots \dots \text{IV (6)}$$

D'où $\Phi = -\log_2 D$

Valeur de Mz	Taille moyenne du grain
$MZ < -6$	Galet
$-6 < MZ < -2$	Granule
$-2 < MZ < -1$	Sable très grossier
$-1 < MZ < 0$	Sable grossier
$0 < MZ < 1$	Sable moyen
$1 < MZ < 2$	Sable fin
$2 < MZ < 3$	Sable très fin
$3 < MZ < 3,98$	Vase

Figure 32 : Les valeurs adoptées de MZ pour la taille moyenne du grain (Folk et Ward, 1954)

3. Indice de classement S0

Cet indice nous permet d'étudier le classement des sédiments. Il indique la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon (Chamley, 1987)

- Le starting de Trask : $S_0 = (Q_{75}/Q_{25})^{1/2} \dots \dots \dots \text{IV (7)}$
- Folk et Ward : $S_0 = [(\phi_{84} - \phi_{16})/4] + [(\phi_{95} - \phi_5)/6,6] \dots \dots \dots \text{IV (8)}$

Valeur de S ₀	[1 — 1,5]] 1,5 — 2,5]] 2,5 — 3,5]] 3,5 — 4,5]	> 4,5
Classement	Très bien classé	Bien classé	Normalement classé	Faiblement classé	Mal classé

Figure 33 : Les valeurs adoptées pour S0 représentant les types de classement

4. Coefficient de Skewness SK

Le coefficient de skewness exprime la symétrie par rapport à la médiane. Il permet d'évaluer la tendance des sédiments vers le grossier, ou vers le fin. S'il est égal à 1, le mode qui est le sommet de la courbe de fréquence, coïncide avec le diamètre moyen. Si l'asymétrie est supérieure à 1, le classement est maximal du côté grossier ; au contraire, si elle est inférieure à 1, c'est du côté fin. Plus ce coefficient est loin de l'unité, plus le mode est loin du diamètre moyen, ainsi l'asymétrie reflète aussi bien le milieu de dépôt que les conditions de transport.

- Le Skewness de Trask : $Sk = (Q_{75} - Q_{25}) / (D_{50})^2$ IV (9)
- Folk et Ward : $Sk = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{84} - \phi_{16})) + ((\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{95} - \phi_{5}))$ IV (10)

La valeur de Sk	L'asymétrie
$Sk < 1$	Classement maximum vers les fines
$Sk = 1$	symétrie est parfaite
$Sk > 1$	Classement maximum vers le grossier

Figure 34 : Les valeurs adoptées de SK représentant les types d'asymétrie

III-4.3.3. Traitement des refus

Après tamisage, et récupération des refus de tous les échantillons :

- Mettre chaque refus dans des bécards étiquetés.
- Ajouter la solution saline $ZnCl_2$.
- Laisser se décanter pendant 1h voire 2h.
- Passer le surnageant dans la rampe à filtration.
- Récupérer les filtres pour les inspecter sous la loupe binoculaire.
- Quantifier et identifier les microplastiques.

III-4.3.3. Identification des microplastiques par spectroscopie IR



Figure 35 : Identification des différents polymères par spectroscopie infra-rouge FT-IR

Nous avons utilisés la spectrométrie FT-IR pour identifier et documenter la classification chimique des plastiques que nous avons trouvés.

- 1- Les échantillons de microplastiques sont placés sous l'instrument FT-IR.
- 2-Le FT-IR utilise le rayonnement infrarouge pour déterminer le type de polymère.
3. Nous comparons les échantillons à une bibliothèque de polymères connus.
- 4-Cela nous aide à déterminer d'où les échantillons peuvent provenir et à identifier les sources potentielles de ces microplastiques.
- 5- Ensuite, nous essayons de collaborer avec les océanographes qui étudient les courants afin d'avoir une idée de la provenance des plastiques.

Nous avons fait l'identification par spectrométrie infrarouge au sein de **L'Institut algérien du pétrole (IAP)** à Boumerdès.



CHAPITRE IV
Résultats et discussions

CHAPITRE IV- Résultats et discussions

IV-1. Résultats des eaux de surface

IV-1.1. Quantification des microplastiques dans la matrice d'eau

Les microplastiques ont été détectés dans toutes les stations prélevées, les cinq échantillons contiennent aussi des macroplastiques, des algues, des débris de phanérogames marines ainsi une forte abondance du plancton.

Les différents types des microplastiques ont été classés en six classes : Granules, Fibres, Films, Mousses, Fragments et pellets, avec différente couleur (noir, bleu, orange....)

Tableau 8 : Types et quantification de microplastiques dans chaque transect

Type de microplastiques	A-B	C-D	E-F	G-H	I-J	Couleur
Fibres	68	105	30	39	270	Noir
	47	54	50	22	159	Bleu
	13	1	15	27	17	Transparent
		2		2	5	Blanc
	1	1	4	7	23	Rouge
	1	3	7		8	Rose
	2	2			4	Marron
	5	6	3		13	Orange
					7	Jaune
		2	1	3	7	Mauve
	3	3	3	2	19	Vert
	1				2	Gris
TOTAL Fibres	141	179	113	111	532	
Fragments	8	8	3	6	32	Noir
	20	23	4	8	39	Bleu
	1	6	3	15	50	Transparent
	12	26	12	8	68	Blanc
	1				17	Rouge
		3			4	Rose
			2	3	1	Marron
	4	3	3	2	9	Orange

		4	2	3	26	Jaune
			1		2	Mauve
	1	2	1	7	17	Vert
		2			4	Gris
TOTAL Fragments	47	69	31	49	269	
Granules			1			Bleu
	1			12	6	Transparent
	1	1	1	1	5	Blanc
			1	1	1	Marron
	3				2	Orange
					1	Jaune
		1	1	1		Vert
TOTAL Granules	5	2	4	15	15	
Mousses	5	65	5	8	74	Blanc
				2	5	Noir
TOTAL Mousse	5	65	5	10	79	
Pellette			1			Bleu
	3	16		10	1	Transparent
		1		1	2	Blanc
		1	1	1		Marron
		5	2		1	Orange
			1	1	1	Jaune
		1				Mauve
TOTAL Pellettes	3	24	5	13	5	
Films		6	3	5	9	Noir
		6	7	5	5	Bleu
	12	17	7	14	33	Transparent
	8	8		1	17	Blanc

					14	Rouge
			2			Marron
			8		8	Jaune
	1	3	1	3	3	Vert
TOTAL Films	21	40	28	28	79	

IV – 1.1.1 Les paramètres physico-chimiques des transects de la matrice eau :

Tableau 9: les paramètres physico-chimique des transects

Paramètres	Température °C	Salinité PSU	PH	O dissous %	TDS ppt	Conductivité ms/cm
A-B	24.11	29	7.44	15.9	24.07	48.5
C-D	24	30.9	8.8	16.7	24	47.6
E-F	24.08	31.42	9.1	17.3	24.09	48.18
G-H	24.31	29.37	10.55	16.6	22.75	45.44
I-J	24.37	31.50	9	17.6	24.12	48.32

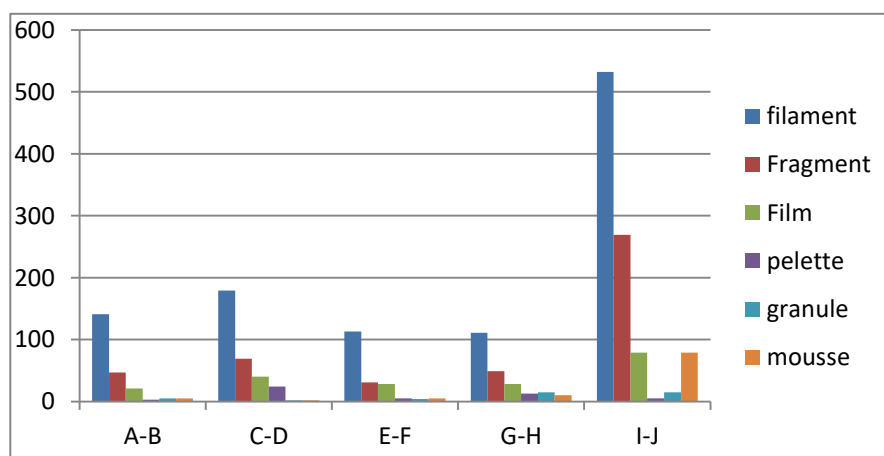


Figure 36 : Résultats des microplastiques dans chaque transect

Interprétation

On constate que dans toutes les stations les filaments (fibre synthétique) représentent une dominance important par rapport aux autres types de microplastiques, (histogramme...), Ceci est peut-être dû aux rejets domestiques des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu marin, les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer (oued Isser), par l'activité anthropique des complexes touristiques

(Complexe touristique ADIM, Complex Touristique Nakhla Zemouri, Complexe touristique butterfly) et ainsi par le charriage des déchets par le vent d'Est caractéristique de la zone d'échantillonnage en été et en automne, comme ils peuvent

se transporter avec les courants de surfaces à cause de leur dimension très réduite et leur poids très léger.

On distingue aussi une concentration très faible de pellettes dans toutes les stations ceci peut être expliqué par leur poids lourd qui empêche leur transport facile par les eaux.

IV-1.2. Comparaison entre les différentes stations

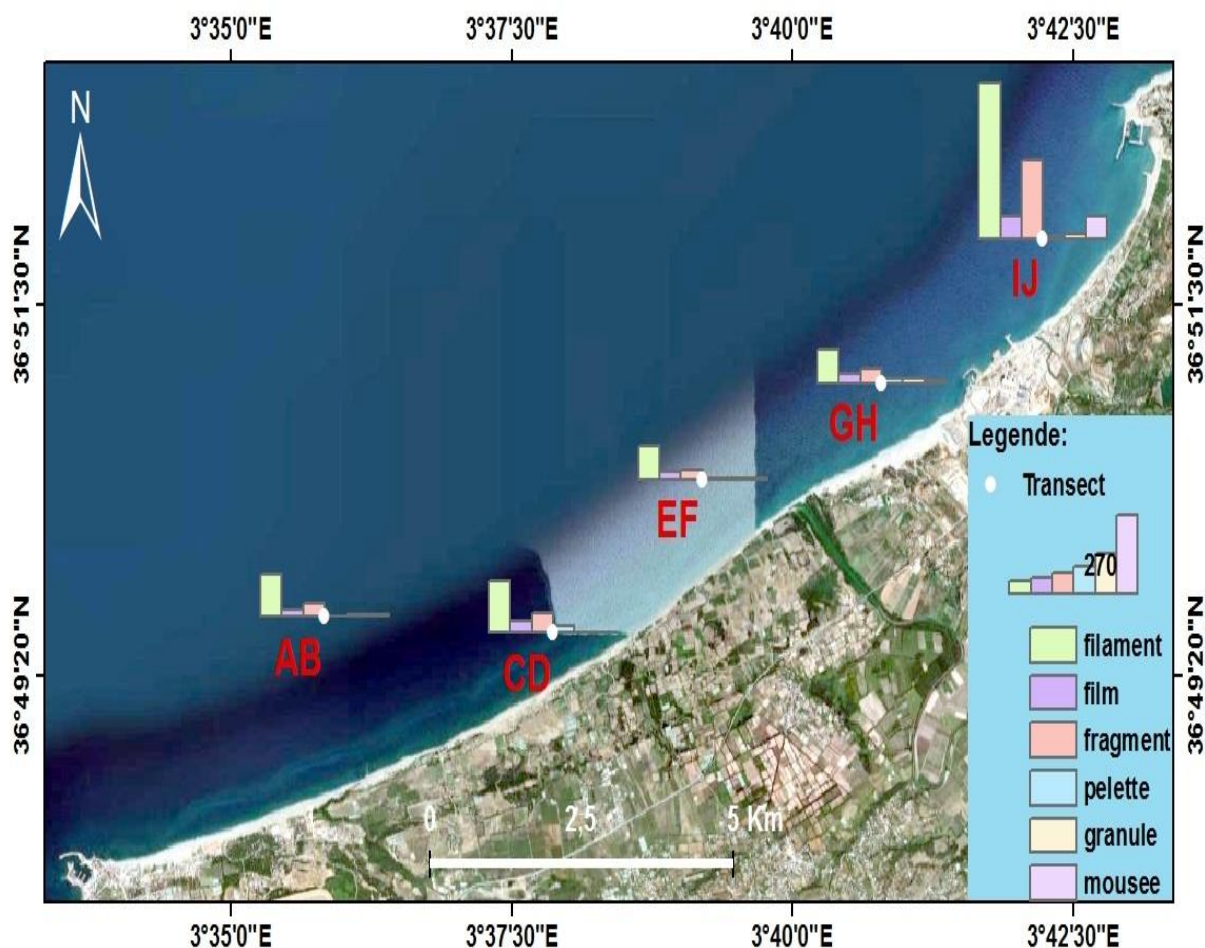


Figure 37 : Comparaison entre les différentes stations

Interprétation

Nous remarquons que la station I-J (port et plage de cap Djinet) est la plus contaminée par les microplastiques par rapport aux autres stations, ceci peut s'expliquer par le fait que les échantillons ont été prélevés après la saison estivale où il y avait une activité touristique et attraction très élevée, plus l'activité de pêche au niveau de port de cap Djinet ce qui a augmenté le taux de pollution dans cette zone.

Nous distinguons aussi que la station E-F au près d'oued Isser est la moins contaminée ceci est peut-être dû à la diminution du débit d'oued dans la saison estivale.

Nous remarquons une contamination par les microplastiques un peu varié dans chacune des station A-B, C-D et G-H ce et peut être s'expliquer par la nature des rejet dans chaque station, A-B se trouve dans une zone approximative des complexes touristique, C-D se trouve dans une zone approximative des terre agricoles et G-H se trouve dans une zone approximative a la station de dessalement et la central électrique.

IV-2. Résultats de la granulométrie

IV-2.1. Refus du tamisage

Tableau 10 : Tableau présentant les refus de tamis de chaque station

Tamis	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Station 5	Station 6	Station 7	Station 8
1.25 mm							7.70g	
1 mm	2.77 g				4.18 g		1.61g	
0.8 mm	2.68 g			3.23 g	29.16 g	0.87g	2.05g	
630 um	7.97 g			0.55 g	47.02g	3.10g	2.58g	
500 um	14 g			2.46 g	54.47g	7.06g	1.66g	
400 um	25.86 g			1.53 g	54.88g	12.66g	1.88g	
315 um	45.77 g	45.77 g	0.26 g	2.70 g	39.47g	16.16g	1.95g	27.81g
250 um	38.17g	0.73 g	0.57 g	3.54 g	14.54g	9.45g	2.30g	4.29g
200 um	32.48g	2.28 g	3.21 g	12.53 g	11.82g	22.16g	14.75g	8.12g
180 um	9.62 g	1.81 g	2.24 g	9.92 g	3.42g	16.61g	13.21g	3.48g
160 um	9.29 g	5.73 g	6.57 g	31.14 g	2.20g	26.24g	41.6 g	4.75g
140 um	2.95 g	4.97 g	5.63 g	34.75g	0.72g	16.40g	30.66g	3.28g
100 um	4.38 g	27.5 g	29.83 g	43.02g	1.08g	24.79g	85.13g	12.26g
80 um	1.15 g	14.18 g	9.84 g	10.19g	0.13g	2.77g	25.43g	13.58g
63 um	0.71 g	3.37 g	2.55 g	2.84 g	0.04g	0.75g	8.29g	11.54g
Fond de tamis	1.4 g	1.27 g	1.37 g	0.99g	0.04g	0.26g		10.69g

Tamis	Station 9	Station 10	Station 11
1.25 mm			
1 mm			
0.8 mm	1.61g	1.83g	
630 um	2.45g	2.70g	
500 um	2.08g	2.25g	
400 um	3.29g	2.56g	
315 um	6.13g	3.07g	5.08g
250 um	9.70g	3.64g	2.69g
200 um	41.79g	14.32g	7.16g
180 um	32.49g	13.96g	2.32g
160 um	40.05g	33.07g	2.13g
140 um	4.5g	11.04g	14.12g
100 um	11g	47.67g	34.21g
80 um	2.5g	11.88g	6.45g
63 um	1.45g	7.34g	1.3g
Fond de tamis	1g	1.94g	0.69

IV- 2.2. Résultats de tamisage de sédiments prélevés (voir annexe 33)

IV- 2.3 Courbes de probabilités cumulées

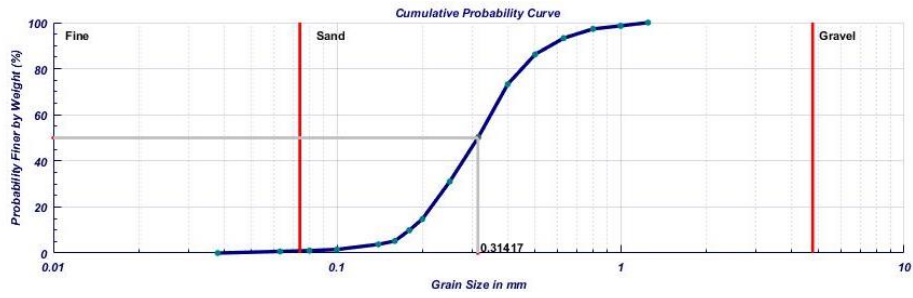


Figure 38 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 01

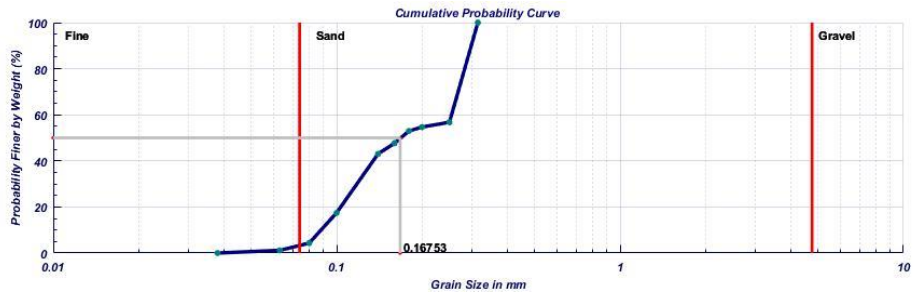


Figure 39 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 02

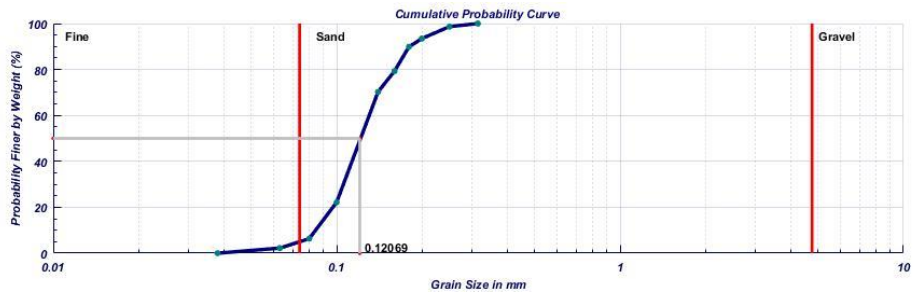


Figure 40 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 03

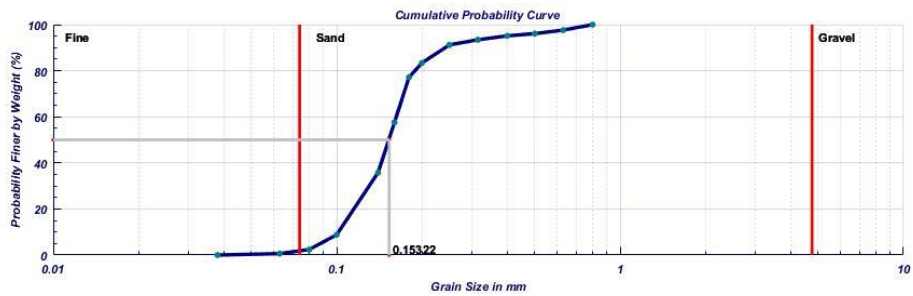


Figure 41 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 04

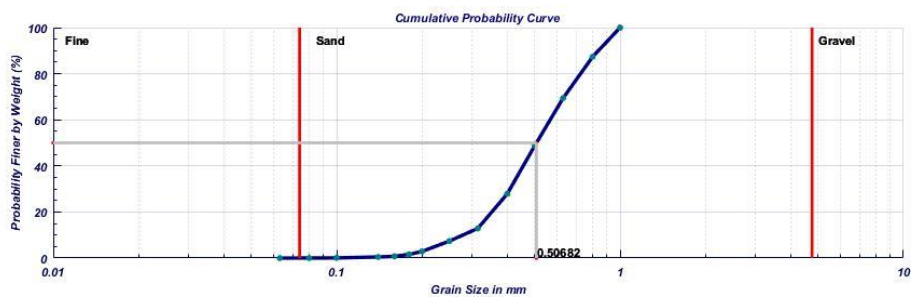


Figure 42 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 05

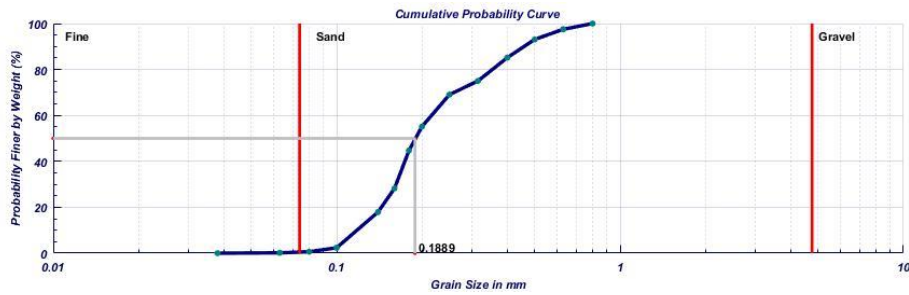


Figure 43 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 06

Interprétation :

Après l'examinassions des courbes cumulatives dans les stations 01, 02, 03, 04, 05 et 06, nous avons constaté que :

- La présence des particules moyennes et fines est décrite sur la courbe granulométrique. Ainsi, 80 % des particules sont comprises $0.09 < D \leq 0.9$ mm, qui sont des sédiments de tailles moyenne.
- Le reste (10%) des particules sont des sédiments de taille fine.

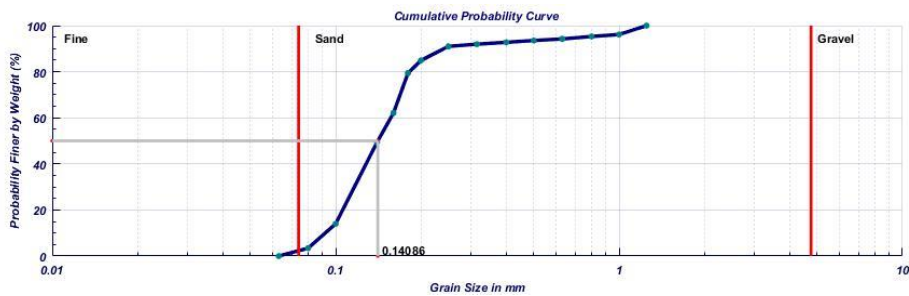


Figure 44 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 07

Interprétation :

Après l'examinassions des courbes cumulatives dans la station 07, nous avons constaté que :

- La présence des particules moyennes et fines est décrite sur la courbe granulométrique. Ainsi, 99 % des particules sont comprises $< D \leq 2$ mm, qui sont des sédiments de tailles moyenne.
- Le reste (1%) des particules sont des sédiments de taille fine.

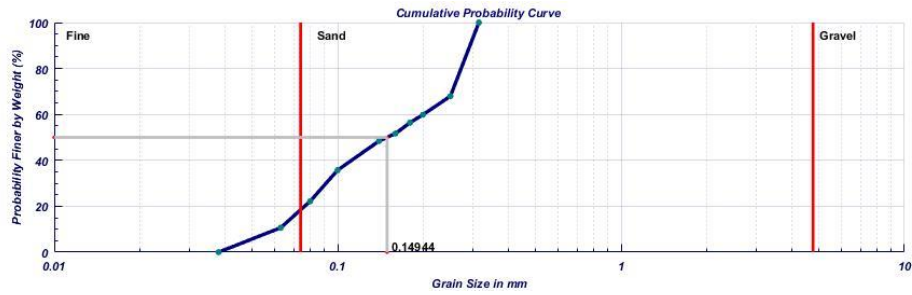


Figure 45 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 08

Interprétation :

Après l'examinassions des courbes cumulatives dans la station 08, nous avons constaté que :

- La présence des particules moyennes et fines est décrite sur la courbe granulométrique. Ainsi, 80 % des particules sont comprises $0.09 < D \leq 0.5$ mm, qui sont des sédiments de tailles moyenne.
- Le reste (10%) des particules sont des sédiments de taille fine.

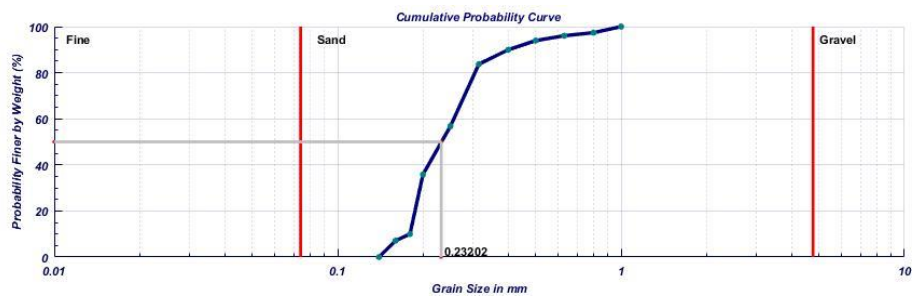


Figure 46 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 09

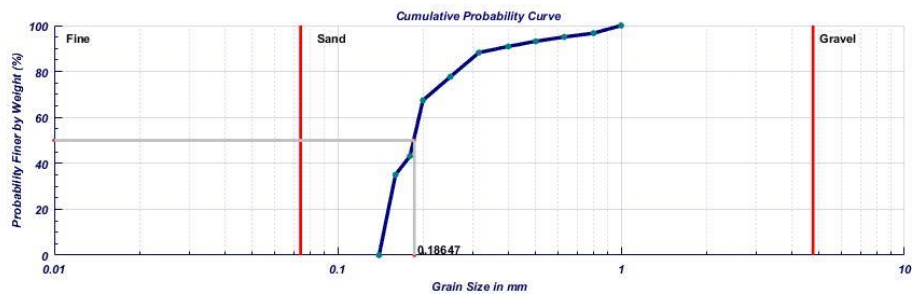


Figure 47 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 10

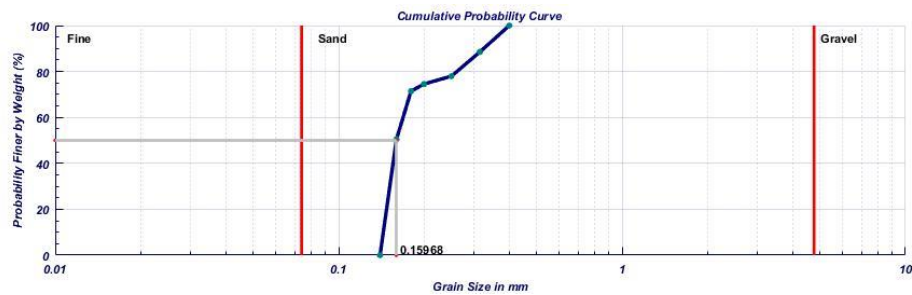


Figure 48 : Courbe de distribution granulométrique de la Station 11

Interprétation :

Après l'examinations des courbes cumulatives dans les stations 09 et 10, nous avons constaté que :

- La présence des particules moyennes est décrite sur la courbe granulométrique et les particules fines ne sont pas présentes dans cette station. Ainsi, 100% des particules sont comprises $0.13 < D \leq 0.65$ mm, qui sont des sédiments de taille moyenne.

IV- 2.4. Les indices (Voir annexes de n°23 jusqu'au n°32)

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des Indices et leurs classements au niveau de toutes les stations de prélèvement de sédiment

	Indice So	Indice Sk	Mz	Classement So	Classement Sk	Classement
S1	1,5767	0,98475	0,31281	Bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S2	1,6689	0,99967	0,17181	Bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S3	1,3675	0,92284	0,12393	Très bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S4	1,4736	0,91664	0,15233	Très bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S5	1,5476	1,0568	0,50703	Bien classé	Classement maximum vers le grossier	Sable moyen
S6	1,6929	0,78199	0,21546	Bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S7	1,6905	0,82585	0,14154	Bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S8	1,9312	1,0807	0,14674	Bien classé	Classement maximum vers le grossier	Sable moyen
S9	1,4141	0,83237	0,23977	Très bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S10	1,5135	0,74539	0,19599	Bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen
S11	1,3976	0,61378	0,18761	Très bien classé	Classement maximum vers le fin	Sable moyen

D'après les résultats obtenus nous remarquons que la majeure partie de la nature de fond de notre zone d'étude est de sable moyen avec la présence d'une petite partie de sable vaseux et une absence de graviers dans l'ensemble des station, sachant que la profondeur de nos prélèvements est environ 6 et 25m.

IV- 3. Résultats de quantification de microplastiques dans les sédiments

IV- 3.1. Les paramètres physico-chimiques des stations des sédiments :

Tableau 12: les paramètres physico-chimique des stations

paramètres	Température °C	Salinité PSU	PH	O dissous %	TDS ppt	Conductivité ms/cm
S1	24	31.57	7.49	17.6	24.12	48.32
S2	24	30.9	8.8	16.7	24	47.6
S3	24.08	31.30	7.8	17.3	24.03	48.01

IV- 3.2. Quantification des microplastiques :

Tableau 13 : Tableau de quantification de microplastiques dans les sédiments

	S1	S2	S3
filament	300	230	499
fragment	40	36	51
film	36	20	22
mouse	11	15	6
granule	9	6	14
pellette	5	6	9

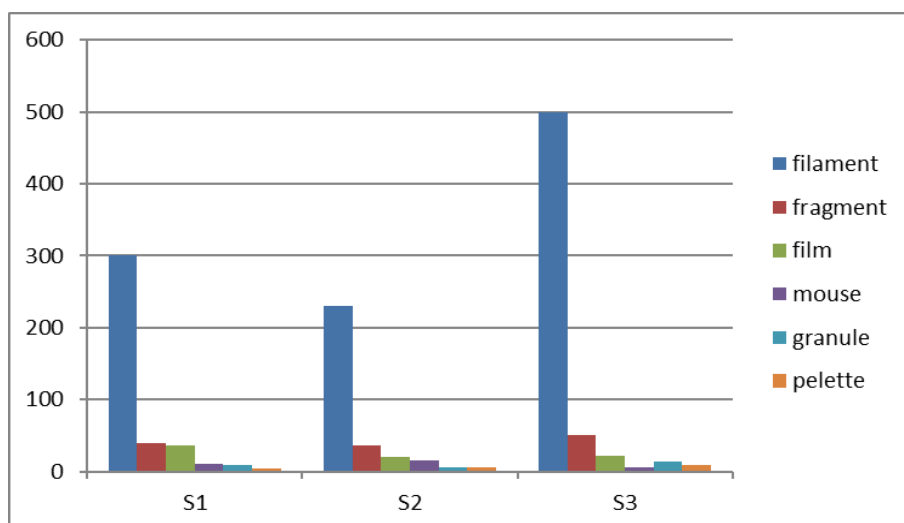


Figure 49: Résultats de quantification de microplastiques dans les sédiments

En raison du retard de notre sortie en mer dû à plusieurs obstacles rencontrés et le temps limité qu'on a eu pour analyser les échantillons, nous avons traités que trois stations de sédiment.

Les résultats obtenus de la quantification des microplastiques dans les sédiments marins nous a montré qu'il y a une concentration importante signalée au niveau de la zone étudiée.

Nous avons remarqué qu'il y a une abondance extrême de type de fibres au niveau de toutes les stations par rapport aux autres, cette abondance est peut-être due aux

qualités des rejets et leur origine (rejet domestique et industriel), ainsi que par la densité de ce type de microplastique qui lui permet de se sédimenter au fond suite à un temps donné.

Distribution et comparaison des stations analysées :

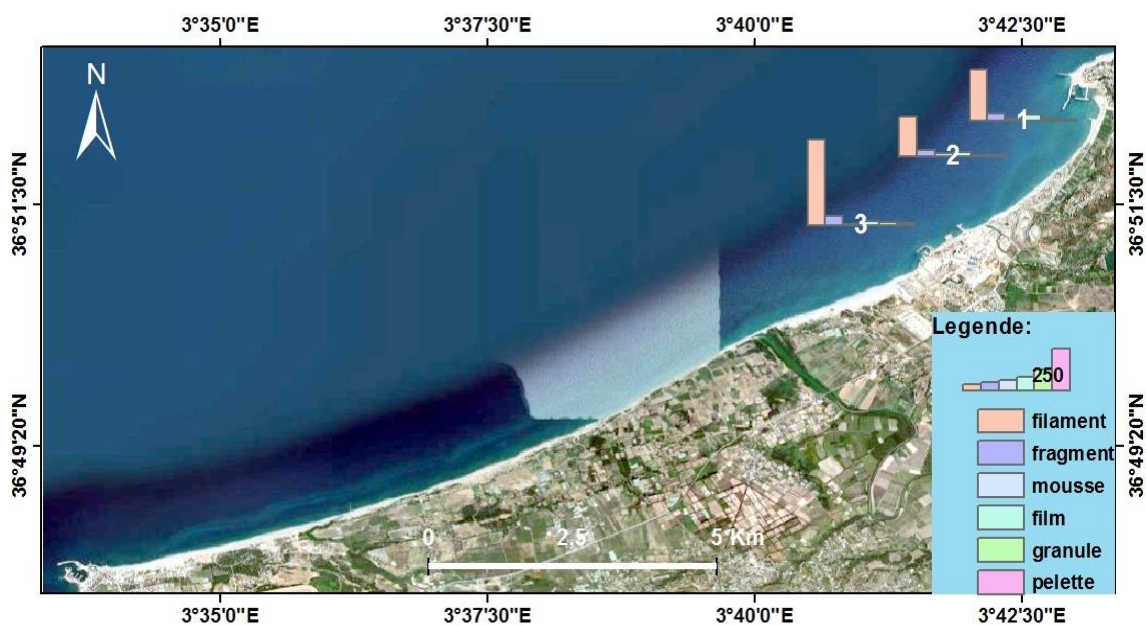


Figure 50 : Distribution des stations analysées

Interprétation

La station un et deux se trouvent auprès de la plage et le port de cap Djinet, nous remarquons que la quantité de microplastique dans ces dernière est presque identique.

Par contre dans la troisième station qui se trouve auprès de la station de dessalement et la central électrique on constate un taux élevé de contamination par rapport aux autres stations ceci peut s'expliquer par la qualité des rejets industriels déversés et la nature des activités dans cette région, c'est-à-dire que ces rejets contiennent des particules des microplastiques plus dense que la matrice d'eau ce qui induit leur sédimentation sur les fonds.

IV-3.3. Sédiment et microplastique

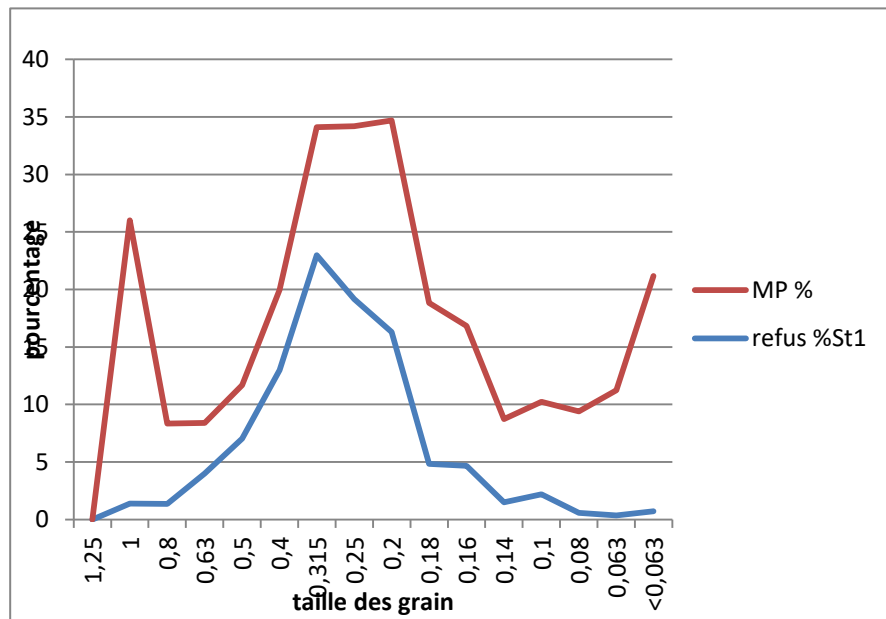


Figure 51 : comparaison entre la quantité de microplastiques et la quantité des sédiments dans chaque refus dans la station 1

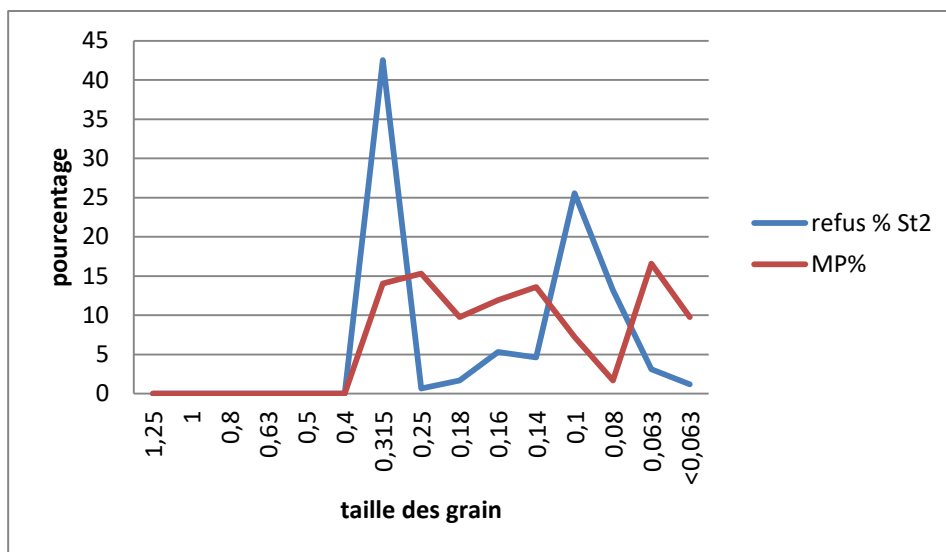


Figure 52 : Comparaison entre la quantité des microplastiques et la quantité des sédiments dans chaque refus dans la station 2

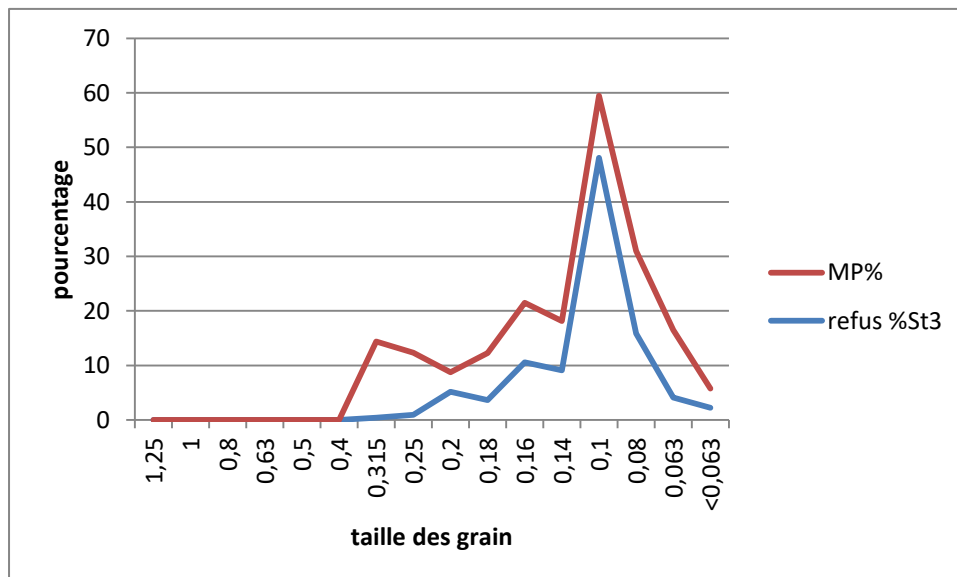


Figure 53 : Comparaison entre la quantité des microplastiques et la quantité des sédiments dans chaque refus dans la station 3

Interpretation

D'après ces trois graphes des 3 stations on remarque que le poids de sédiment dans chaque refus est directement proportionnelle à la quantité de microplastique trouvée, surtout dans la station 3, ce qui paraît très logique : plus la quantité des sédiments est élevée plus la quantité des microplastiques trouvée est importante, de même, plus le maillage diminue plus le taux de microplastiques trouvés est élevé comme montré sur le premier graph.

La forte variation de distribution de microplastiques souligne la grande hétérogénéité du dépôt de ces derniers sur les fonds marins et l'influence probable des conditions océanographiques à une échelle très fine. La petite taille et la densité variable des MP suggèrent que ces petites particules sont facilement transportées par les courants océaniques (Lusher, 2015 ; Kane et al., 2020), les changements climatiques et météorologiques (Welden et Lusher, 2017), le comportement des poissons et des animaux (Davidson, 2012 ; Cózar et al., 2014), le biofouling (Ye et Andrady, 1991 ; Fazey et Ryan, 2016) et la vitesse de remontée flottante (Reisser et al., 2013).

IV-4. Comparaison entre la matrice eau et la matrice sédiment

Tableau 14: Quantification des microplastiques dans la matrice eau

	filament	Fragment	Film	pellette	granule	mousse	total
A-B	141	47	21	3	5	5	222
C-D	179	69	40	24	2	2	316
E-F	113	31	28	5	4	5	186
G-H	111	49	28	13	15	10	226
I-J	532	269	79	5	15	79	973

Tableau 15 : quantification des microplastiques dans la matrice sédiment

	S1	S2	S3
filament	300	230	499
fragment	40	36	51
film	36	20	22
mouse	11	15	6
granule	9	6	14
pelette	5	6	9
total	401	313	601

D'après le traitement des trois stations des sédiments on remarque que cette matrice est plus contaminée par les microplastiques avec une moyenne de 438.33 articles par rapport à la matrice eau qui est de 384.6 articles dans toutes les stations prélevées.

On remarque aussi que le type de microplastique « filament » est en quantité élevée dans les trois échantillons des sédiments traités avec une moyenne de 343 articles, par rapport à la matrice eau qui est de 215.2 articles dans toute les stations, ceci est peut-être dû à la densité élevée des filaments par rapport à l'eau qui permet à ce type de se sédimenter, sauf dans la station « I-J » (matrice d'eau) qui est peut-être dû à d'autres facteurs cité dans les pages qui précèdent, bien que la quantité des autres types de microplastiques dans les sédiment et l'eau se rapproche.

IV- 4.1. Facteurs explicatifs associés au dépôt de microplastiques

Bien que la variance élevée ait rendu difficile la détection des associations spatiales et causales, nous avons constaté que le panache de plastique en surface et celui du fond marin étaient tous deux significativement associés à la densité des microplastiques.

Plus le plastique flottant à la surface près du site d'échantillonnage augmente, plus le nombre de MP dans les sédiments du fond marin augmente pour les station I-J de l'eau de surface et les stations 1 et 2 pour le sédiment, tandis que pour la station 3 des sédiment et E-F de la matrice d'eau : on remarquons que la quantité des microplastiques dans les sédiment est plus importante par rapport à celle d'eau ceci peut être du a la densité élevée des rejets industriels déversés dans le milieu naturel.

Cela suggère que les fragments de plastique flottant dans les couches superficielles de l'océan peuvent, en fait, se déposer au fond, faisant des sédiments benthiques un puits pour ce matériau.

IV – 5. Spectroscopie IR :

La spectroscopie infrarouge (IR) ou infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) offre la possibilité d'identifier précisément les particules de polymère plastique en fonction

de leurs spectres IR caractéristiques (Thompson et al. 2004 ; Ng et Obbard 2006 ; Vianello et al. 2013 ; Harrison et al. 2012 ; Frias et al. 2010 ; Reddy et al. 2006).

La spectroscopie IR tire parti du fait que le rayonnement infrarouge excite les vibrations moléculaires lorsqu'il interagit avec un échantillon. Les vibrations excitables dépendent de la composition et de la structure moléculaire d'une substance et sont spécifiques à la longueur d'onde.

Les types de polymères les plus abondants détectés dans nos échantillons sont le polystyrène (PS) (le plus dominant) le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP)

Quelque spectres de polymères que nous avons trouvés :

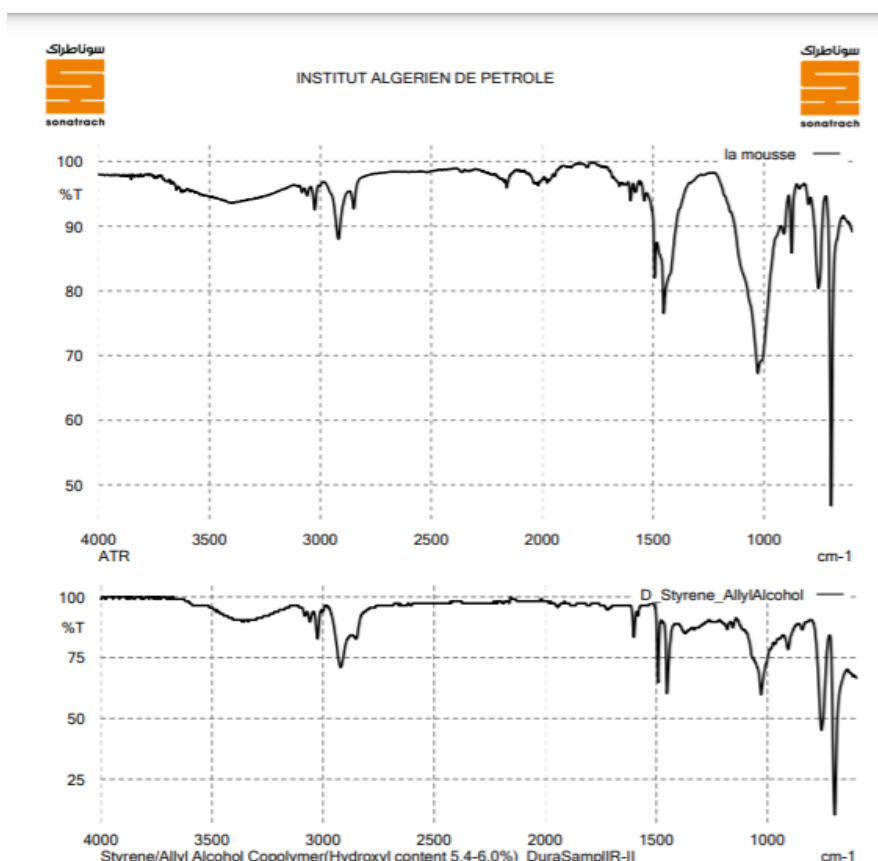
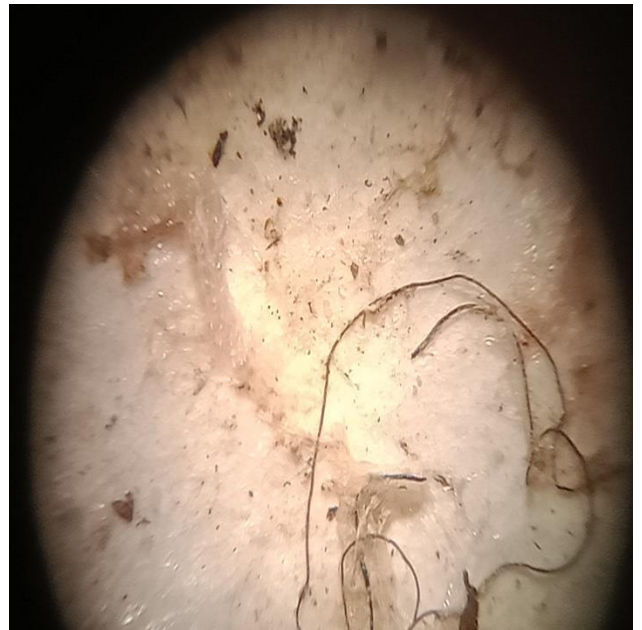


Figure 54 : Spectre de polymère, type : polystyrène

Exemples de polystyrène



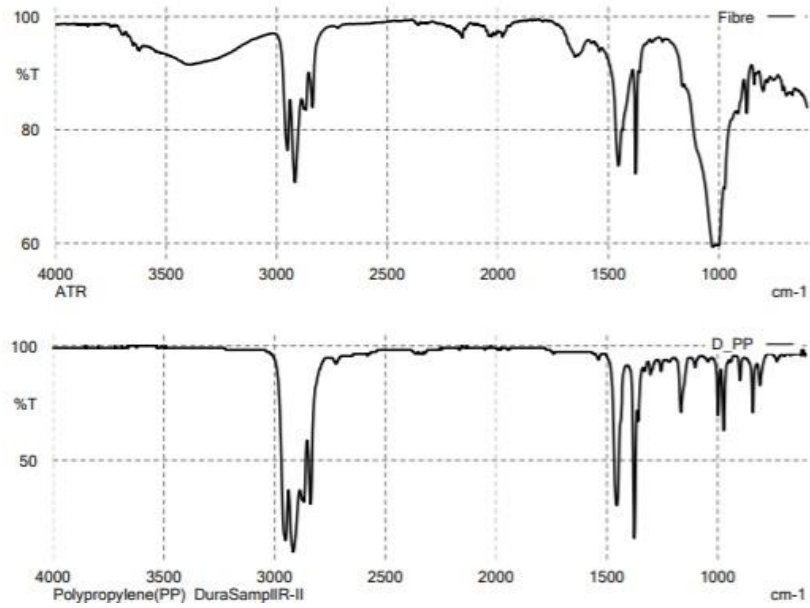


Figure 55 : Spectre de polymère, type : polypropylène

Exemples de polypropylène



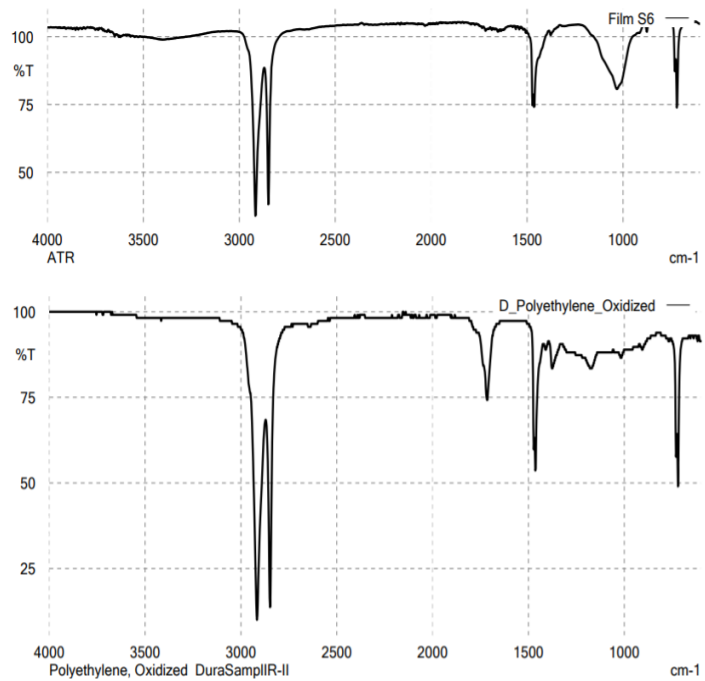


Figure 56 : Spectre de polymère, type : polyéthylène

Exemples de polyéthylène





Conclusion

Conclusion

La recherche de cette étude nous a permis de quantifier les microplastiques au niveau des sédiments marins et de la surface de l'eau dans la baie de Zemmouri. Les résultats obtenus confirment que cette baie renferme des quantités considérables des microplastiques dans les eaux superficielles ou dans les sédiments marins. La cause principale de la présence de microplastiques en grande quantité au niveau de la baie de Zemmouri est l'absence de politique de lutte et de recyclage des déchets plastiques qui se retrouve par la suite au niveau des rejets d'eaux usées et ainsi au final dans le milieu marin.

Les microplastiques ont été échantillonnés à partir des sédiments de surface dans onze stations différentes représentant différentes activités locales. Les microplastiques ont été extraits des échantillons par des méthodes de séparation.

Notre analyse quantitative détaillée a révélé que la distribution des microplastiques était en fonction de la proximité des zones habitées et associée aux effluents d'eaux usées, aux installations industrielles, au rejets des complexes, oued, port, qui se déplacent par la suite avec les courants. Cinq types de microplastiques ont été identifiés, les plus courants étant les fibres, puis les fragments, les granules, les films et les mousses.

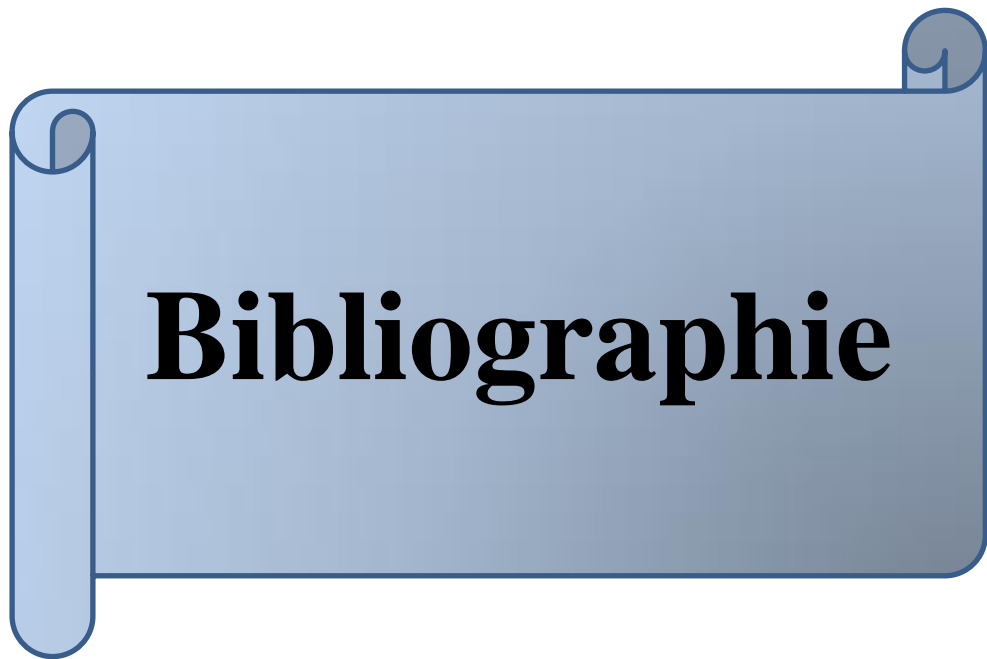
L'étude de la pollution par les microplastiques dans la baie de Zemmouri est mise en place pour la première fois, ce qui fait appel à d'autres recherches pour but de lutter contre cette pollution.

A cet effet, des perspectives devront être proposées et adaptées, en mettant comme objectif :

Recommander aux gestionnaires des wilayas côtières d'imposer la réduction de la pollution à la source : par récupération des déchets plastiques en amont des rejets de toute sorte, par la sensibilisation en insistant sur l'impact sur la dégradation du milieu marin.

Financer la recherche scientifique innovante pour trouver les moyens de dégrader sans perturber le milieu marin les microplastiques qui sont et seront de plus en plus présent à l'avenir en mer.

L'application de ces prospections semble très faible, selon nos recherches et nos expériences en mer, les raisons sont de deux ordres, en premier lieu, l'impuissance des pouvoirs publics devant la pression de l'utilisation de la matière plastique, la seconde est le manque de prise en conscience de la part des responsables de l'intérêt écologique et environnemental, pour cette raison une sensibilisation des responsables est impérative pour une bonne surveillance de notre littoral algérois.



Bibliographie

Bibliographie

Ashton, K., Holmes, L. & Turner, A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.* 60, p.p.2050-2055.

Benjamin et al. (2017). Phthalates impact human health: Epidemiological evidences and plausible mechanism of action. *J. Hazard. Mater.* In Press.

Besseling et al. (2013) Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina*.

Besseling et al. (2014). Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environ. Sci. Technol.* 48, p.p.12336-12343.

Boerger et al. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Mar. Pollut. Bull.* 60,p.p.2275- 2278.

Boucher, C., Morin, M. & Bendell, L. (2016). The influence of cosmetic microbeads on the sorptive behavior of cadmium and lead within intertidal sediments: A laboratory study. *Regional Studies in Marine Science* 3, p.p.1-7.

Bouhamadouche, M. (1993). Sédimentologie du plateau continental Est-Algérois (Boumerdès Boudouaou El Bahri) mémoire de magister. Spécialité : Géologie Marine, Alger :USTHB, p142.

Bouhmadouche, (2012). Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de Zemmouri (Cap-Matifou-Cap Djinet).Thèse de doctorat d'Etat. Spécialité : Géologie Marine, Alger :USTHB, p157.

BOUHMADOUCHE, M. (2015). Distribution des sédiments fins depuis le bassin versant de l'oued Isser à son embouchure en Méditerranée (Boumerdès, Algérie) : 7p.

Bouwman, H. (2016). The flip-or-flop boutique: Marine debris on the shores of St Brandon's rock, an isolated tropical atoll in the Indian Ocean. *Mar. Environ. Res.* 114, p.p.58-64.

Brennecke, D. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 178, p.p.189-195.

Browne et al. (2010) Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines.

Browne et al. (2013) Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity.

Carlo Giacomo Avio, Stefania Gorbi, Francesco Regoli (2016) Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat.

Chemlal, N. (1983). Etude paléo morphologique et hydrogéologique de la vallée du bas Isser (Algérie) thèse de doctorat Grenoble p229.

Cherif AOUDJ et al.(2020). Évolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral centre Algérien : cas de la baie de Zemmouri p11.

Chèvre, N. & Erkman, S. (2011). Alerte aux micropolluants : Pesticides, biocides, détergents, médicaments et autres substances chimiques dans l'environnement.

Critchell et Lambrechts (2016) Modelling accumulation of marine plastics in the coastal zone; what are the dominant physical processes?

Cole et al. (2013) Microplastic Ingestion by Zooplankton.

Cole, M. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science and Technology* 49, p1130-1137.

Derraik, J.G.B. (2002) The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 44,p.p.842-852.

De Witte, B.; Devriese, L.; Bekaert, K.; Hoffman, S.; Vandermeersch, G.; Cooreman, K.; Robbens, K. (2014) – Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1). p.p.46-155. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.006

Eriksen et al. (2014) Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One*, 9 (12): p.111913.

Frias et al. (2010). Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Mar. Pollut. Bull.* 60, p.p.1988-1992.

Fossi et al. (2012). Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Mar. Pollut. Bull.* 64, p.p.2374-2379

Galgani et al. (2013) Une mer propre, mission impossible?: 70 clés pour comprendre les déchets en mer. Versailles, France. Editions Quae, , p170 .

Hidalgo et al. (2012) – Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46:3060-3075. DOI:dx.doi.org/10.1021/es2031505

Holmes, L. A., Turner, A. & Thompson, R. C. (2012). Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environ. Pollut.* 160, p.p.42-48.

Jambeck et al. (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science.* 347, p.p.768-771.

Koelmans et al. (2016) Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies.

LECLAIRE, L.172. La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (précontinent algérien). Paris Sr C. Edition :Mémoire museum Histoire naturelle, p.p.391.

Maouche, S., 1987. Mécanisme hydrosédimentaires en baie d'Alger. Approche sédimentologique géochimique et traitement statistique. Thèse de doctorat, troisième cycle, France : Université de perpignan : p282

MERE (2017) Ministry of the Environment and Renewable Energy. Call for the use of baskets instead of plastic bags.

Nakashima et al. (2016). The potential of oceanic transport and onshore leaching of additive-derived lead by marine macroplastic debris. *Mar. Pollut. Bull.* 107, p.p.333-339

Rios, L. M., Moore, C. & Jones, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar. Pollut. Bull.* 54, p.p.1230-1237.

Rochman, C. M., Hentschel, B. T. & Teh, S. J. (2014). Long-Term Sorption of Metals Is Similar among Plastic Types: Implications for Plastic Debris in Aquatic Environments. *PLoS ONE* 9, e85433.

S.C. Gall, R.C. Thompson (2015) The impact of debris on marine life.

SETITI et al. (2021). Seasonal variation of microplastics density in Algerian surface waters (South-Western Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science*, 22(2), p.p.317-326.

Suaria & Aliani (2014) Floating debris in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 86, p.p.494-504.

Sussarellu et al. (2016). Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proc Natl Acad Sci U S A* 113, p.p.2430-2435.

UNEP/MAP (2015) Marine Litter Assessment in the Mediterranean. Report by United Nations Environmental Programme, p45.

UNEP/MAP (2017) Mediterranean Quality Status Report. Report by United Nations Environmental Programme, p539.

Watts et al. (2015). Ingestion of Plastic Microfibers by the Crab *Carcinus maenas* and Its Effect on Food Consumption and Energy Balance. *Environ. Sci. Technol.* 49, p.p.14597-14604.

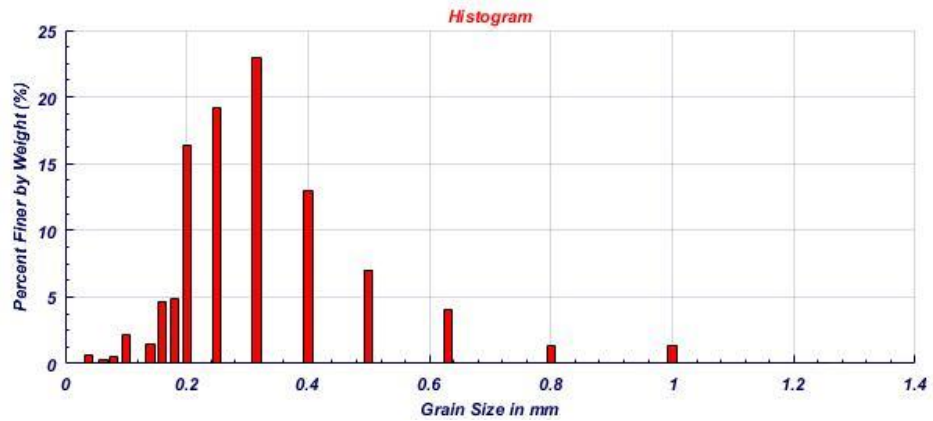
Yonkos et al. (2014) Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, U.S.A.

Zarfl, C. & Matthies, M. (2010). Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Mar. Pollut. Bull.* 60, p.p.1810-1814.

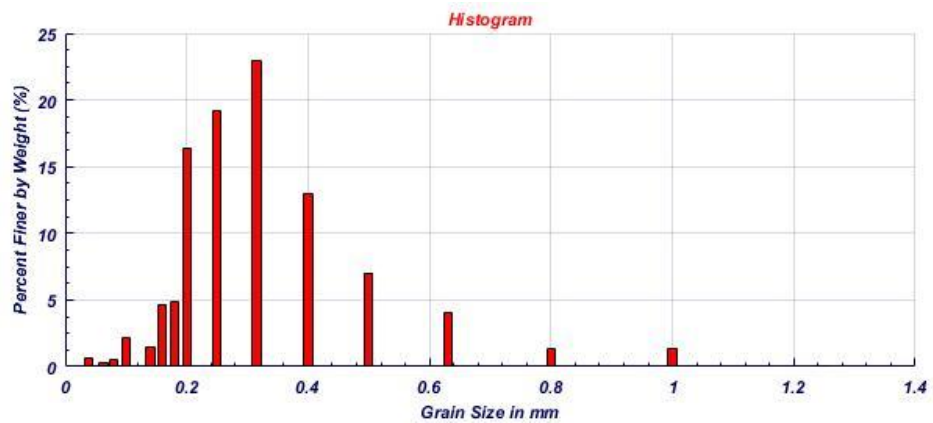


Annexes

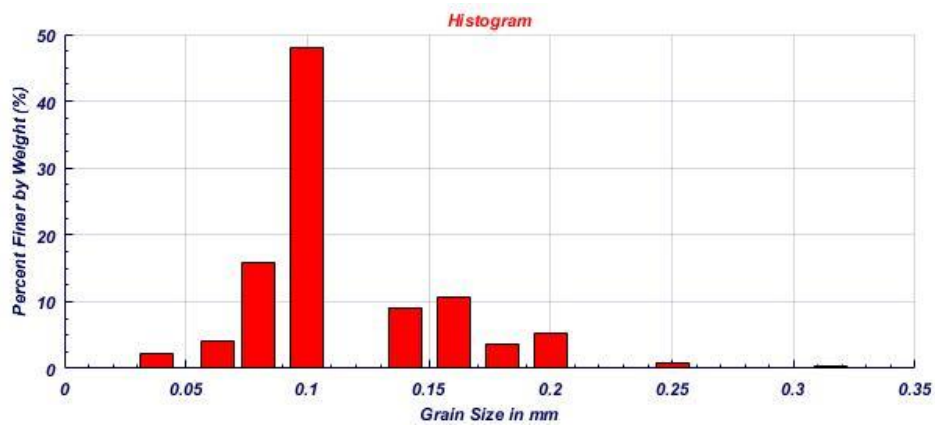
Annexe n°1 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 01



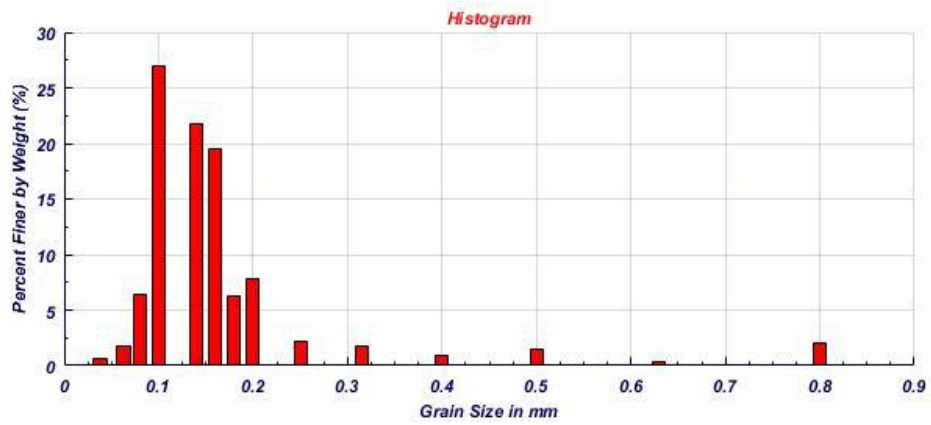
Annexe n°2 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 02



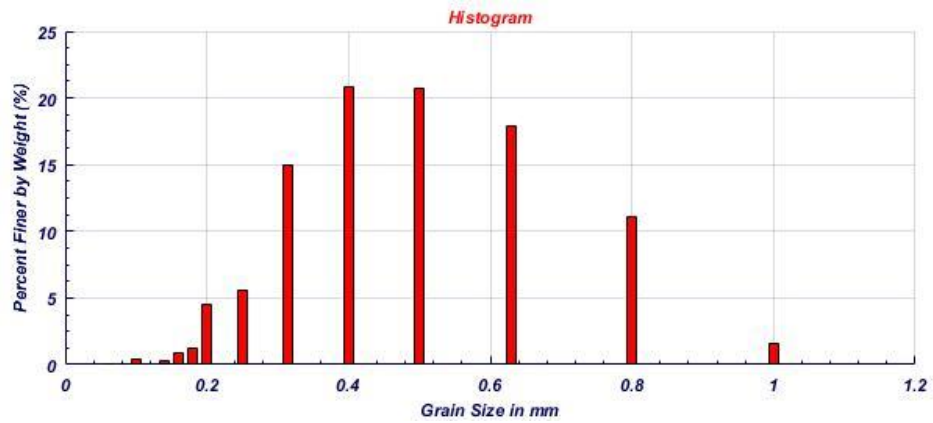
Annexe n°3 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 03



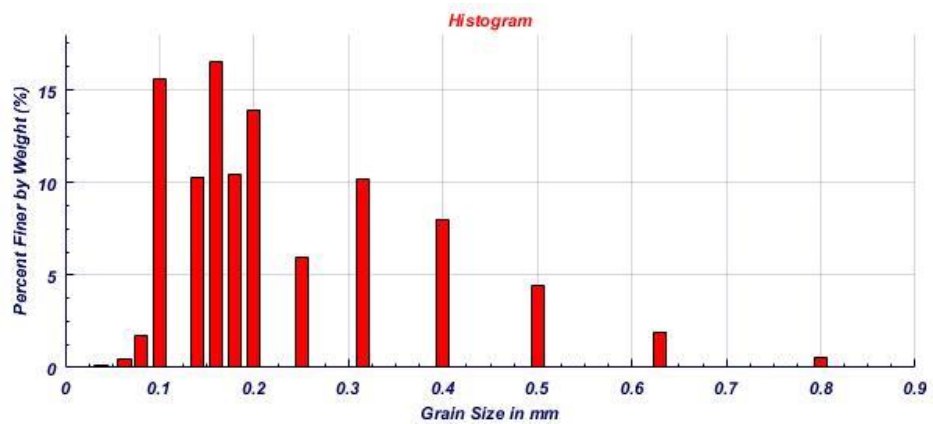
Annexe n°4 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 04



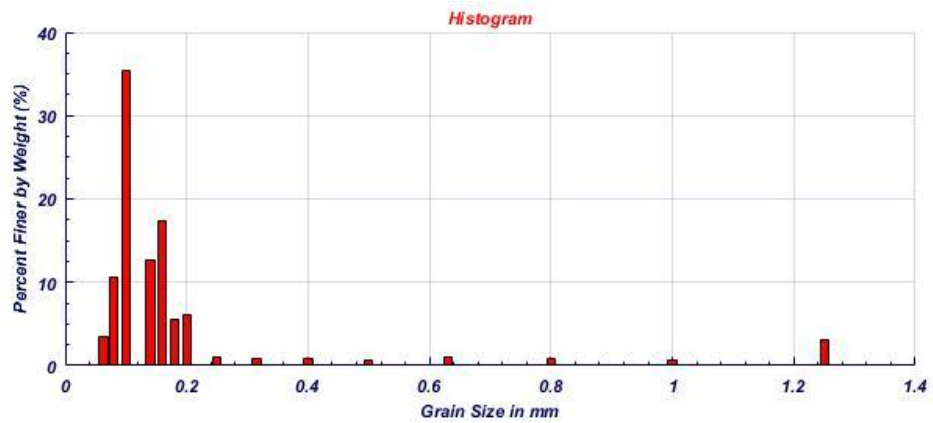
Annexe n°5 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 05



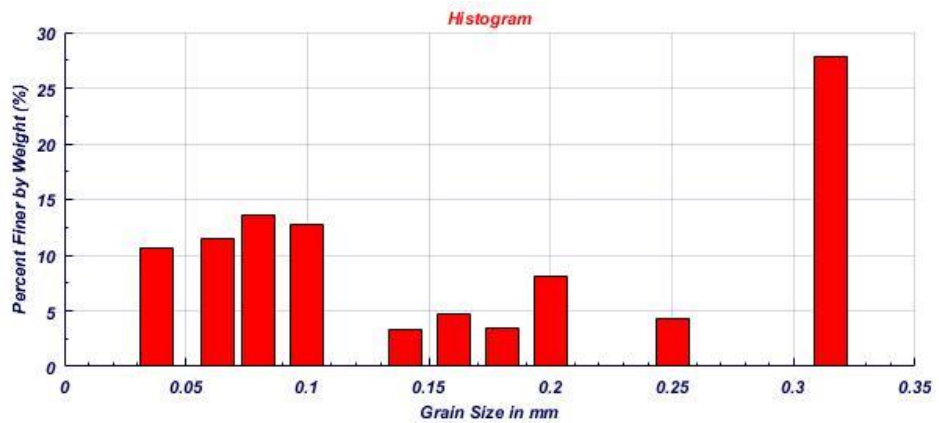
Annexe n°6 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 06



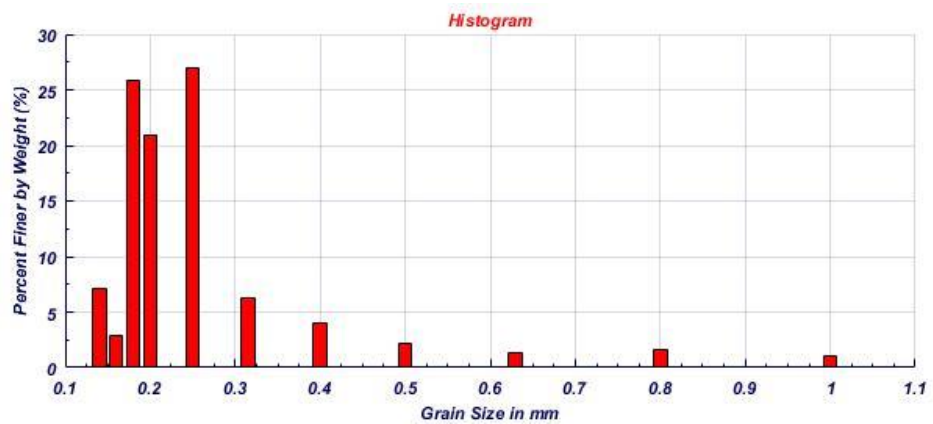
Annexe n°7 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 07



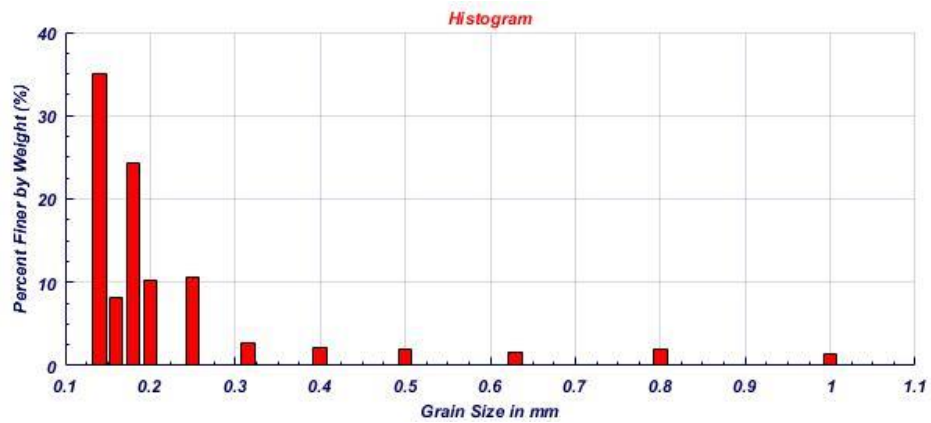
Annexe n°8 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 08



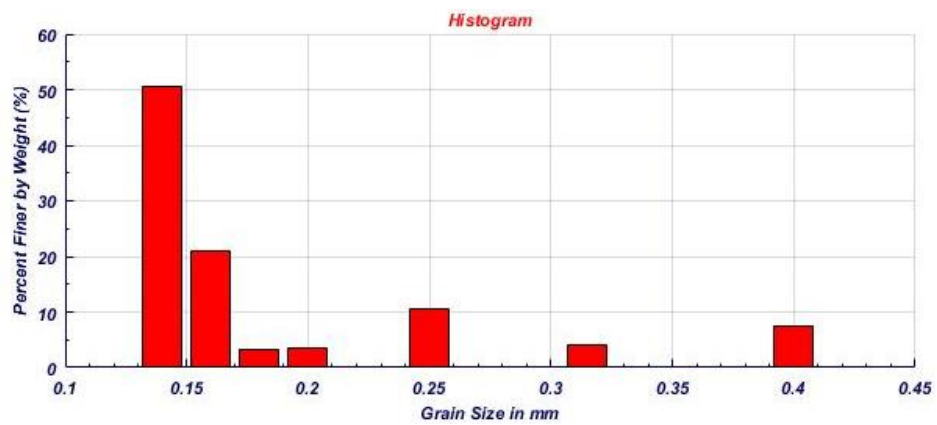
Annexe n°9 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 09



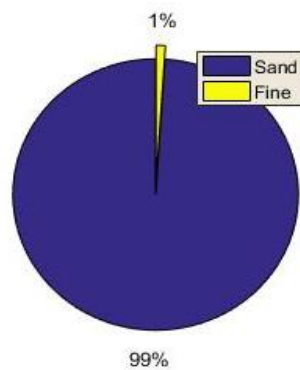
Annexe n°10 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 10



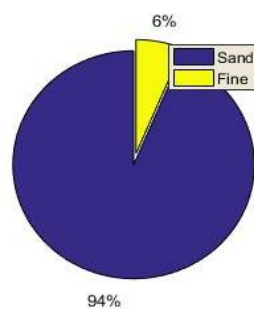
Annexe n°11 : % des grains des sédiments en fonction de leurs tailles de la station 11



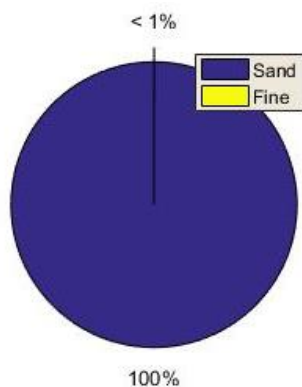
Annexe n°12 : diagramme circulaire des sédiments de la station 01



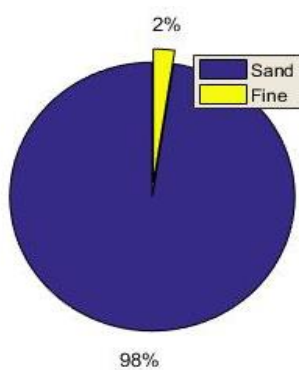
Annexe n°13 : diagramme circulaire des sédiments de la station 02



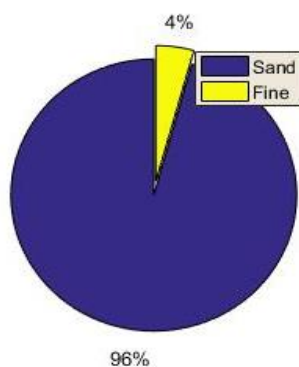
Annexe n°14 : diagramme circulaire des sédiments de la station 03



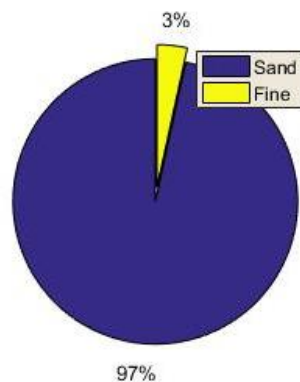
Annexe n°15 : diagramme circulaire des sédiments de la station 04



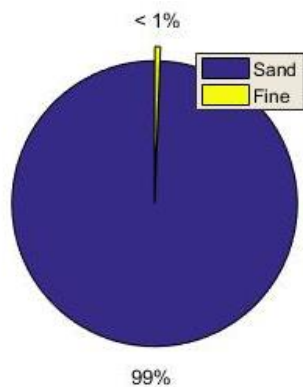
Annexe n°16 : diagramme circulaire des sédiments de la station 05



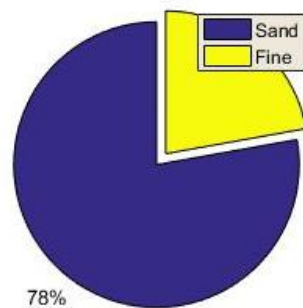
Annexe n°17 : diagramme circulaire des sédiments de la station 06



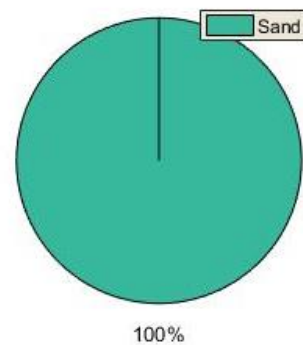
Annexe n°18 : diagramme circulaire des sédiments de la station 07



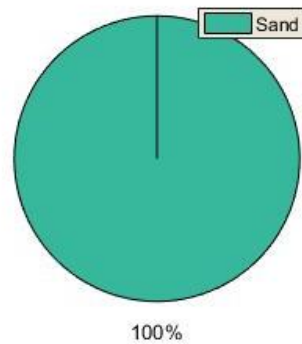
Annexe n°19 : diagramme circulaire des sédiments de la station 08



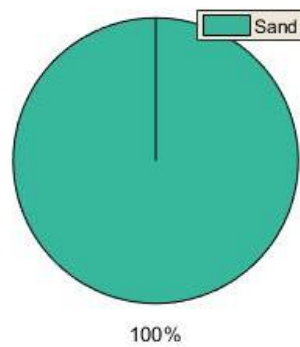
Annexe n°20 : diagramme circulaire des sédiments de la station 09



Annexe n°21 : diagramme circulaire des sédiments de la station 10



Annexe n°22 : diagramme circulaire des sédiments de la station 11



Annexe n°23 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 01

The main results of sieve analysis were:
D 5 (mm) = 0.15793
D 10 (mm) = 0.18041
D 16 (mm) = 0.20448
D 30 (mm) = 0.24668
D 50 (mm) = 0.31417
D 60 (mm) = 0.34706
D 75 (mm) = 0.40949
D 84 (mm) = 0.47645
D 95 (mm) = 0.68208
Mean Grain Size (mm) = 0.31281
Standard Deviation 1.5767
Skewness = 0.98475
Kurtosis = 0.48147
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.97186
Coefficient of curvature (Cu) = 1.9237
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Near symmetrical
Kurtosis Classification = Mesokurtic
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 98.9486
% of Fine = 1.0514
Wentworth classification = Medium sand
USCS classification = SP

Annexe n°24 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 02

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.081763
D 10 (mm) = 0.090744
D 16 (mm) = 0.09789
D 30 (mm) = 0.11632
D 50 (mm) = 0.16753
D 60 (mm) = 0.26166
D 75 (mm) = 0.29841
D 84 (mm) = 0.30925
D 95 (mm) = 0.31456
Mean Grain Size (mm) = 0.17181
Standard Deviation 1.6689
Skewness = 0.99967
Kurtosis = 0.68129
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.5698
Coefficient of curvature (Cu) = 2.8835
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Near symmetrical
Kurtosis Classification = Very platykurtic (flat)
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 95.6878
% of Fine = 4.3122
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°25 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 03

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.076379
D 10 (mm) = 0.086735
D 16 (mm) = 0.094042
D 30 (mm) = 0.1071
D 50 (mm) = 0.12069
D 60 (mm) = 0.12857
D 75 (mm) = 0.14978
D 84 (mm) = 0.16773
D 95 (mm) = 0.20968
Mean Grain Size (mm) = 0.12393
Standard Deviation 1.3675
Skewness = 0.92284
Kurtosis = 0.46671
Coefficient of uniformity (Cc) = 1.0285
Coefficient of curvature (Cu) = 1.4824
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Fine skewed
Kurtosis Classification = Mesokurtic
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 93.6792
% of Fine = 6.3208
Wentworth classification = Very fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°25 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 04

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.09063
D 10 (mm) = 0.10256
D 16 (mm) = 0.11385
D 30 (mm) = 0.13337
D 50 (mm) = 0.15322
D 60 (mm) = 0.16218
D 75 (mm) = 0.17665
D 84 (mm) = 0.20264
D 95 (mm) = 0.39079
Mean Grain Size (mm) = 0.15233
Standard Deviation 1.4736
Skewness = 0.91664
Kurtosis = 0.28255
Coefficient of uniformity (Cc) = 1.0694
Coefficient of curvature (Cu) = 1.5813
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Fine skewed
Kurtosis Classification = Very leptokurtic
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 97.597
% of Fine = 2.403
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°26 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 05

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.22491
D 10 (mm) = 0.28328
D 16 (mm) = 0.33763
D 30 (mm) = 0.41071
D 50 (mm) = 0.50682
D 60 (mm) = 0.56493
D 75 (mm) = 0.67464
D 84 (mm) = 0.76175
D 95 (mm) = 0.91181
Mean Grain Size (mm) = 0.50703
Standard Deviation 1.5476
Skewness = 1.0568
Kurtosis = 0.49128
Coefficient of uniformity (Cc) = 1.0541
Coefficient of curvature (Cu) = 1.9943
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Near symmetrical
Kurtosis Classification = Mesokurtic
ASTM Classification = Medium sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 99.985
% of Fine = 0.015008

Annexe n°27 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 06

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.11145
D 10 (mm) = 0.12528
D 16 (mm) = 0.13612
D 30 (mm) = 0.16253
D 50 (mm) = 0.1889
D 60 (mm) = 0.2127
D 75 (mm) = 0.31507
D 84 (mm) = 0.38901
D 95 (mm) = 0.54307
Mean Grain Size (mm) = 0.21546
Standard Deviation 1.6929
Skewness = 0.78199
Kurtosis = 0.53177
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.99131
Coefficient of curvature (Cu) = 1.6977
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Very fine skewed
Kurtosis Classification = Mesokurtic
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 99.3696
% of Fine = 0.63044
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°28 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 07

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.084238
D 10 (mm) = 0.094053
D 16 (mm) = 0.10285
D 30 (mm) = 0.11891
D 50 (mm) = 0.14086
D 60 (mm) = 0.15695
D 75 (mm) = 0.17318
D 84 (mm) = 0.19574
D 95 (mm) = 0.74876
Mean Grain Size (mm) = 0.14154
Standard Deviation 1.6905
Skewness = 0.82585
Kurtosis = 0.22837
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.95789
Coefficient of curvature (Cu) = 1.6687
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Fine skewed
Kurtosis Classification = Very leptokurtic
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 96.5579
% of Fine = 3.4421
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°29 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 08

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.050961
D 10 (mm) = 0.061759
D 16 (mm) = 0.071394
D 30 (mm) = 0.090504
D 50 (mm) = 0.14944
D 60 (mm) = 0.20074
D 75 (mm) = 0.27255
D 84 (mm) = 0.29612
D 95 (mm) = 0.31298
Mean Grain Size (mm) = 0.14674
Standard Deviation 1.9312
Skewness = 1.0807
Kurtosis = 0.64554
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.66069
Coefficient of curvature (Cu) = 3.2503
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Coarse skewed
Kurtosis Classification = Very platykurtic (flat)
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 77.8165
% of Fine = 22.1835
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°30 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 09

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.15138
D 10 (mm) = 0.18001
D 16 (mm) = 0.18772
D 30 (mm) = 0.19505
D 50 (mm) = 0.23202
D 60 (mm) = 0.25694
D 75 (mm) = 0.28443
D 84 (mm) = 0.31647
D 95 (mm) = 0.55303
Mean Grain Size (mm) = 0.23977
Standard Deviation 1.4141
Skewness = 0.83237
Kurtosis = 0.3885
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.82252
Coefficient of curvature (Cu) = 1.4274
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Fine skewed
Kurtosis Classification = Leptokurtic (peaked)
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 100
% of Fine = 0
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°31 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 10

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.14045
D 10 (mm) = 0.14179
D 16 (mm) = 0.14448
D 30 (mm) = 0.15495
D 50 (mm) = 0.18647
D 60 (mm) = 0.19206
D 75 (mm) = 0.23425
D 84 (mm) = 0.27943
D 95 (mm) = 0.62768
Mean Grain Size (mm) = 0.19599
Standard Deviation 1.5135
Skewness = 0.74539
Kurtosis = 0.382
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.88164
Coefficient of curvature (Cu) = 1.3546
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Very fine skewed
Kurtosis Classification = Leptokurtic (peaked)
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 100
% of Fine = 0
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°32 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 11

The main results of sieve analysis were:

D 5 (mm) = 0.14028
D 10 (mm) = 0.1411
D 16 (mm) = 0.14269
D 30 (mm) = 0.14847
D 50 (mm) = 0.15968
D 60 (mm) = 0.16552
D 75 (mm) = 0.20511
D 84 (mm) = 0.28983
D 95 (mm) = 0.36106
Mean Grain Size (mm) = 0.18761
Standard Deviation 1.3976
Skewness = 0.61378
Kurtosis = 0.45292
Coefficient of uniformity (Cc) = 0.94393
Coefficient of curvature (Cu) = 1.1731
Standard Deviation Classification = Very well sorted
Skewness Classification = Very fine skewed
Kurtosis Classification = Leptokurtic (peaked)
ASTM Classification = Fine sand
% of Gravel = 0
% of Sand = 100
% of Fine = 0
Wentworth classification = Fine sand
USCS classification = SP

Annexe n°33 : Tableau résultats de tamisage de sédiment prélevés Annexe

Taille (mm)	Section 1	refus (kg)	Section 2	refus (kg)	Section 3	refus (kg)	Section 4	refus (kg)	Section 5	refus (kg)	Section 6	refus (kg)	Section 7	refus (kg)	Section 8	refus (kg)	Section 9	refus (kg)	Section 10	refus (kg)	Section 11	refus (kg)
0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7	3,07874418	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	2,77	3,20043248	0	0	0	0	0	4,16	106666,24	0	0	0	5,61	0,891884512	0	0	5,61	1,82180881	5,61	1,244488771	0	0
0,8	2,66	3,24281828	0	0	0	0	2,23	2,74329448	28,16	78787,84	0,87	0,4482818257	2,06	0,651228827	0	0	2,06	1,5797218	2,7	1,82180881	0	0
1,2	7,87	6,88188418	0	0	0	0	0,56	0,472828483	47,82	128731,28	2,1	1,84828182	2,56	1,871428571	0	0	2,06	1,41187148	2,26	1,652874718	0	0
1,6	1,6	7,87411248	0	0	0	0	2,16	2,12848984	54,67	1433266,11	7,06	6,42744887	1,66	0,894281718	0	0	2,28	2,12148984	2,56	1,88821818	0	0
2,0	26,66	12,89187771	0	0	0	0	1,53	1,214771848	84,66	166486,44	12,66	7,84828182	1,66	0,78728887	0	0	8,13	3,82148984	2,07	2,26628817	6,06	7,88284662
2,5	46,77	22,81888182	46,77	42,6222182	0,26	0,4188818215	2,7	2,270181815	28,16	78787,84	18,16	10,1485845	1,86	0,88888888845	27,81	27,8872148	0,7	6,25482881	2,61	2,87487148	2,66	3,87282818
3,0	26,17	16,1818888	8,78	8,78278818	0,57	0,81821828	2,54	3,84282118	14,54	367561,82	8,16	6,82888287	2,3	0,851488817	4,39	4,288487184	41,19	28,84884448	14,32	10,62888221	7,16	10,57488984
3,6	22,16	16,28128888	2,26	2,18782182	2,21	5,771888714	12,53	10,7821881	11,62	311016,88	22,16	13,81288182	14,76	6,12614282	8,13	6,12872545	22,19	20,84812821	12,86	10,2681828	2,32	3,42871182
4,2	8,82	6,82821288	1,61	1,89188814	2,24	3,88882818	0,82	6,62482818	2,12	66666,48	18,61	10,428188	12,21	6,48888288	2,16	3,48882888	48,06	26,8271528	22,07	24,2882487	2,13	3,14588182
4,8	8,28	6,82821288	6,78	6,22482818	1,57	10,5882818	2,16	16,1847488	2,3	57888,8	28,28	16,474128	41,8	17,27874181	4,76	4,78818828	4,6	2,88148181	11,01	6,11188182	14,12	20,63284882
5,4	2,86	1,48821288	4,81	4,18828818	6,83	6,81884828	6,83	16,8118818	0,72	16616,28	18,1	10,2882828	28,86	12,7285814	2,24	3,28821288	11	7,88288877	47,87	16,82214881	24,21	50,42488182
6,0	4,36	2,18818181	27,5	26,552868	28,88	68,8882818	48,82	36,882888	1,06	28816,84	24,78	15,63278184	85,13	26,2888882	12,26	12,28488914	0	0	0	0	0	0
6,6	1,16	0,72828288	14,16	13,5721881	8,41	16,82888182	18,16	6,78842818	0,13	3020,88	2,77	1,2881881	25,13	10,68821282	12,66	13,8821442	0	0	0	0	0	0
7,2	0,71	0,36481818	2,37	3,12188218	2,56	6,18828182	2,81	3,4881828	0,61	1862,82	0,76	0,41888181	3,28	3,44288182	11,54	11,8212828	0	0	0	0	0	0
0,84	1,6	0,78281248	1,27	1,18887758	1,37	2,287188488	0,86	0,658724784	0	0	0	0	0,26	0,182246668	0	0	10,66	10,71524288	0	0	0	0
totale	188,2		187,81		82,07		118,27		282,15		168,28		248,6		88,6		166,06		128,11		87,71	

n°32 : Tableau des indices calculés avec Matlab de la station 1

Résumé

Le plastique fait partie intégrante de notre vie quotidienne, qu'il s'agisse des sacs à provisions ou d'un matériau essentiel pour les infrastructures. Il est largement utilisé en raison de sa durée de vie, attribuée à son incapacité à se dégrader dans l'environnement pendant plusieurs siècles. Au cours des dernières décennies, la production mondiale de plastique n'a cessé d'augmenter, entraînant une grave pollution de l'écosystème aquatique mondial. Les microplastiques (particules de plastique < 5 mm) sont introduits dans les environnements aquatiques directement en tant que matière première industrielle (granulés de plastique, cosmétiques, vêtements) ou indirectement via la fragmentation de plastiques plus grands.

La présente étude porte sur l'évaluation des microplastiques pour la première fois dans la baie de Zemmouri, un écosystème côtier caractérisé par des activités anthropiques intenses. Les principaux objectifs sont :

- 1) évaluer la contamination des matrices environnementales (eaux de surface, sédiments subtidaux) par les microplastiques
- 2) Faire une comparaison entre la quantité trouvée dans les sédiments et les eaux de surface.

Les prélèvements des eaux de surface ont été faits par le filet manta, et ceux des sédiments ont été faits par la benne preneuse. La procédure d'extraction des microplastiques est basée sur la méthode de séparation par densité en utilisant une solution saline saturée de haute densité. En raison du retard pour effectuer la sortie en mer dû à plusieurs obstacles rencontrés et le temps limité pour analyser les prélèvements, une partie des échantillons des sédiments et tous les échantillons de la matrice eau ont été analysés. L'analyse a montré une forte contamination des deux matrices dans la zone étudiée avec une quantité plus élevée dans la matrice sédiment (moyenne de 438.33 articles) par rapport à la matrice eau (moyenne de 384.6 articles) et une dominance des filaments par rapport aux autres types de microplastique.

Dans l'ensemble, ce travail fournit une première évaluation de la contamination par les microplastiques dans la baie Zemmouri, et ouvre des perspectives pour des nouvelles recherches scientifiques pour trouver des solutions à ce problème de pollution.

Abstract

Plastic is an integral part of our daily lives, from shopping bags to an essential material for infrastructure. It is widely used because of its durability, attributed to its inability to degrade in the environment for centuries. In recent decades, global plastic production has been steadily increasing, resulting in severe pollution of the global aquatic ecosystem. Microplastics (plastic particles <5 mm) are introduced into aquatic environments directly as industrial raw material (plastic pellets, cosmetics, clothing) or indirectly via the fragmentation of larger plastics.

The present study focuses on the assessment of microplastics for the first time in Zemmouri Bay, a coastal ecosystem characterized by intense anthropogenic activities.

The main objectives are:

- 1) To evaluate the contamination of environmental matrices (surface waters, subtidal sediments) by microplastics.
- 2) To make a comparison between the amounts found in sediments and surface waters.

Surface water samples were taken by manta net, and sediment samples were taken by grab sampler. The microplastics extraction procedure is based on the high density saturated saline method. . Due to the delay in the sea trip due to several obstacles encountered and the limited time to analyze the samples, a part of the sediment samples and all the samples of the water matrix were analyzed. The analysis showed a high contamination of both matrices in the study area with a higher quantity in the sediment matrix (average of 438.33 items) compared to the water matrix (average of 384.6 items) and a dominance of filament compared to other types of microplastic.

Overall, this work provides a first assessment of the contamination by microplastics in Zemmouri Bay, and opens perspectives for new scientific research to find solutions to this pollution problem.

المخلص

البلاستيك جزء لا يتجزأ من حياتنا اليومية؛ سواء كان أكياس تسوق أو مادة أساسية للبنية التحتية يستخدم على نطاق واسع بسبب عمره الطويل، ويرجع ذلك إلى عدم قدرته على التدهور في البيئة لعدة قرون. على مدى العقود الماضية، زاد الإنتاج العالمي للبلاستيك بشكل مطرد، مما تسبب في تلوث شديد للنظام البيئي المائي العالمي. يدخل البلاستيك الدقيق (جزيئات البلاستيك أقل من 5 مم) في البيئات المائية بشكل مباشر كمواد خام صناعية (حبيبات بلاستيكية، مستحضرات تجميل، ملابس) أو بشكل غير مباشر من خلال تفتيت المواد البلاستيكية الأكبر حجم

تحدث هذه الدراسة في تقييم المواد البلاستيكية الدقيقة لأول مرة في خليج زموري، وهو نظام بيئي ساحلي يتميز بأنشطة بشرية مكثفة. الأهداف الرئيسية هي:

1) تقييم تلوث المصفوفات البيئية (المياه السطحية، الرواسب تحت المائية) بجزيئات البلاستيك الدقيقة، 2) مقارنة الكمية الموجودة في الرواسب والمياه السطحية

تم أخذ عينات المياه السطحية بواسطة شبكة مانتا، وأخذت عينات الرواسب بواسطة مجرفة من نوع فان فين. يعتمد إجراء استخراج جزيئات البلاستيك الدقيقة على طريقة المحلول الملحي المشبع عالي الكثافة. تم تحليل جزء من عينات الرواسب وجميع عينات مصفوفة المياه بسبب التأخير في القيام بالرحلة البحرية بسبب العديد من العوائق والوقت المحدود لتحليل العينات. أظهر التحليل تلوّثاً قوياً للمصفوفتين في منطقة الدراسة بكمية أعلى في مصفوفة الرواسب (متوسط 438.33 جسيم) مقارنة بالمصفوفة المائية (متوسط 384.6 جسيم) وهيمنة الشعيرات مقارنة بأنواع أخرى من البلاستيك الدقيق.

بشكل عام، يوفر هذا العمل أول تقييم للتلوث بالبلاستيك الدقيق في خليج زموري، ويفتح آفاقاً للبحث العلمي الجديد لإيجاد حلول لمشكلة التلوث.