

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'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR ET DE MASTER EN SCIENCES DE LA MER**

OPTION : Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

Thème :

**Conception d'un nouveau engin de
prélèvement des microplastiques en
surface de l'eau de mer**

Présenté par :

BEN LABIDI Moussa

DJEMA Nour el houda

Soutenu le 06/12/2020 devant le jury suivant :

Pr Houma Bachari Fouzia	Présidente	ENSSMAL
Pr Hamdi Boualem	Encadreur	ENSSMAL
Setiti Skander	Co-promoteur	ENSSMAL
Dr Khelifa Nedjma	Examinatrice	ENSSMAL
Adem Amina	Examinatrice	ENSSMAL

Promotion : 2020

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements s'adressent au :

Pr Hamdi Boualem pour avoir proposé, dirigé et suivi constamment l'évolution de ce mémoire. Qu'il trouve dans ces lignes le témoignage de nos respectueuses reconnaissances.

Pr Houma Bachari Fouzia professeur à l'ENSSMAL, qui nous fait l'honneur de présider ce jury.

Dr Khelifa Nedjma et Adem Amina pour avoir accepté d'examiner et d'apporter leurs vives contributions à l'enrichissement de ce travail par leurs commentaires constructifs, leur bon sens et leur expérience.

Nous remercions Mr Setiti Skander pour tous ses efforts et ses conseils lors de la réalisation de ce travail.

Nous remercions vivement Mr Hamza Ali pour ses aides et la confection de l'engin en matériau composite.

Nos sincères remerciements s'adressent à Mr Haider Rabia, pour son accueil et son aide à la réalisation du travail sur terrain.

Nous remercions aussi Mr Ahab Samir et tous les membres du club EL MORDJAN.

Un grand merci également à notre amie Medjoubi Wafa pour son aide.

Nous exprimons notre gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

*À mon cher père et ma chère mère pour tous ce qu'ils ont faits pour moi
durant mes études*

À mes frères et sœur

À ma chère amie et binôme

Mes professeurs de l'ENSSMAL

À mes amies et à toutes les personnes qui m'ont connue

Moussa

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à ma première école dans la vie mes grands-
parents*

*À mon père et ma chère mère qui m'ont donné la vie, le symbole de
tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite*

*À ma sœur Nada, mes cousines Amel et Amira qui n'ont jamais arrêté de
m'aider et de m'accompagner dans ce long chemin*

À mes adorables Halla et Hana, à mon frère et mes chères tantes

À mon binôme et mes amis.

À tous ceux qui m'aiment

À tous ceux que j'aime

Nour el houda

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Production mondiale de matière plastique (en Mt) entre 1950 et 2015. Cette production inclut la production de résine et la production de fibres plastiques. D’après Geyer et al. (2017).	7
Figure 2 : Composition moyenne nationale des déchets ménagers et assimilés en Algérie (AND et Kehila, 2016).	8
Figure 3 : Les catégories de microplastiques (1 :fragments ; 2 :films ; 3 :pastilles ; 4 :granulés ; 5 :filaments ; 6 :mousses) (KovačViršek et al., 2016).....	10
Figure 4 : Rejets de microplastiques primaires dans les océans par sources (en%)(Boucher et Friot, 2020).	13
Figure 5 : Rejets mondiaux dans les océans : comparaison des microplastiques primaires avec les plastiques issus de déchets mal géré (Boucher et Friot, 2020).	15
Figure 6 : Schéma des voies de dégradation des polymères plastiques dans l’environnement aquatique avec les processus impliqués et les étapes intermédiaires avant une minéralisation complète (Klein et al., 2018).	17
Figure 7 : Estimation de la densité de microplastiques (PM/km ²) à la surface des océans. D’après van Sebille et al. (2015).	20
Figure 8 : Les types des chaluts flottants : chalut AVANI, chalut Manta et le chalut DiSalvo. (Eriksen et al., 2018)	22
Figure 9 : Matériau composite (Berthelot, 1992).	23
Figure 10 : Schéma de principe du procédé d’étirage mécanique ou silionne (Berthelot, 2013)	28
Figure 11 : chaine et trame d’un tissu	29
Figure 12 : Les principaux types d’armures utilisées pour le tissage des tissus	29
Figure 13 : Situation géographique de la baie d’El Djamila (ArcGis, 2020).	31
Figure 14 : Localisation de l’Oued Béni Messous et son embouchure (ArcGis, 2020).....	32
Figure 15 : courantologie générale dans la baie d’El Djamila (Google Earth, 2011).....	33
Figure 16 : Représentation des différentes parties de l’engin de prélèvement.....	34
Figure 17 : Représentation du socle du filet Manta	36
Figure 18 : Représentation de la coque du filet Manta	36
Figure 19 : Représentation du filet neustonique en tissu	37
Figure 20 : Ceinture en aluminium servant de fixer le filet	37
Figure 21 : Vis pour fixer les coques et le filet	38

Figure 22 : écrou pour fixer les coques et le filet.....	38
Figure 23 : Collecteur en PVC du filet Manta	39
Figure 24 : Collecteur en toile du filet Manta	39
Figure 25 : La structure générale du filet Manta en composite.....	40
Figure 26 : Les coques et le socle du filet	41
Figure 27 : Moulage au contact.....	44
Figure 28 : Localisation des stations de prélèvement (Google Earth, 2020)	48
Figure 29 : Protocole de collecte des microplastiques en mer	50
Figure 30 : Méthode de quantification des microplastiques	53
Figure 31 : Filet Manta.....	55
Figure 32 : Résultat du test 1.....	55
Figure 33 : Résultat de la séparation des macrodéchets.....	57
Figure 34 : Les catégories des microplastiques sous la loupe.....	58
Figure 35 : l'abondance des microplastiques par catégorie dans la station 1	59
Figure 36 : l'abondance des microplastiques par catégorie dans la station 2	60
Figure 37 : l'abondance des microplastiques par catégorie dans la station 3	61
Figure 38 : la répartition des microplastiques par catégorie dans la station 1	62
Figure 39 : la répartition des microplastiques par catégorie dans la station 2	63
Figure 40 : la répartition des microplastiques par catégorie dans la station 3	63
Figure 41 : l'abondance des microplastiques dans des zones en méditerranée.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les caractéristiques des plastiques de grande diffusion selon leur usage dans la société (densité eau de mer en surface : 1,027, pour une salinité de 35 à 10°C) (Andrady, 2011; Lithner et al., 2011; Plastics Europe, 2016).	6
Tableau 2 : Classement par taille des particules de plastique (De Witte et al., 2017).	9
Tableau 3 : Propriétés des coques du filet Manta	56
Tableau 4 : l'abondance des microplastiques dans la station 1	59
Tableau 5 : l'abondance des microplastiques dans la station 2	60
Tableau 6 : l'abondance des microplastiques dans la station 3	61
Tableau 7 : Catégories des microplastiques, indicatrices de leur usage	64
Tableau 8 : Des données sur la concentration des microplastiques recueillies en Méditerranée à l'aide d'un chalut Manta.	65

LISTE DES ABREVIATIONS

HAP	Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques
MP	Microplastiques
Mt	Millions de tonnes
PCB	Polychlorobiphényles
PM	Particules Microplastiques
POP	Polluants Organiques Persistants
PRF	Polymère Renforcé de Fibres
PRV	Polymère Renforcé de Verre
UV	Ultra-violet
AVANI	All-purpose Velocity Accelerated Net Instrument (Instrument de filet à vitesse accélérée polyvalent)

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES ABREVIATIONS	VII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : Généralités.....	1
1. Généralités.....	4
1.1. Introduction à la science des polymères	4
1.1.1. Définition	4
1.1.2. L’histoire des polymères	4
1.1.3. Types de polymères plastiques et leurs caractéristiques	4
1.1.4. Les principaux polymères	5
1.1.5. Production en masse du plastique	7
1.1.6. Le plastique en Algérie	8
1.2. Microplastiques	9
1.2.1. Définition et limite de taille	9
1.2.2. Catégories de particules microplastiques	9
1.2.3. Sources et origines	11
1.2.3.1. Source primaire	11
1.2.3.2. Sources secondaires de microplastiques	14
1.2.4. Dégradation des microplastiques en mer	15
1.2.4.1. La dégradation physique	15
1.2.4.2. La dégradation chimique	16
1.2.4.3. La dégradation biologique en mer	16
1.2.5. Effets néfastes des microplastiques.....	17
1.2.5.1. Macro- et microplastiques en tant que dangers physiques	17
1.2.5.2. Microplastiques en tant que dangers chimiques.....	18
1.2.6. Distribution des microplastiques à la surface des océans	20

1.3. Outil de prélèvement des microplastiques	21
1.3.1. Le chalut AVANI.....	21
1.3.2. Le chalut Manta	21
1.3.3. Le chalut DiSalvo	21
1.4. Matériaux composites.....	22
1.4.1. Définition	22
1.4.2. Caractéristiques générales.....	22
1.4.3. Intérêt des matériaux composites.....	23
1.4.4. Les Éléments Constituants d'un Matériau Composite	24
1.4.4.1. Les résines	24
1.4.4.2. Les charges et les additifs.....	26
1.4.4.3. Les fibres et tissus	27
1.5. Application marine des matériaux composites	29
CHAPITRE II : Matériel et Méthodes	31
1. Zone d'étude	31
1.1. Situation géographique	31
1.2. Situation Hydrographique	31
1.3. Données climatiques et météorologiques.....	32
1.3.1. Pluviométrie	32
1.3.2. Le vent.....	33
1.3.3. Température	33
1.4. Courantologie.....	33
2. Conception de l'engin de prélèvement des microplastiques	34
2.1. Filet Manta	34
2.2. Structure Générale de l'engin (filet Manta)	34
2.3. Dimensionnement de l'engin	41
2.4. Mode de réalisation de l'engin.....	41

2.5. Les étapes de la fabrication	43
2.6. Conditions de déploiement du chalut en mer et sa manière d'application.....	46
3. Quantification	48
3.1. Protocole d'échantillonnage de microplastiques à la surface de la mer	48
3.1.1. Matériels utilisés	49
3.1.2 Méthodologie de travail (sur terrain)	49
3.2. Séparation des microplastiques à partir des échantillons de surface de la mer.....	50
3.2.1. Matériels utilisés	51
3.2.2. Méthodologie de travail (au laboratoire).....	52
CHAPITRE III : Résultats et Discussion	54
1. Filet Manta.....	55
1.1. Tests du filet.....	55
1.2. Propriétés des coques du filet Manta	56
2. Quantification	57
2.1. L'observation visuelle.....	57
2.2. Représentation des résultats de l'identification et la quantification visuelle pour chaque station.....	58
2.3. La répartition des catégories de microplastiques dans chaque station.....	62
2.4. Comparaison des résultats avec les études précédentes.....	65
Conclusion.....	67
Bibliographie.....	i
Annexes	x
Résumé.....	xiv

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les plastiques ont changé notre façon de vivre. Inventés au XX^{ème} siècle, ils sont légers, durables et peu chers. Leurs nombreux avantages ont conduit à leur utilisation dans une myriade d'applications, allant de produits personnels et ménagers, aux produits d'emballage et les ont rendus irremplaçables et omniprésents dans notre vie quotidienne.

En conséquence, la production mondiale de plastique a augmenté de façon exponentielle depuis les années 1950 (**Andrady, 2011**). Alors qu'une partie des déchets en plastique est correctement gérée (par combustion ou recyclage), il a été estimé que des millions de tonnes de déchets plastiques finissent dans l'environnement marin (268 940 tonnes en 2014 ; **Eriksen et al., 2014**). Les plastiques représentent de 50 à 80% des déchets marins, ces déchets marins sont liés à la forte densité de population sur les côtes continentales (**Barnes et al., 2009**).

Ce matériau n'apparaît pas uniquement sous forme de déchets solides, mais aussi de microplastiques, qui constituent aujourd'hui une menace majeure pour la santé humaine et animale. Le plastique pollue non seulement nos routes, nos forêts, nos montagnes, mais aussi nos océans.

La composante nécessaire pour protéger le milieu marin est la caractérisation des différents types de déchets, tels que les microplastiques, dans l'environnement marin, car cela peut aider à comprendre les sources des déchets et fournir une base de référence pour la surveillance et l'évaluation futures des mesures préventives. Il n'existe actuellement aucune méthode normalisée pour l'échantillonnage des microplastiques dans un quelconque compartiment environnemental. Toutefois, une méthode fréquemment utilisée pour l'échantillonnage des microplastiques dans les eaux de surface est l'utilisation d'un filet neuston ou d'un chalut Manta avec les maillages les plus couramment utilisés entre 300 et 390 μm (**Hidalgo-Ruz et al., 2012 ; Li et al., 2018**). Une autre technique consiste à pomper de l'eau à travers des filtres de maillages différents à l'aide d'une pompe stationnaire ou immergée (**Norén et al., 2009 ; Setälä et al., 2016 ; Zobkov et al., 2019**). Le filet Manta est un dispositif indispensable pour prélever et piéger les microplastiques en surface de l'eau de mer, ce dernier n'est pas disponible en Algérie et onéreux à l'étranger, d'où vient l'intérêt de la conception d'un chalut Manta en Algérie.

L'équipe du Professeur Hamdi B du laboratoire LCVRM a fabriqué 2015 pour la première fois en Algérie un flet Manta en inox qui a servi à mener plusieurs études dans la baie de Bousmail et la baie d'Alger. Ce dernier a plusieurs inconvénients, notamment son poids excessif, sa résistance lors de sa traction par l'embarcation et sa non-flottabilité.

Dans cette étude, nous avons tenté de fabriquer un chalut Manta original en matériau composite ; porté par des coques de forme aérodynamique. L'objectif est de fabriquer un chalut Manta qui flotte dans l'eau, léger, résistant, non corrosif et peut être tracté avec des vitesses élevées. Pour tester les performances de ce nouvel engin, une sortie en mer a été organisée sur une embarcation dans la baie d'El Djamila.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est composé de trois chapitres à savoir :

- Un premier chapitre consacré à une synthèse bibliographique sur :
 - Les microplastiques, rappelant leurs caractéristiques ainsi que leurs sources et impacts sur le milieu marin.
 - Les matériaux composites et leur intérêt dans les applications marines.
- Le second chapitre aborde deux parties :
 - Une description générale de la zone d'étude, concernée par ce travail.
 - Les matériaux utilisés et les étapes de fabrication de l'engin, ainsi que le matériel et les méthodes appliquées pour le prélèvement et la quantification des microplastiques en surface de l'eau.
- Le troisième chapitre présente les résultats obtenus à l'issue du déploiement du filet Manta en mer et de l'analyse des microplastiques ainsi que leur interprétation.

CHAPITRE I : Généralités

1. Généralités

1.1. Introduction à la science des polymères

1.1.1. Définition

Cette partie vise à rappeler les notions de base de la science des polymères. Tout d'abord, il est nécessaire de définir le terme « polymère ».

La définition proposée ici correspond aux recommandations de l'International Union of Pure and Applied Chemistry (**IUPAC, 1996**). Un polymère est un matériau organique défini comme une macromolécule essentiellement composée d'une succession d'entités moléculaires de grande taille. Celles-ci sont générées par l'assemblage covalent d'un grand nombre d'unités répétitives ; plus communément appelées monomères, eux-mêmes constitués d'un certain nombre d'atomes.

La plupart des polymères sont dérivées de la polymérisation de molécules extraites du pétrole ou du gaz naturel.

1.1.2. L'histoire des polymères

L'histoire des polymères peut se résumer en trois avancées majeures : la découverte des polymères naturels directement issus de la biomasse, la réalisation des polymères artificiels après la modification chimique des polymères naturels, tout en préservant leur squelette macromoléculaire, et enfin la création de polymères synthétiques entièrement créés par l'Homme (**Fontanille and Gnanou, 2014**). Parmi les polymères naturels, les principaux matériaux organiques sont de la famille des polysaccharides (cellulose, amidon) et des protéines (laine, soie). Cependant, la rareté et le coût de certains matériaux (soie, ivoire) ont amené les scientifiques à modifier chimiquement les polymères naturels et à créer ainsi les polymères artificiels (celluloïd, soie artificielle, acétate de cellulose, galalithe) (**Fontanille and Gnanou, 2014**).

En 1907, le chimiste américain d'origine belge L.H. Baekeland découvrit le premier polymère synthétique thermodurcissable, la bakélite (polymère formo-phénolique), et mit en place le premier procédé industriel de production d'un polymère synthétique (**Seymour et al., 1989**).

1.1.3. Types de polymères plastiques et leurs caractéristiques

Les polymères plastiques sont classés en trois grandes catégories : les thermodurcissables,

les thermoplastiques et les élastomères. La différence principale entre ces catégories de polymères est due à leur structure et aux liaisons intermoléculaires (**Aucher, 2009**).

➤ *Les thermodurcissables*

Sont des plastiques qui possèdent des liaisons chimiques covalentes, c'est-à-dire très fortes et qui ont des formes tridimensionnelles. Ces plastiques sont mis en forme sous l'action de la chaleur et cette transformation est irréversible (**Chatain, 1998b**).

➤ *Les thermoplastiques*

Ont une structure linéaire et peuvent être modelés de manière réversible. En effet, à forte température ces polymères deviennent malléables et la diminution de la température les rend solides (**Chatain, 1998a**).

Les polymères thermoplastiques sont les plus abondants car ils représentent 90% des applications des polymères plastiques (**Plastics Europe, 2016**).

➤ *Les élastomères*








Sont des polymères présentant des propriétés élastiques qui supportent de grandes déformations et peuvent retrouver leur forme après étirement. Les principaux élastomères sont le caoutchouc et le néoprène.

1.1.4. Les principaux polymères

Sur la cinquantaine de polymères plastiques différents, seuls six sont produits de manière industrielle (**Andrady et Rajapakse, 2017**). Ces polymères plastiques sont aussi appelés les polymères de commodité ou de grande diffusion et sont les suivants : le Polyéthylène (PE) (comprenant le Polyéthylène Haute Densité (PEHD) et le Polyéthylène Basse Densité (PEBD)), le Polypropylène (PP), le Polystyrène (PS), le Polychlorure de vinyle (PVC), le Poly (téréphtalate d'éthylène) (PET) et le Polyuréthane (PUR).

Parmi ces six polymères seul le PUR est un plastique thermodurcissable. Ces six polymères, appelés aussi « Big Six », représentaient plus de 80% de la demande de plastique en Europe en 2016 (**Plastics Europe, 2018**). Ils sont utilisés pour différentes applications de par leurs caractéristiques différentes : monomère de base et densité par exemple (**Tableau 1**).

Tableau 1: Les caractéristiques des plastiques de grande diffusion selon leur usage dans la société (densité eau de mer en surface : 1,027, pour une salinité de 35 à 10°C) (Andrady, 2011; Lithner et al., 2011; Plastics Europe, 2016).

Polymères	Densité	Utilisation	Symbole de Recyclage
Polyéthylène téréphtalate (ou Polyester) (PET)	1,37	Bouteilles	
Polyéthylène haute densité (PEHD)	0,94	Sacs plastiques, filets, gaines de câbles électriques, pailles	
Polychlorure de vinyle (PVC)	1,38	Contenants produits ménagers, cosmétiques et alimentaires, emballages alimentaires, équipement médical, chaussures	
Polyéthylène basse densité (PEBD)	0,91 - 0,93	Bouteilles, contenants alimentaires	
Polypropylène (PP)	0,85 - 0,93	Cordes, bouchons de bouteilles, filets, pare-choc de voiture, pots de fleur, dossiers	
Polystyrène (PS) et polystyrène expansé (PS-E)	0,01 - 1,05	Vaisselle jetables, emballages alimentaires, emballages Pharmaceutiques	
Autres (PUR, ABS, PBT, PC, PMMA, PTFE)	-	DVD, lunettes de soleil, coques d'ordinateurs, nylons, biberons, vêtements, équipement médical	

1.1.5. Production en masse 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 (**Figure 1**).

Entre 1950 et 2016, la production mondiale de matières plastiques hors fibres plastiques est passée de 1,5 MT à 325MT, ce qui a représenté une augmentation de 49% depuis 2004 où la production était de 225 millions de tonnes (**Plastics Europe, 2016, 2018**). Il est important de noter que ces chiffres n'ont pas pris en compte les fibres synthétiques. En effet, en 2013 la production de fibres synthétiques était de 54 millions de tonnes (**Industrie vere inigung Chemie faser, 2013**). Les estimations prédisent un doublement de la production mondiale de matière plastique d'ici à 2025, si aucune mesure de réduction n'est prise (**World Economic Forum, 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 %) (**Plastics Europe, 2013, 2016**).

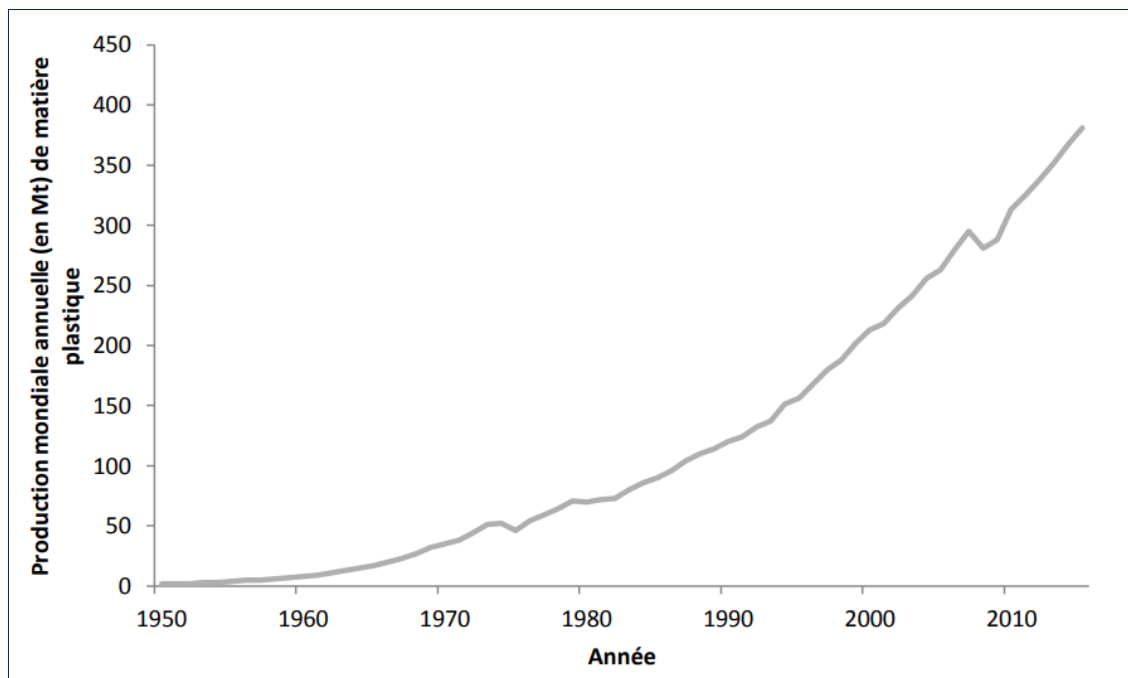


Figure 1: Production mondiale de matière plastique (en Mt) entre 1950 et 2015. Cette production inclut la production de résine et la production de fibres plastiques. D'après Geyer et al. (2017).

1.1.6. Le plastique en Algérie

L'Algérie est le cinquième consommateur des sacs en plastique dans le monde avec près de 7 milliards de sacs utilisés annuellement, au moment où le plastique représente, faute d'une industrie de recyclage, 60 à 80% des déchets sont déversés dans le milieu marin national.

L'Algérie a importé 2,03 milliards de dollars d'intrants pour l'industrie de plastique en 2017, contre 1,9 milliards de dollars en 2016 et 1,7 milliards en 2015, d'après les chiffres du Centre national de l'informatique et des statistiques des Douanes (CNIS). Avec un taux de croissance des importations de 13% annuellement entre 2007 et 2015, l'Algérie est devenue le plus grand importateur africain de plastiques sous formes primaires (Salons Plast Alger et Print Pack Alger 2018).

Au cours des dix dernières années, la consommation par personne du plastique en Algérie a augmenté d'environ 9% par an passant de 10 kg en 2007 à 23,1 kg en 2017. Elle devra atteindre 25,8 kg en 2020. Près de 60% de cette consommation est représentée par l'emballage, 20% par la construction et le reste par diverses industries (AND et Kehila, 2016). (Figure 2).

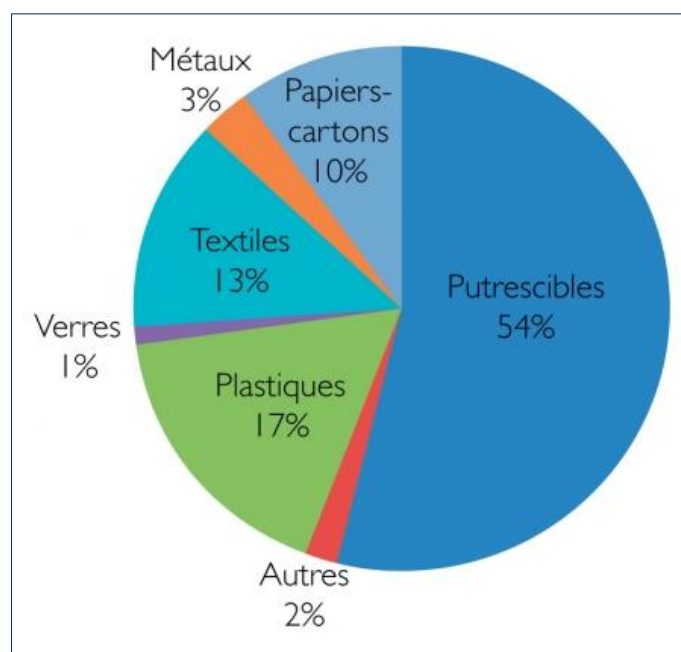


Figure 2 : Composition moyenne nationale des déchets ménagers et assimilés en Algérie (AND et Kehila, 2016).

1.2. Microplastiques

1.2.1. Définition et limite de taille

Il n'existe à ce jour aucune définition internationalement reconnue des microplastiques. On les définit souvent comme de petites particules de plastique allant de 0.1 μm à 5 mm de diamètre (GESAMP, 2015; EFSA, 2016; European Chemicals Agency, 2019).

Un classement du plastique se fait par taille (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Classement par taille des particules de plastique (De Witte et al., 2017).

	Diamètre des particules
Macroplastique	> 25 mm
Mesoplastique	5-25 mm
Microplastique	0.1 μm -5 mm
Nanoplastique	0.001-0.1 μm

1.2.2. Catégories de particules microplastiques

les particules microplastiques sont classées en six catégories en fonction de leurs caractéristiques visuelles (KovačViršek et al., 2016).

- La première catégorie, la plus abondante, sont des fragments (**figure 3.1**). Ils sont rigides, d'épaisseur variable, avec des bords tranchants tordus et une forme irrégulière. Ils peuvent être de couleurs différentes.
- La deuxième catégorie comporte des films (**figure 3.2**). Ils apparaissent également dans des formes irrégulières, mais en comparaison avec les fragments, ils sont minces, flexibles et généralement transparents.
- La troisième catégorie est celle des pastilles (**figure 3.3**), provenant généralement de l'industrie des plastiques. Ils sont irréguliers, de formes rondes, et normalement plus grand en taille, autour de 5 mm de diamètre. Ils sont généralement à plat sur un côté et peuvent être de différentes couleurs.
- La quatrième catégorie est constituée de granulés (**figure 3.4**). En comparaison avec les pastilles, ils ont une forme ronde, régulière et généralement d'une taille plus petite,

d'environ 1 mm de diamètre. Ils apparaissent dans des couleurs naturelles (Blanc, beige, marron).

- La cinquième catégorie correspond aux filaments (**figure 3.5**). Ils peuvent être courts ou longs, avec différentes épaisseurs et couleurs.
- La dernière catégorie est celles des mousses (**figure 3.6**). Elles proviennent le plus souvent de grosses particules de styromousse. Elles ont une forme irrégulière, elles sont douces et de couleur blanche à jaune.

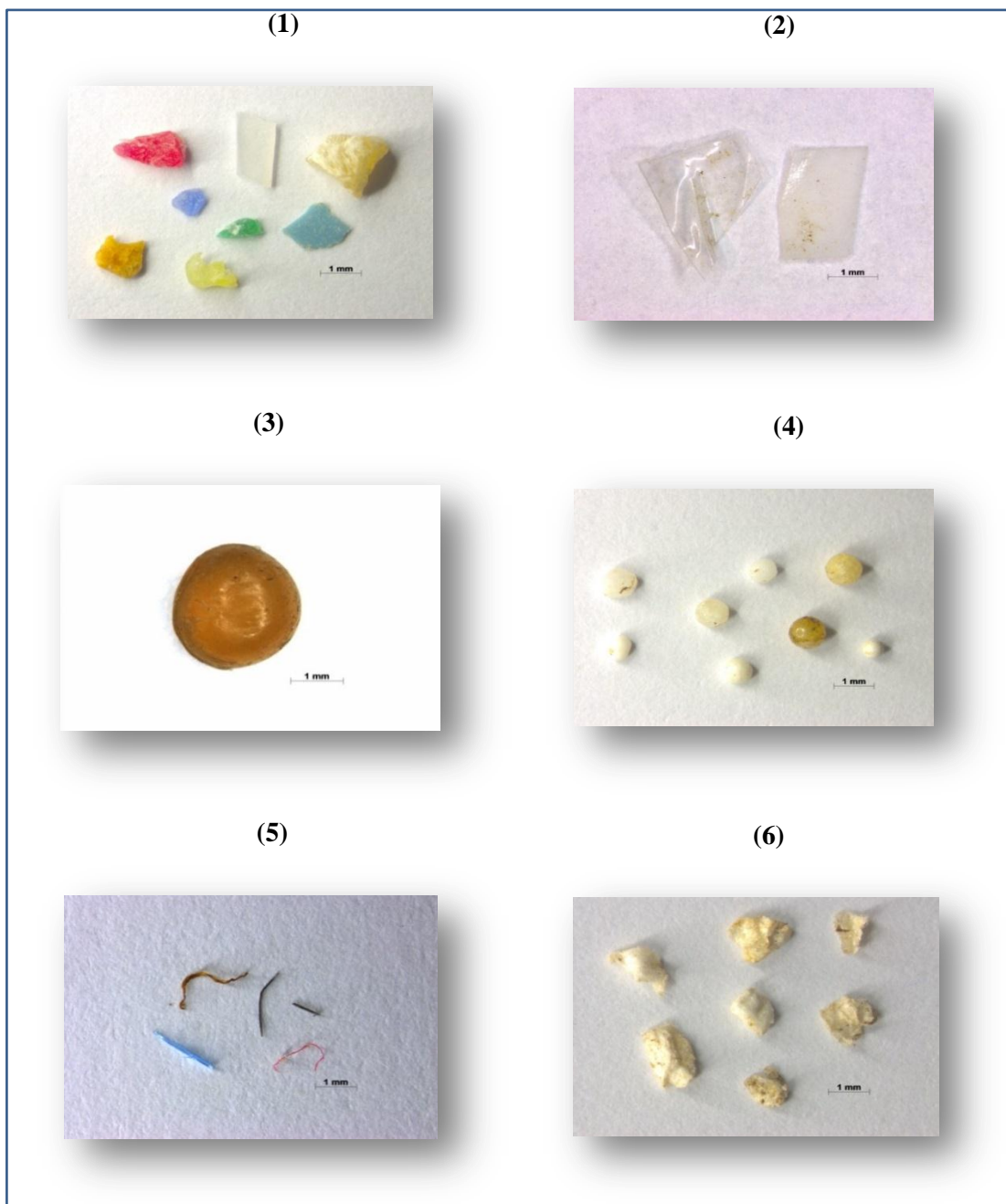


Figure 3: Les catégories de microplastiques (1 :fragments ;2 :films ;3 :pastilles ;4 :granulés ;5 :filaments ;6 :mousses) (KovačViršek et al., 2016).

1.2.3. Sources et origines

Les microplastiques sont séparés en deux catégories en fonction de leurs origines : les primaires et les secondaires (GESAMP, 2015). Cette distinction permet d'identifier différentes sources et de mettre en place des mesures de gestion en conséquence.

- **Les microplastiques primaires** : sont les plastiques qui sont rejetés directement dans l'environnement sous la forme de petites particules. Ils peuvent avoir été volontairement ajoutés à des produits, comme les agents exfoliants que l'on trouve dans les cosmétiques, produits de nettoyage, dans le gazon artificiel,... (European Commission, 2017). Ils peuvent aussi provenir de l'usure d'objets en plastique plus gros au cours de leur fabrication, de leur utilisation ou de leur entretien.
- **Les microplastiques secondaires** : la première source de microplastiques dans l'environnement semble être liée à la formation de plastiques directement dans le milieu naturel à partir de plastiques plus grands (Barnes et al., 2009). Ils sont issus de la fragmentation de débris de plastiques plus gros (> 5 mm) via une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques (Andrady, 2011; Browne, 2015).

1.2.3.1. Source primaire

L'écrasante majorité (98 %) des pertes de microplastiques primaires sont générées par des activités terrestres. Seules 2 % proviennent d'activités maritimes. Ces microplastiques sont acheminés dans l'océan par le ruissellement de l'eau sur les routes (66 %), les systèmes de traitement des eaux usées (25 %) et le vent (7 %).

Les principales sources de microplastiques primaires connues et représentées dans la (Figure 4) sont les suivantes :

- **Granulés de plastique : accidents pendant la fabrication, le transport et le recyclage**

De nombreux plastiques débutent leur cycle de vie sous la forme de granulés, généralement de 2 à 5 mm de diamètre, ou de poudre. Les granulés sont transportés vers les transformateurs qui fabriqueront les objets en plastique. Tout au long de la chaîne de valeur du plastique, soit pendant la fabrication, la transformation, le transport et le recyclage, ces granulés peuvent être déversés accidentellement en plus ou moins grande quantité dans l'environnement (Essel et al., 2015).

➤ *Textiles synthétiques : usure pendant le lavage*

Le lavage des textiles synthétiques dans les blanchisseries industrielles et les foyers crée des microplastiques primaires par le frottement et la perte de fibres. Ces fibres passent dans les eaux usées (**Browneetal., 2011**) et peuvent terminer leur course dans l’océan (**Magnuson et al., 2016**). Sont généralement des fibres de polyester, de polyéthylène, d’acrylique ou d’élasthanne (**Esseletal., 2015**).

➤ *Pneus : abrasion pendant le roulement*

Les pneus s’érodent à mesure de leur utilisation, perdant des particules qui formaient leur enveloppe extérieure, qui se compose d’une matrice de polymères synthétiques dénommée caoutchouc styrène butadiène (environ 60 %) intégrée à un mélange de caoutchouc naturel et de nombreux autres additifs (**Sundt et al., 2014**). La poussière de pneus est ensuite dispersée par le vent ou emportée par les eaux de pluie.

➤ *Marquage routier : exposition aux intempéries et abrasion par les véhicules*

Le marquage au sol est appliqué pendant la construction et l’entretien des infrastructures routières. Il existe différents types de marquage (peinture, thermoplastique, bande de guidage en polymère préformé et peinture époxy), mais la majeure partie (45 %) est réalisée à la peinture (**Grand View Research, Inc., 2016**).

➤ *Peintures marines : exposition aux intempéries et accidents pendant l’application, l’entretien et l’élimination*

Les peintures marines sont appliquées sur toutes les pièces des bateaux pour les protéger, à savoir : la coque, la super structure et les équipements du pont. Il s’agit principalement de revêtements solides, de peinture anticorrosion ou de peinture antisalissures, qui peuvent se composer de plusieurs types de plastique, en général des peintures polyuréthane et époxy ainsi que des vinyles ou des laques (**OECD, Series on emissions documents, 2009**).

➤ *Articles d'hygiène et de soin : versement dans l'eau pendant l'utilisation*

De nombreux produits d'hygiène et cosmétiques comptent parmi leurs ingrédients des microbilles de plastique qui servent à délivrer des ingrédients actifs, à exfolier ou à améliorer la viscosité du liquide. Certains de ces articles contiennent autant de plastique ajouté que le flacon dans lequel ils sont conditionnés (Leslie, 2015). Ce plastique peut représenter jusqu'à 10 % du poids du produit et plusieurs milliers de microbilles par gramme de produit (Lassen et al., 2015).

➤ *Poussières urbaines : expositions aux intempéries, abrasion et déversement*

On trouve dans les poussières urbaines des particules issues de l'usure d'objets (semelles de chaussures, ustensiles de cuisine synthétiques), de la dégradation d'infrastructures (habitations, aménagements, pelouses artificielles, peintures des bâtiments) ainsi que de l'utilisation d'abrasifs ou de détergents. Ces sources sont regroupées, car leur contribution individuelle est faible. Cependant, elles représentent ensemble une quantité de rejets considérables à l'échelle d'un pays.

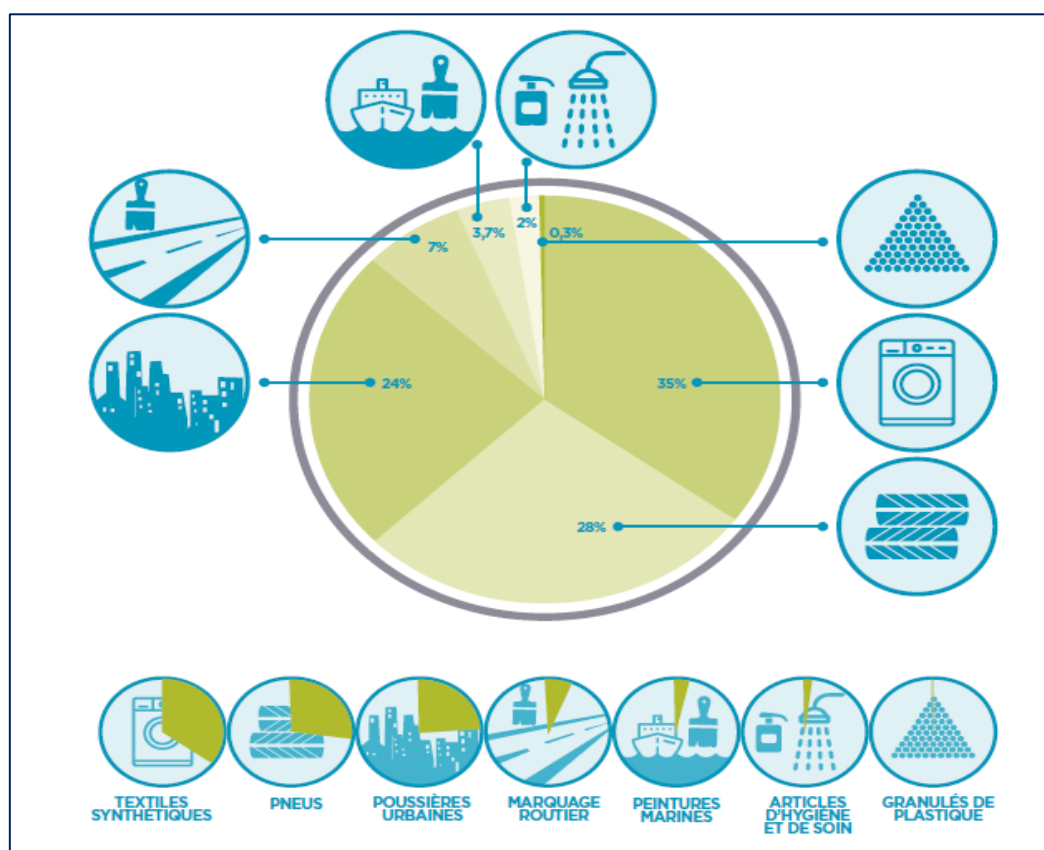


Figure 5: Rejets de microplastiques primaires dans les océans par sources (en%)(Boucher et Friot, 2020).

1.2.3.2. Sources secondaires de microplastiques

Les MP d'origine secondaire sont des particules issues de la fragmentation des plastiques. Ceci inclut les déchets plastiques provenant des activités terrestres ainsi que les plastiques liés aux activités de pêche et d'aquaculture (**Ryan et al., 2009; Watson et al., 2006**). Les activités terrestres sont responsables de 80% des apports de plastiques dans l'environnement marin (**Andrady, 2011**).

➤ *Déchets mal gérés*

Il est communément admis que la plupart des plastiques qui se retrouvent dans l'océan proviennent de déchets mal pris en charge (**figure 5**).

En 2015, il a été estimé que plus de 150 millions de tonnes de plastique étaient accumulées dans les océans et que 4.6-12.7 millions de tonnes étaient ajoutées chaque année en raison d'un mauvais traitement des déchets (**Jambeck et al., 2015**). Parmi les déchets plastiques observés sur les fonds marins de l'est de la Méditerranée, les sacs représentent entre 13 et 54 % et les bouteilles entre 7 et 17 % (**Ioakeimidis et al., 2014**).

De manière cumulative et entre 1950 et 2015 sur une production totale de 8,3 milliards de tonnes de plastiques, il a été estimé que 4,9 milliard de tonnes (60%) de cette production se sont retrouvées en décharge, 600 millions de tonnes (9%) de plastiques ont été recyclées et 800 millions de tonnes (12%) de plastiques ont été incinérées (**Geyer et al., 2017**).

De plus, il a été estimé qu'entre 1,15 et 2,41 millions (min – max) de déchets plastiques pénètrent chaque année dans l'environnement marin via les rivières (**Lebreton et al., 2017**).

Tous ces déchets constituent une source majeure pour la formation de microplastiques secondaires.

➤ *Le matériel de pêche*

Une partie des plastiques a pour origine les activités anthropiques marines. Le matériel de pêche est l'une des catégories d'objets la plus couramment rencontrée en ce qui concerne les macroplastiques d'origine marine (**Andrady, 2011**). Ce matériel est bien souvent perdu ou abandonné par les pêcheurs. C'est par exemple le cas des lignes et filets de nylon.

➤ Les activités aquacoles

Les activités aquacoles génèrent, elles aussi, des déchets plastiques (Cole et al., 2011). Les déchets issus des activités conchylicoles par exemple peuvent être localement importants. Les poches ostréicoles, les tubes collecteurs et les coupelles plastiques, les filets tubulaires extrudés sont des déchets associés aux activités ostréicoles et mytilicoles.

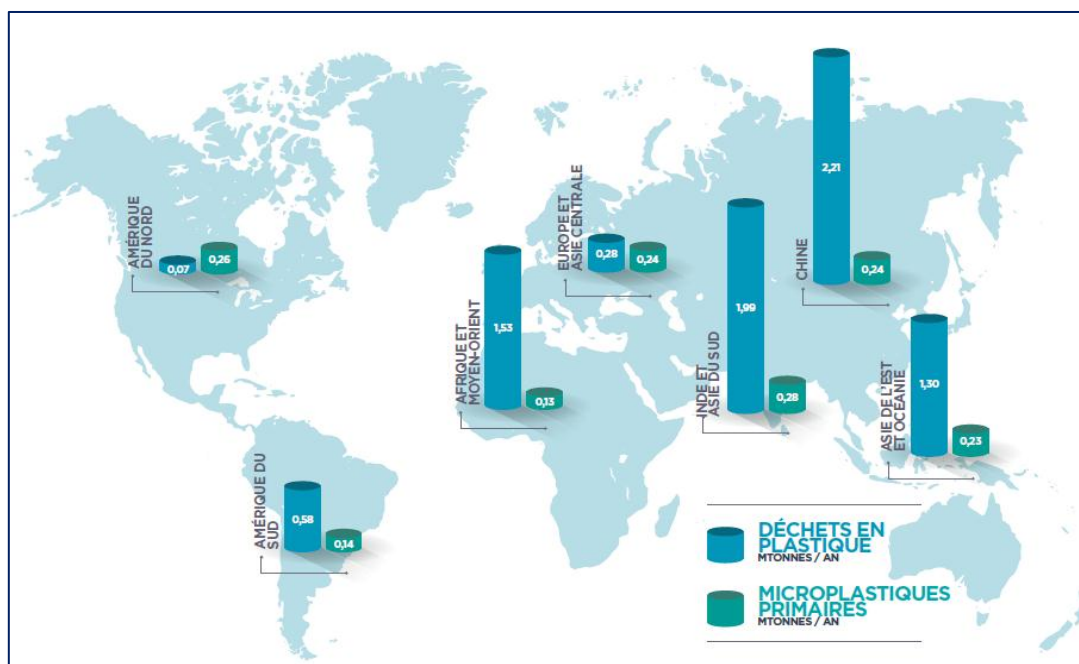


Figure 6: Rejets mondiaux dans les océans : comparaison des microplastiques primaires avec les plastiques issus de déchets mal gérés (Boucher et Friot, 2020).

1.2.4. Dégradation des microplastiques en mer

Un plastique qui arrive en mer va d'abord subir une dégradation abiotique (non biologique). Des dégradations physiques (vagues, température et UV) et chimiques (oxydation ou hydrolyse) vont contribuer à fragiliser les structures des polymères (Ipekoglu et al., 2007) et réduire le plastique en morceaux de plus petite taille. La dégradation biologique intervient ensuite (Figure 6).

1.2.4.1. La dégradation physique

Les UV du soleil et l'abrasion physique (mouvement des vagues) déclenchent la fragmentation des plastiques et influencent directement sa vitesse. Ces critères sont particulièrement présents sur les rivages, ou, en effet, la photodégradation et l'abrasion favorisent fortement la fragmentation.

1.2.4.2. La dégradation chimique

- *La dégradation thermo-oxydative* : la lumière ultraviolet du soleil fournit l'énergie d'activation nécessaire afin d'initier l'incorporation d'atomes d'oxygène dans le polymère (**Raquez, 2011**). Cela fragilise le plastique et le conduit à se fragmenter en particules de plus en plus petites, jusqu'à ce que les chaînes polymères atteignent un poids moléculaire suffisamment faible pour être métabolisées par les micro-organismes (**Andrady, 2011**).
- *La dégradation par hydrolyse* : l'humidité élevée accélère le taux de dégradation de plusieurs classes de plastiques (**Davis et Sims., 1983**) la quantité d'eau absorbée permet une grande accessibilité d'oxygène atmosphérique, ce qui facilite la dégradation de plastique.

1.2.4.3. La dégradation biologique en mer

Elle est due à des organismes vivants. Ces derniers convertissent le carbone des chaînes de polymère en dioxyde de carbone ou l'incorporent dans des biomolécules (**Andrady, 2011**).

La bio-détérioration est engendrée par l'action mécanique du biofilm bactérien qui se forme à la surface du plastique et qui va pouvoir agrandir les fissures déjà présentes (**Bonhomme et al., 2003**). Une dégradation chimique peut également être orchestrée par la grande diversité des espèces présentes dans le biofilm, telle que la production de composés acides par les bactéries chimiolithotrophes et chimioorganotrophes.

Cependant, tous ces processus sont lents, le plastique peut prendre jusqu'à 500 ans pour se dégrader totalement (**Muller et al., 2001**). Cela est encore difficile dans l'eau de mer, car l'effet photodégradatif est significativement diminué en raison des températures basses et de la faible disponibilité de l'oxygène (**Andrady, 2011**).

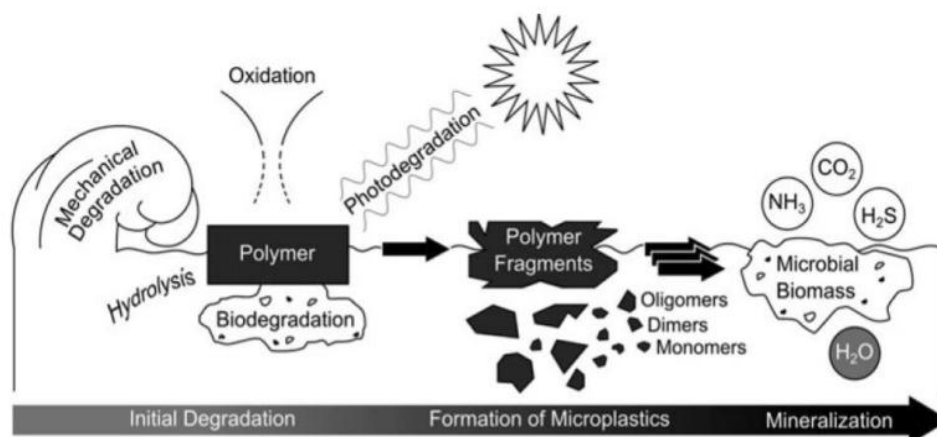


Figure 7: Schéma des voies de dégradation des polymères plastiques dans l'environnement aquatique avec les processus impliqués et les étapes intermédiaires avant une minéralisation complète (Klein et al., 2018).

1.2.5. Effets néfastes des microplastiques

Les déchets plastiques peuvent impacter la flore et surtout la faune marine par leurs caractéristiques physiques mais aussi par les polluants qui les composent ou qui sont adsorbés à leurs surfaces.

1.2.5.1. Macro- et microplastiques en tant que dangers physiques

➤ *Étranglement lié aux déchets plastiques*

Les animaux marins peuvent être étranglés par de vieux filets de poissons ou des sacs en plastiques. Par conséquent, ils ne peuvent plus bouger pour se nourrir ou éviter les prédateurs et parfois même remonter à la surface pour respirer. D'autres peuvent être tellement exténués qu'ils coulent ou se coupent, ce qui engendre un processus infectieux par la suite (UNEP & GRID-Arendal, 2016).

➤ *Recouvrement et colonisations des déchets plastiques*

Le recouvrement d'un organisme par un déchet peut l'empêcher de capter ou d'échanger de l'énergie ou des composés (nutriments, oxygène, etc.). Chez un producteur primaire, il peut bloquer la photosynthèse, en le privant de l'énergie lumineuse. Chez un filtreur, il peut empêcher la filtration des particules et donc suspendre la nutrition. Sur le fond des océans,

il peut limiter les échanges d'oxygène entre le sédiment et l'eau, rendre le sédiment anoxique et bouleverser ainsi la structure des communautés benthiques.

À l'inverse les débris peuvent être eux-mêmes recouverts et colonisés en servant de substrat marins. Le transport d'espèces envahissantes et pathogènes est la principale menace associée à la colonisation des déchets (**Choong et Calder, 2013**).

➤ *Ingestion de déchets plastiques*

L'ingestion de microplastiques peut être directe via des mécanismes de filtration pour les suspensivores, d'ingestion non sélective pour les détritivores ou suite à une confusion avec les proies pour les carnivores ; mais également indirecte via un transfert le long de la chaîne trophique (**Choy and Drazen, 2013; de Sá et al., 2015; Wright et al., 2013**).

100% des tortues marines présentent des déchets plastiques dans leur système digestif. Il en va de même pour 59% des baleines, 36% d'otaries et 40% d'oiseaux (**Kuhn et al., 2015**). Cela peut causer un effet de satiété alors que l'apport nutritif n'est pas suffisant. D'autre part, les morceaux de plastique peuvent obstruer le tractus intestinal. Tout cela peut mener à la mort de l'animal par malnutrition et chute de l'état de santé.

Les effets physiques causés par les microplastiques sont moins étudiés. Toutefois, il est prouvé que les particules de petite taille peuvent s'attacher à la surface interne ou externe d'organismes marins. Cela peut conduire à des lésions physiques engendrant du stress ou de l'inflammation ou même aller jusqu'à bloquer la surface d'absorption telle que la muqueuse intestinale. Par conséquent, ces organismes subissent une baisse d'apports énergétiques (**SAPEA, 2019**).

1.2.5.2. Microplastiques en tant que dangers chimiques

Les plastiques sont composés de polymères et d'additifs parfois toxiques qui selon les facteurs environnementaux, l'état de dégradation du plastique et du type de composé, peuvent être relargués dans le milieu marin. Les plastiques possèdent également la capacité d'adsorber à leur surface des métaux (plomb, cuivre, cadmium, etc.) et des composés hydrophobiques, incluant des polluants organiques persistants (POP).

➤ *Composés chimiques utilisés comme monomères pour la synthèse de polymères de plastique*

Lors de la dégradation des microplastiques, les monomères résiduels et non réactionnels peuvent être relargués. Ils constituent un danger connu pour la santé humaine. Par exemple, les polyuréthanes et le chlorure de polyvinyle ont des effets cancérologènes et mutagènes chez les humains (**Wright et al., 2017; Smith et al., 2018**).

➤ *Additifs*

Lors de la fragmentation des microplastiques, les additifs peuvent plus facilement migrer du centre du polymère vers la surface. Il y a donc un plus grand risque de relarguage des additifs (**Wright et al., 2017; Smith et al., 2018**). Certains additifs tels que les phtalates et le bisphénol A sont des perturbateurs endocriniens. (**Koelmans et al., 2013; Wright et al., 2017 ; Smith et al., 2018**). Ces perturbateurs endocriniens agissent via différents modes d'action. Par exemple, le bisphénol A est un oestrogéno-mimétique, c'est-à-dire qu'il se lie sur les récepteurs alpha et bêta des oestrogènes. Cela peut mener à des troubles de la reproduction.

➤ *Libération de POP's (polluants organiques persistants)*

En raison de la surface hydrophobe des microplastiques et de leur rapport surface / volume élevé, ils lient fortement les POP's et peuvent ainsi participer à leur transport et dispersion dans les océans. Ces POP's peuvent être fortement toxiques. Ils peuvent être carcinogènes, mutagènes, provoquer des effets immuno-toxiques ou des troubles endocriniens (**Wright et al., 2017**).

Les POP's les plus fréquemment rencontrés sont les pesticides organochlorés, les HAP, et les PCB (Polychlorobiphényles) et dioxines (**Koelmans et al., 2016; Wright et al., 2017 ; Auta et al., 2017**).

Selon **Rochman et al. (2013a)** 78 % des substances chimiques classées comme polluants prioritaires par l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (EPA) sont retrouvés associés aux déchets plastiques marins.

1.2.6. Distribution des microplastiques à la surface des océans

La présence de microplastiques est observée dans tous les océans, même les zones polaires (Obbard et al., 2014).

Le temps de dégradation de la plupart des plastiques dans les océans étant de plus de 100 ans, des zones d'accumulation se créent, appelées gyres océaniques (Moore et al., 2001 ; Eriksen et al., 2013). L'accumulation des microplastiques se fait principalement dans cinq grands gyres, le plus important étant celui de l'océan Pacifique Nord, aussi connu sous le nom de « 7ème continent » (Figure 7).

Les mers semi-fermées comme la Méditerranée, avec un taux de renouvellement des eaux de 90 ans, sont aussi touchées par la pollution plastique, La densité de plastique de cette mer est du même ordre de grandeur (423 g/km² en moyenne) à ce qui est trouvé dans les gyres océaniques (281 à 639 g/km² de plastique) et peut s'expliquer par l'intense pression anthropique et l'hydrodynamique de ce bassin semi-fermé (Cózar et al., 2015).

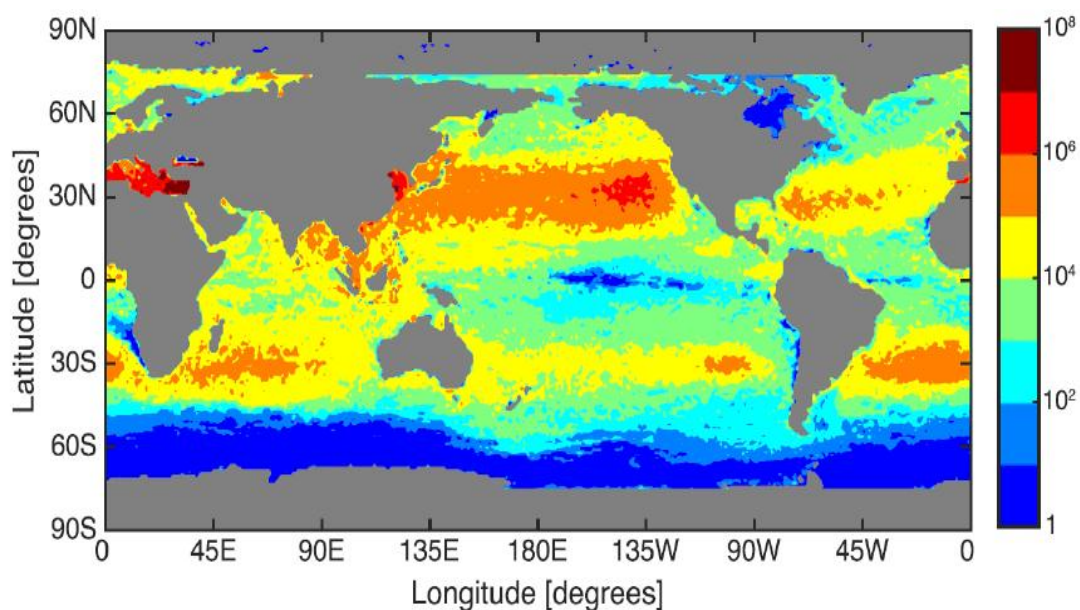


Figure 8: Estimation de la densité de microplastiques (PM/km²) à la surface des océans. D'après van Sebille et al. (2015).

1.3. Outil de prélèvement des microplastiques

L'engin servant à prélever les microplastiques en surface de l'eau est appelé chalut flottant (Eriksen et al., 2018).

Types de chalut :

Les différents types de chaluts sont illustrés dans la (figure 8).

1.3.1. Le chalut AVANI

Le chalut AVANI a une ouverture rectangulaire qui est 60 cm de haut et 14 cm de large, divisé en deux compartiments par une plaque d'aluminium. La plaque se trouve sur le même plan que les deux skis qui maintiennent le chalut à la surface de la mer lorsqu'il est remorqué. Le filet a une longueur de 4 m et un maillage de 335 μm . Le chalut AVANI peut écumer la surface de l'océan ou parfois être presque complètement submergé.

1.3.2. Le chalut Manta

Le chalut Manta a une ouverture rectangulaire de 16 cm de haut et 61 cm de large, et dispose d'un filet de 3 m de long avec un maillage de 335 μm . Il possède deux grandes ailes inclinées vers le haut, qui sont creux pour permettre la flottaison ainsi que pour pousser l'avant du chalut vers le haut pendant le remorquage.

1.3.3. Le chalut DiSalvo

Le filet DiSalvo a une ouverture rectangulaire qui est de 40 cm de haut et 80 cm de large, et a une longueur de 2,2m et un maillage de 300 μm avec un sac de collecte de 30 x 15cm². Il comporte un tuyau en PVC fixé à chaque côté qui servent de dispositifs flottants qui dictent le niveau auquel le filet se trouve dans l'eau. Par conséquent, dans des conditions de calme, l'eau est collectée avec seulement la moitié de son ouverture, soit une surface de 20 cm 80 cm.

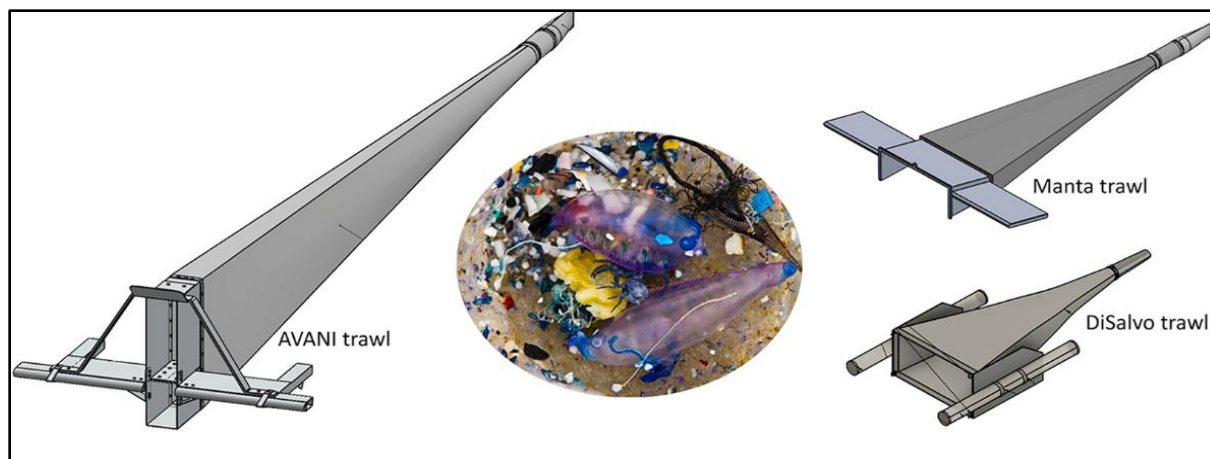


Figure 9: Les types des chaluts flottants : chalut AVANI, chalut Manta et le chalut DiSalvo. (Eriksen et al., 2018)

La principale différence entre la conception AVANI et d'autres conceptions de chalut neuston telles que le chalut Manta et DiSalvo est que son ouverture est beaucoup plus haute que large, créant une ouverture nette qui capture la surface de l'eau à grande vitesse.

Le chalut AVANI a été conçu afin d'effectuer des prélèvements à des vitesses qui varient entre 5 et 8 nœuds, qui déstabilisent généralement d'autres filets neuston, provoquant les sauter au-dessus ou descendre sous la surface de la mer. Le filet Manta quant à lui ne peut dépasser une vitesse de 2 à 3 nœuds, de ce fait il préserve les organismes et capte un volume d'eau constant (Eriksen et al., 2018).

1.4. Matériaux composites

1.4.1. Définition

Les matériaux composites, appelés souvent composites, sont des matériaux solides et multiphasiques. Ils sont constitués de l'assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles et de nature différente, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément (Berthelot, 2005).

1.4.2. Caractéristiques générales

Un matériau composite consiste dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes, le composite est dit hybride.

La phase continue est appelée la matrice qui est généralement une matière polymère (résine thermoplastique ou thermodurcissable) qui assure la cohésion de la structure et la retransmission des efforts vers la phase discontinue qui présente usuellement des propriétés mécaniques (rigidités et résistances) supérieures à celle de la matrice et est notée renfort (Figure 9).

Les propriétés des matériaux composites résultent des propriétés des matériaux le constituant, de la distribution géométrique des renforts, du taux volumique de renfort, de la nature des interfaces renforts/matrice, du procédé de fabrication...

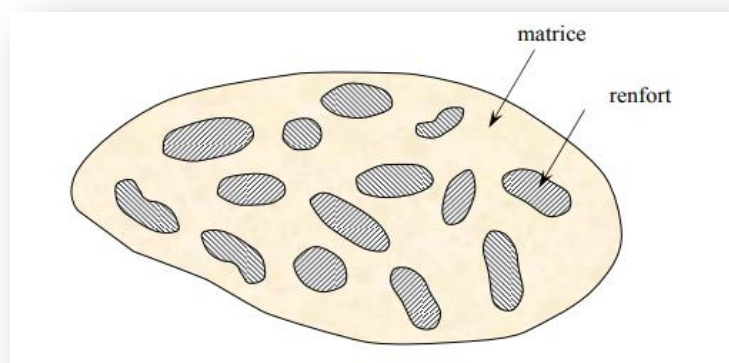


Figure 10: *Matériau composite (Berthelot, 1992).*

1.4.3. Intérêt des matériaux composites

L'utilisation des matériaux composites est générée par leurs principales caractéristiques (Jaquinet, 1991) :

- l'allégement des structures,
- La bonne tenue en fatigue,
- liberté de formes,
- Maintenance réduite,
- La résistance à la corrosion,
- L'insensibilité aux produits chimiques couramment utilisés dans la mécanique,
- Une bonne isolation électrique,
- une meilleure tenue au feu.

1.4.4. Les Éléments Constituants d'un Matériau Composite

Un matériau composite est constitué d'une matrice et d'un renfort, constitué de fibres. La matrice est elle-même composée d'une résine (polyester, époxyde, etc.) et de charges dont le but est d'améliorer les caractéristiques de la résine tout en diminuant le coût de production.

Le renfort apporte au matériau composite ses performances mécaniques élevées, alors que la matrice a pour rôle de transmettre aux fibres les sollicitations mécaniques extérieures et de protéger les fibres vis-à-vis des agressions extérieures.

1.4.4.1. Les résines

Deux grandes familles de résines polymères existent : les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques (Berthelot, 2013).

1.4.4.1.1. Les résines thermodurcissables

Ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. En effet, après polymérisation par apport de chaleur en présence d'un catalyseur, ces résines conduisent à une structure géométrique qui ne peut être détruite que par un apport important d'énergie thermique.

➤ *Les résines polyesters*

La résine polyester est la résine la plus utilisée dans l'application composite de grande distribution. Une résine de polyester insaturé contenant un monomère (généralement le styrène) est réticulé à température ambiante par addition d'un catalyseur et d'un accélérateur. Elle passe successivement de l'état liquide visqueux initial à l'état de gel, puis à l'état de solide infusible.

Les résines polyesters insaturées viennent de très loin en tête dans la mise en œuvre des matériaux composites. Leur développement est le résultat :

- d'un faible coût de production,
- de leur diversité offrant de multiples possibilités,
- d'une adaptation à des procédés de fabrication faciles à mettre en œuvre et à automatiser. D'où un développement industriel sans cesse croissant.

Parmi les avantages des polyesters insaturés, nous retiendrons :

- une bonne rigidité résultant d'un module d'élasticité assez élevé,
- Bonne accroche sur fibres de verre
- une bonne stabilité dimensionnelle,
- une bonne mouillabilité des fibres et des tissus,
- la facilité de mise en œuvre,
- une bonne tenue chimique,
- un faible coût de production,
- une bonne résistance chimique aux hydrocarbures (essence, fuel, etc.) à température ambiante, etc.

Parmi les inconvénients, nous noterons :

Un mauvais comportement à l'eau bouillante avec risque d'hydrolyse, d'où la nécessité de recouvrir les matériaux composites à résines polyesters d'une couche de "gel-coat" de manière à les rendre étanches.

➤ *Les résines de condensation*

Les résines de condensation comportent les résines phénoliques, les aminoplastes et les résines furaniques. Ces derniers sont peu utilisés à cause de leur coût, trois fois plus élevé que les résines polyesters.

➤ *Les résines époxydes*

Les résines les plus utilisées après les résines polyesters insaturées sont les résines époxydes. Elles ne représentent cependant que de l'ordre de 5 % du marché composite, à cause de leur prix élevé (de l'ordre de cinq fois plus que celui des résines polyesters).

Du fait de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, les résines époxydes, généralement utilisées sans charges, sont les matrices des composites à hautes performances (constructions aéronautiques, espace, missiles, etc.).

1.4.4.1.2. Les résines thermoplastiques

Dont la fabrication atteint de loin le plus gros tonnage du fait d'un faible coût, possèdent la propriété de pouvoir être mises en forme plusieurs fois par chauffages et refroidissements successifs. Ces résines peuvent donc être récupérées et facilement recyclées.

Parmi les résines thermoplastiques, nous citerons : le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le polyamide, le polycarbonate, etc.

L'intérêt des thermoplastiques réside dans leur faible coût, résultant à la fois de matières premières disponibles et des procédés de fabrication (injection, extrusion). Toutefois, ce faible coût est lié à des propriétés mécaniques et thermomécaniques faibles.

1.4.4.1.3. Les résines thermostables

Les résines thermostables se distinguent des autres résines, précédemment considérées, essentiellement par leurs performances thermiques qui conservent leurs propriétés mécaniques pour des températures plus élevées que 200°C.

Les résines thermostables sont développées surtout dans les domaines de l'aviation et de l'espace, où les laboratoires cherchent à mettre au point de nouvelles résines. Parmi les résines thermostables, les résines bismaléimides et polyimides sont les plus utilisées. Ce sont des résines à haute résistance thermique, mais de prix très élevé.

1.4.4.1.4. Les élastomères

Les caoutchoucs et les élastomères sont caractérisés par leur forte élasticité et un module de Yong très faible.

1.4.4.2. Les charges et les additifs

Différentes charges peuvent être incorporées à la résine pour lui conférer des caractéristiques particulières ou en réduire le coût. Un additif désigne une substance qui est introduite dans un mélange pour apporter une propriété spécifique, ils se trouvent en faible quantité (quelque % et moins) et interviennent comme :

- Adjuvants ;
- Lubrifiants et agents de démoulage ;
- Pigments et colorants ;

- Agents anti-retrait ;
- Agents anti-ultraviolets.

1.4.4.3. Les fibres et tissus

Les matériaux de renfort confèrent aux composites leurs caractéristiques mécaniques : rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.

On peut distinguer cinq classes de fibres à savoir : (i) les fibres de carbone, (ii) les fibres de verre, (iii) les fibres d'aramide, (iv) les fibres céramiques et (v) les fibres végétales. Dans ce travail nous avons utilisé les fibres de verre.

Les caractéristiques recherchées pour les renforts sont : des caractéristiques mécaniques élevées, une masse volumique faible, une bonne compatibilité avec les résines, une bonne facilité de mise en œuvre, un faible coût, etc. les renforts les plus utilisés se présentent sous forme de fibres ou formes dérivées.

1.4.4.3.1. Les fibres de verre

Les fibres de verre sont fabriquées à partir d'un verre filable, appelé verre textile, composé de silice, alumine, chaux, magnésie, etc., qui est fondu à une température 1200°C puis passé dans une filière en platine, et les filaments sont étirés avant refroidissement à un diamètre de 5 à 13 μm à une vitesse de 60 m/s. En faisant varier la composition du mélange, on peut obtenir différents types de verre (**Figure 10**).

Ces produits peu coûteux, associés à des procédés assez simples d'élaboration, confèrent aux fibres de verre un excellent rapport performances/prix, qui les place de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans les matériaux composites.

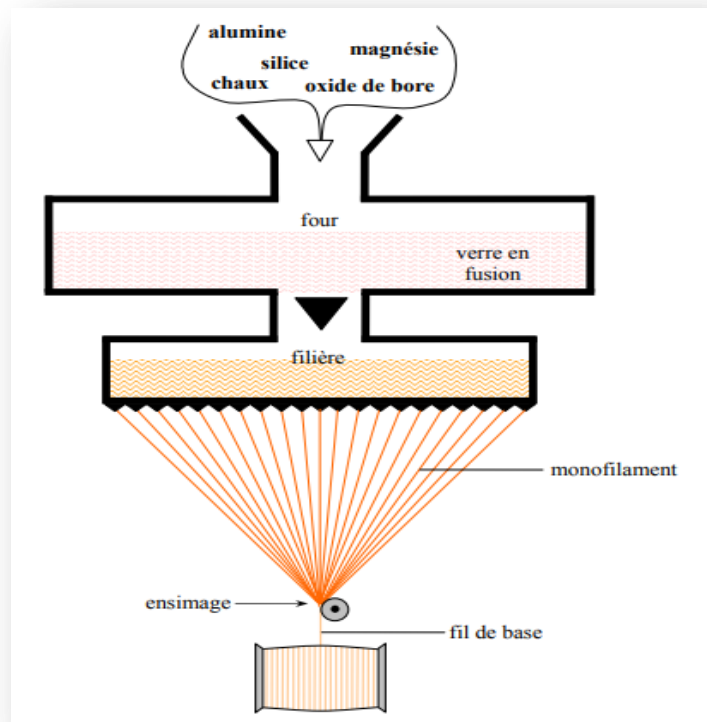


Figure 11 : Schéma de principe du procédé d'étirage mécanique ou silionne (Berthelot, 2013)

1.4.4.3.2. Différentes formes de fibres

Les renforts fibres se présentent sous diverses formes commerciales :

- sous forme linéique (fils, mèches, etc.),
- sous forme de tissus surfaciques (tissus simples, mats, etc.),
- sous forme multidirectionnelle (tresses, tissus complexes, etc.).

Un tissu (ou ruban) est un ensemble surfacique de fils, de mèches, etc., réalisé sur un métier à tisser. Il est constitué (**figure 11**) :

- d'une chaîne, ensemble de fils parallèles répartis dans un plan suivant la longueur du tissu,
- d'une trame, ensemble de fils s'entrecroisant avec les fils de chaîne

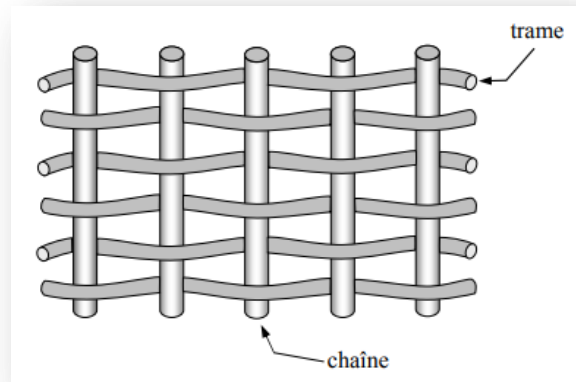


Figure 12: chaîne et trame d'un tissu

Les tissus diffèrent par le type de fils utilisés, et par le mode d'entrecroisement (ou armure) des fils de chaîne et des fils de trame. **(Figure 12)** illustre les armures classiques utilisées.

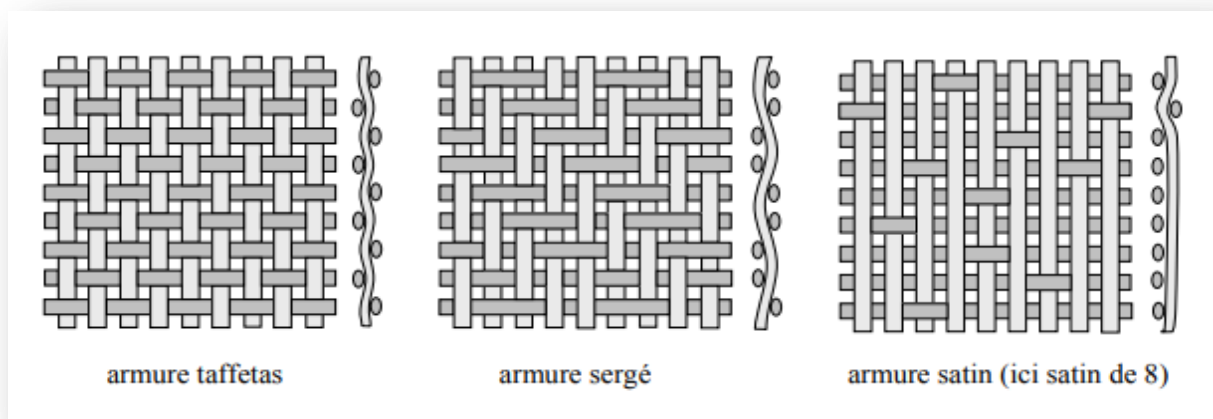


Figure 13: Les principaux types d'armures utilisées pour le tissage des tissus

1.5. Application marine des matériaux composites

La première application marine du matériau composite en polymère renforcé de fibres (PRF) a été la construction de bateaux peu après la Seconde Guerre mondiale.

Les constructeurs de bateaux ont commencé à utiliser des composites PRF au lieu du bois car ce dernier devient de plus en plus rare et cher et les bateaux en bois sont facilement dégradés par l'eau de mer et les organismes marins et nécessitent donc un entretien et des réparations permanentes qui peuvent être coûteuses.

Les premières tentatives de fabrication de coques de bateaux avec des composites en PRF ont eu lieu en 1947, lorsque douze petits bateaux de surf ont été fabriqués pour la marine des ÉTATS-UNIS. La plupart des bateaux maritimes sont construits en utilisant des composites en polyester renforcé de verre (PRV).

La diversité des applications des matériaux composites sur les navires de guerre s'accompagne d'une large utilisation dans les domaines des loisirs, du sport, du commerce et des petits sous-marins. Les composites ont été utilisés pour la première fois dans les bateaux de plaisance, les yachts dans les années 1950 et les bateaux commerciaux.

Plus de 95 % de tous les bateaux composites sont construits en PRV en raison de leur faible coût (**Selvaraju & Ilaiyavel, 2011**).

La popularité du composite PRV dans les bateaux de plaisance s'explique toutefois par un certain nombre d'autres raisons, notamment :

- a) Possibilité de mouler facilement et à peu de frais le PRV à la forme presque nette, même pour les structures marines de forme complexe, comme les coques de bateau, ce qui le rend adapté à la production de masse.
- b) Excellente résistance à la corrosion.
- c) Léger, ce qui permet de réduire la consommation de carburant.
- d) Simple à réparer.
- e) Capacité à absorber le bruit et à amortir les vibrations, ce qui rend la conduite des bateaux à moteur plus confortable.

CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

1. Zone d'étude

La baie d'El Djamila

1.1. Situation géographique

La baie d'El Djamila se situe à une trentaine de kilomètres à l'ouest d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou Ismail. C'est une baie relativement fermée, limitée à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj et à l'Est par Ras Acrata (**Figure 13**). Son rivage est orienté Sud-Ouest – Nord Est et ses coordonnées Lambert sont :

2°50'54.744'' Est et 36°45'43.092'' Nord (port de Sidi Fredj)

2°53'42.792'' Est et 36°48'5.796'' Nord (Ras Acrata) (**Bachari, 2009**).

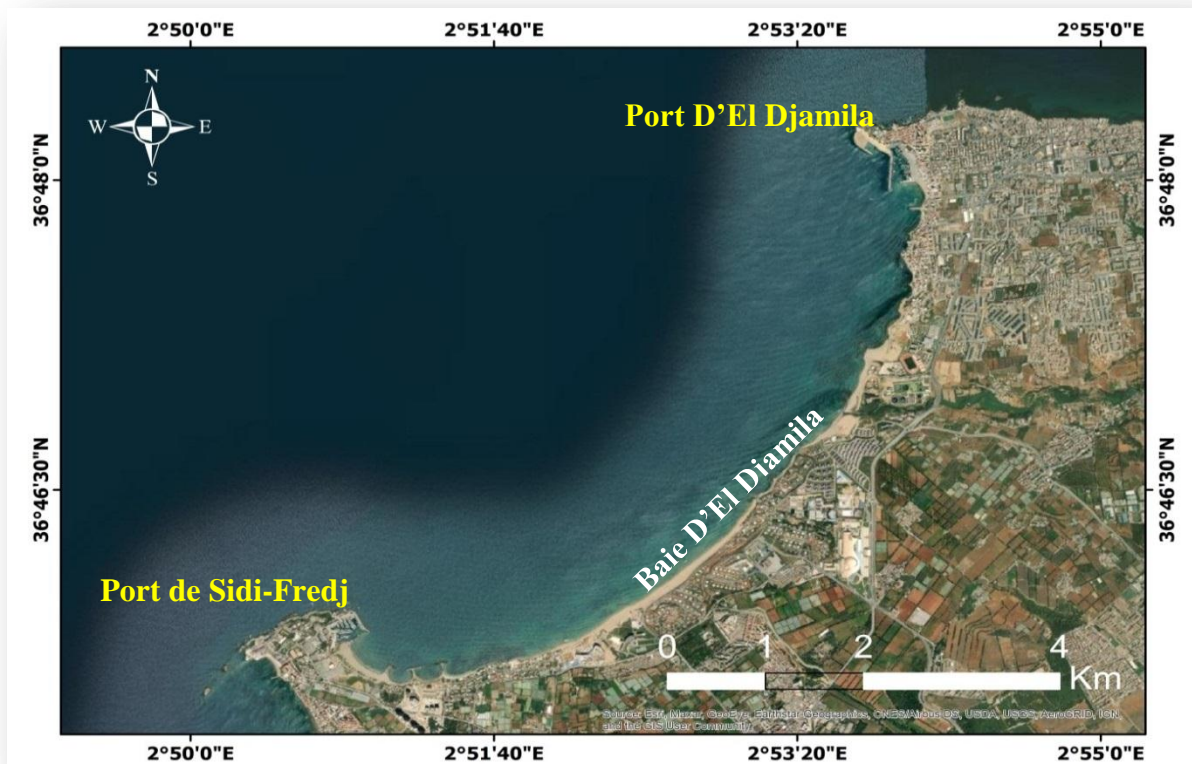


Figure 14: Situation géographique de la baie d'El Djamila (ArcGis, 2020).

1.2. Situation Hydrographique

La baie d'El Djamila est alimentée par l'Oued Béni-Messous. Ce dernier, qui prend source dans le massif de Bouzaréah, traverse les communes littorales de Béni-Messous, de Dely-Brahim, de Chéraga et Ain-Benian, pour déboucher dans la baie au niveau de la plage

« Les Dunes » entre « Club des pins » et « le port d'El Djamilia » (1.5 km à l'ouest du port) (**Figure 14**). Longeant sur 11.5 km un bassin versant d'environ 33 km², il est souvent sec, sauf lors de fortes pluies (**Bellahsene et Messaoudi, 2005**).

Les apports terrigènes dans la baie sont essentiellement issus de l'Oued Béni-Messous.



Figure 15: Localisation de l'Oued Béni Messous et son embouchure (ArcGis, 2020).

1.3. Données climatiques et météorologiques

La baie d'El Djamilia bénéficie du même climat méditerranéen que la wilaya d'Alger qui est connue par ses étés chauds et secs, et ses hivers doux et humides. La neige est rare mais pas impossible, et les pluies sont abondantes dans la région d'Alger et peuvent être diluviennes.

1.3.1. Pluviométrie

La période pluvieuse s'étale généralement du mois de septembre jusqu'au mois de mai, avec une quantité variant entre 15 et 108 mm, alors que la période d'été est pratiquement sèche.

En période hivernale : la pluviométrie est relativement importante de décembre à mai, se situant entre 15 et 108 mm.

1.3.2. Le vent

Les données du Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM, 1998) indiquent que les vitesses des vents les plus fréquents se situent entre 6 et 10 nœuds.

1.3.3. Température

La température moyenne la plus basse est celle du mois de janvier. Elle est égale à 11.89°C pour la période de 10 ans de 2000 jusqu'à 2010, alors que août est le mois le plus chaud avec une valeur de 29.14°C. Le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne des minima de 5.3°C.

1.4. Courantologie

D'après **BAKI (1981 in MAHIOUT, 1989)**, la baie d'El Djamilia connaît deux régimes de vents dominants, un en hiver et l'autre en été.

En hiver, les houles les plus fréquentes sont engendrées par les vents d'Ouest, avec des amplitudes situées généralement entre 2 et 2.5m et des amplitudes maximales de 4 à 6m. Ces houles de secteur Ouest donnent naissance à des dérives littorales dominantes, allant d'Ouest-Sud-Ouest vers l'Est-Nord-Est, avec des amplitudes généralement plus faibles de 0.5 à 1m. Elles engendrent des courants de surface de sens dominant d'Est-Nord-Est vers l'Ouest-Sud-Ouest (**Figure 15**). La baie d'El Djamilia connaît également des houles Nord-Ouest d'incidence frontale (**HOUMA, 2009**) qui engendrent des courants de retours.

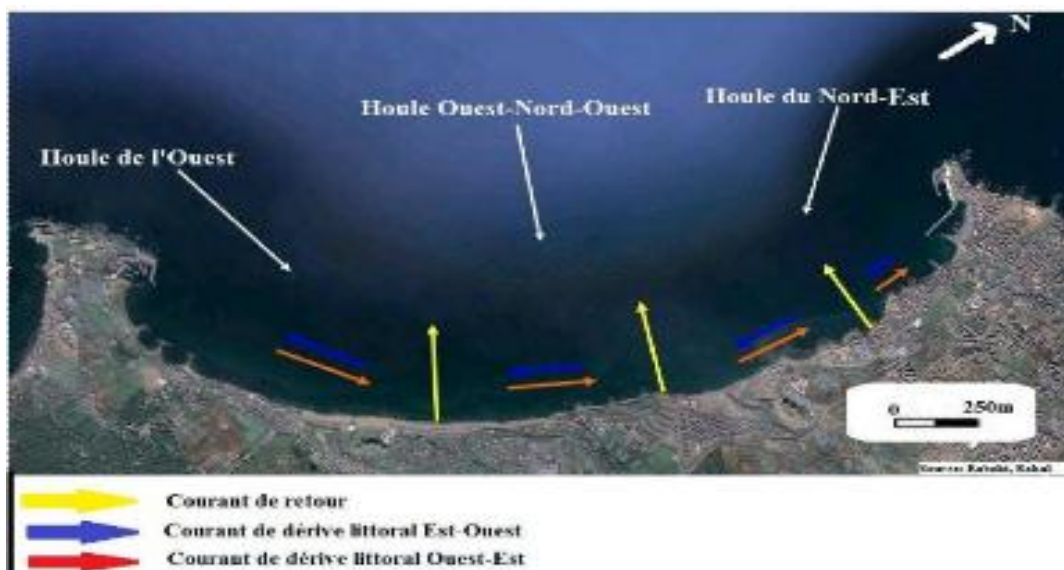


Figure 16: courantologie générale dans la baie d'El Djamilia (Google Earth, 2011)

2. Conception de l'engin de prélèvement des microplastiques

Dans cette partie nous représentons les méthodes et la technique suivies pour la réalisation du premier prototype du filet Manta, ainsi que son test et déploiement en mer. Ces derniers ont eu lieu au niveau de la baie d'El Djamila.

Les schémas et plans conçus dans ce travail ont été effectués par le logiciel de conception assistée par ordinateur 3D « SolidWorks».

2.1. Filet Manta

Le filet Manta aussi appelé chalut Manta, est l'instrument le plus communément utilisé dans de telles études (Derraik, 2002 ; Hidaglo-Ruz et al., 2012 in Faure, F.2014). Il sert à l'échantillonnage des débris et particules microscopiques de plastique flottants ainsi que le plancton associé, à la surface de la mer. Le filet Manta a été utilisé pour la première fois pour le prélèvement du plancton. Mais ce n'est qu'en 1999 qu'Algalita Research Organisation l'utilise pour le prélèvement de microplastiques dans le gyre Nord Pacifique (Doumandji et Amenouche, 2015).

2.2. Structure Générale de l'engin (filet Manta)

La structure du filet Manta est constituée essentiellement de deux parties distinctes (figure16) :

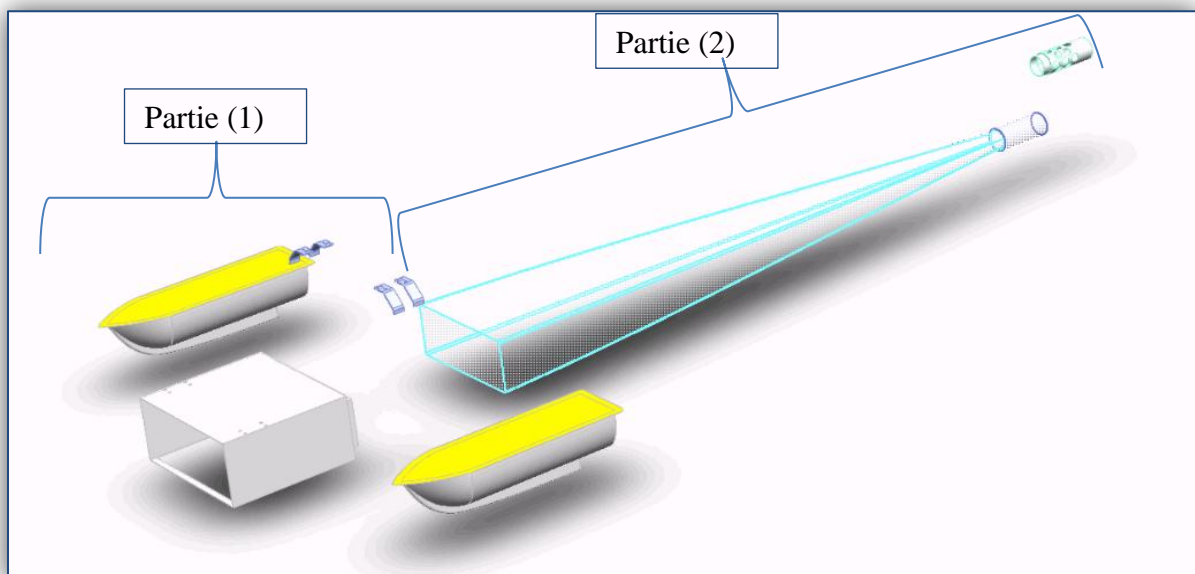


Figure 17: Représentation des différentes parties de l'engin de prélèvement

La première : est une structure en composite, complètement démontable, composée d'un corps central (socle) avec une ouverture béante (**voir figure 17**) et de deux coques (**voir figure 18**) amovibles qui lui assurent une flottabilité et un maintien optimal à la surface de la mer et lui donnant l'allure d'une raie (**voir figure 25**).

La deuxième : est un long filet détachable sous forme d'entonnoir en tissu spécial (**voir figure 19**), qui se termine par un cylindre, le collecteur détachable et amovible, récupérant toutes les particules passées à travers l'ouverture.

Le filet neustonique est maintenu fixé au socle central grâce à une ceinture de fixation en aluminium, facilitant sa mise en place (**voir figure 20**).

Les coques et le filet sont fixés au socle à l'aide des vis (**voir figure 21**) et écrous à oreilles (**voir figure 22**) munis de deux petites saillantes permettant de les visser ou de les dévisser manuellement.

Le collecteur se décline en deux variantes : un collecteur entièrement en toile de maillage identique à celui du filet en entonnoir (**voir figure 24**), et un collecteur cylindrique en Polychlorure de Vinyle (PVC) terminal troué (**voir figure 23**) laissant filtrer l'eau de mer à travers une toile de maillage identique à celui du filet en entonnoir et tapissant sa paroi interne.

L'ensemble du système est remorqué derrière ou sur l'un des bords d'un navire océanographique, un voilier ou une toute autre embarcation pouvant le supporter, de préférence munie d'un treuil facilitant le déploiement du dispositif.

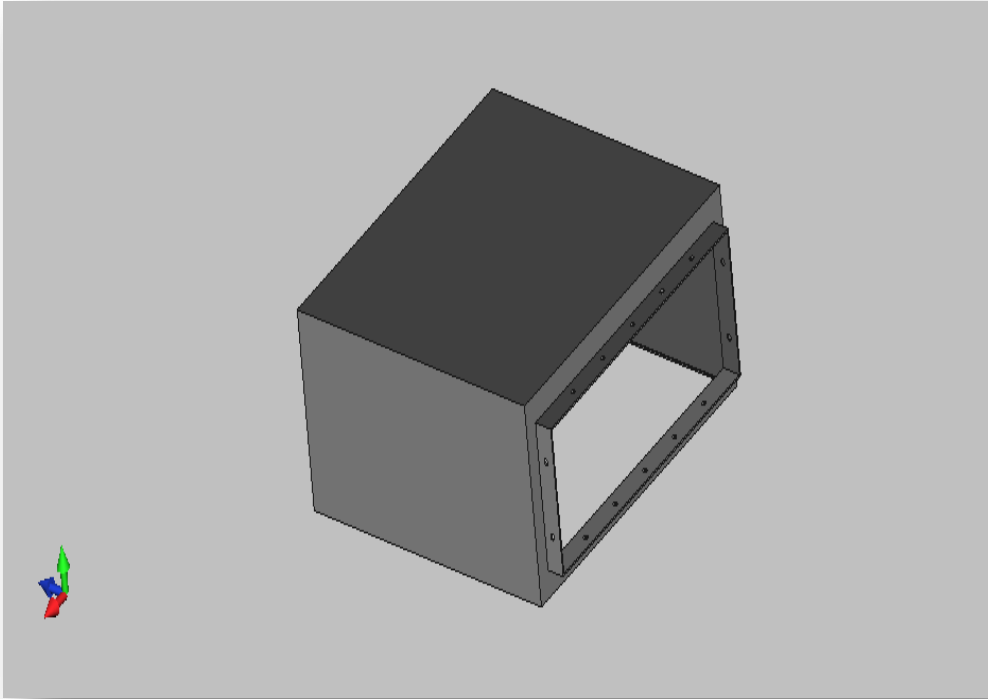


Figure 18: *Représentation du socle du filet Manta*

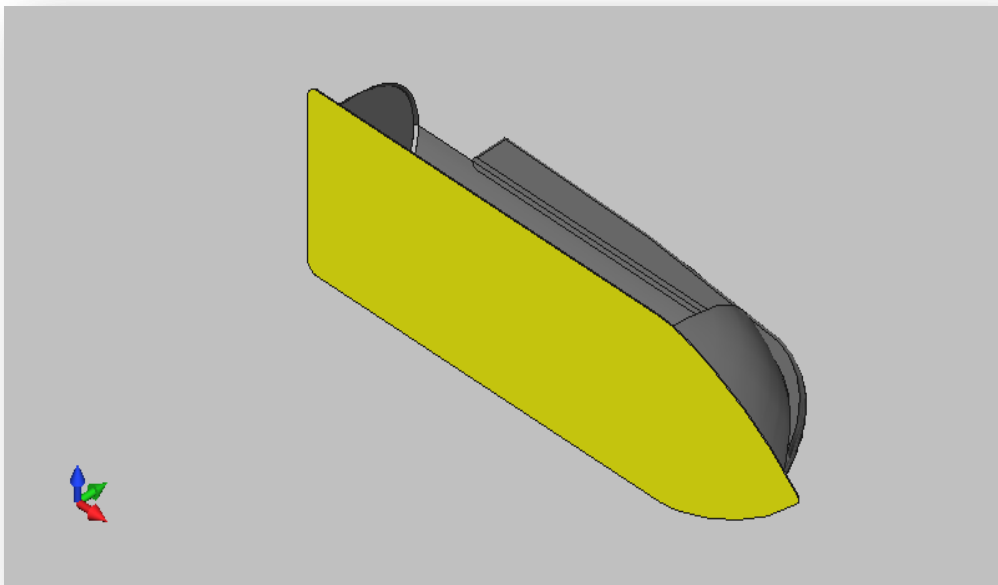


Figure 19: *Représentation de la coque du filet Manta*

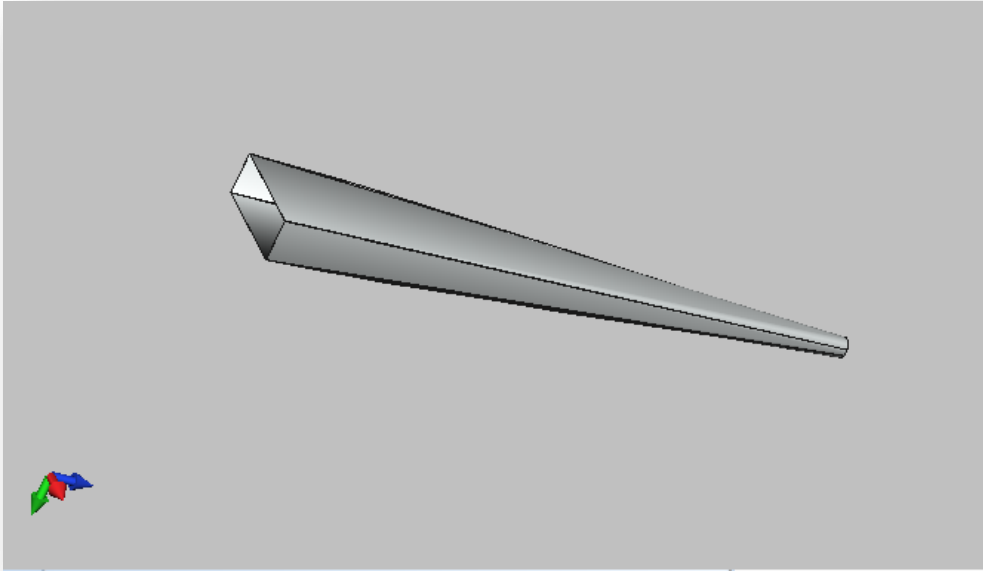


Figure 20: *Représentation du filet neustonique en tissu*

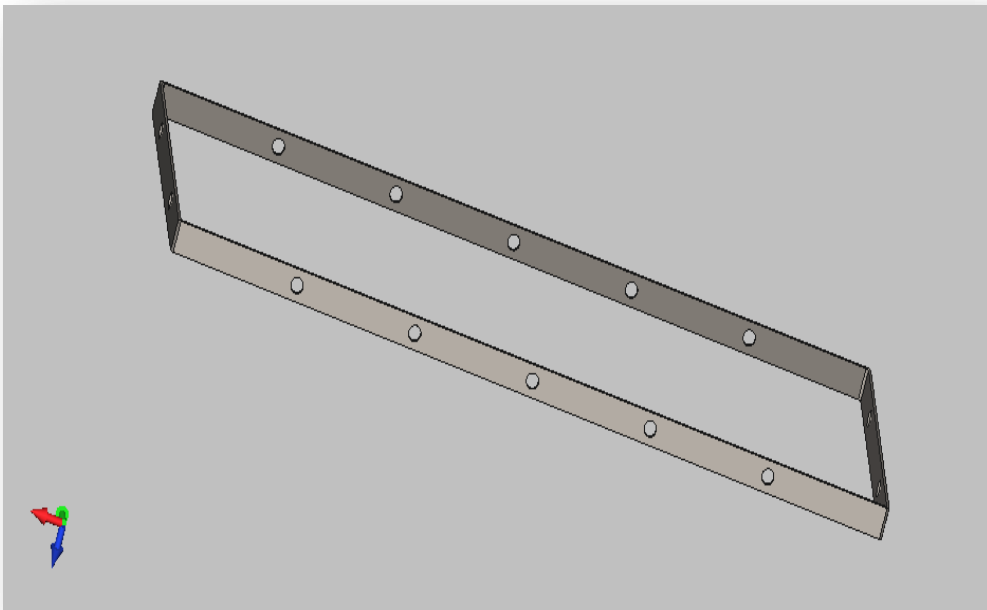


Figure 21: *Ceinture en aluminium servant de fixer le filet*

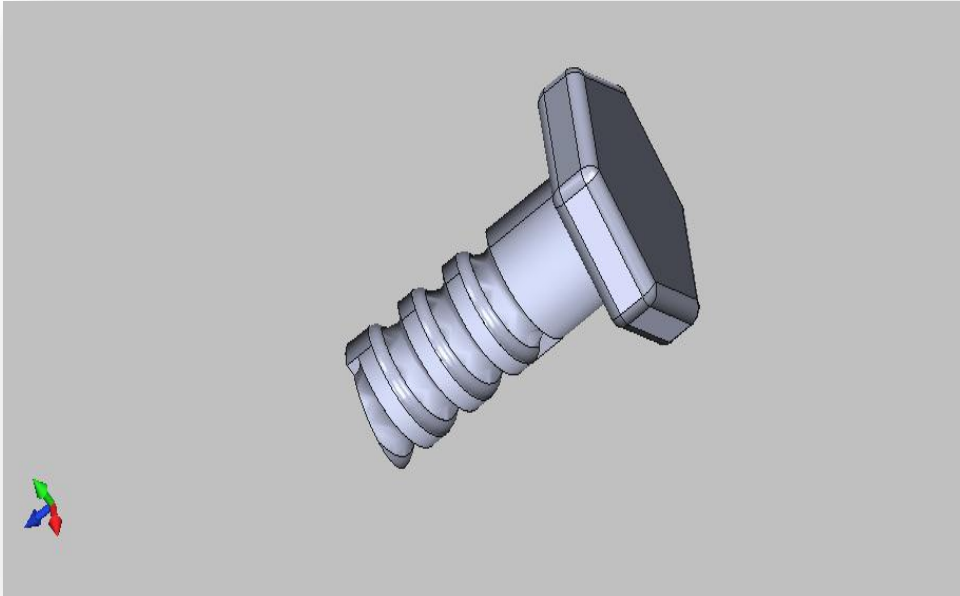


Figure 22: *Vis pour fixer les coques et le filet*

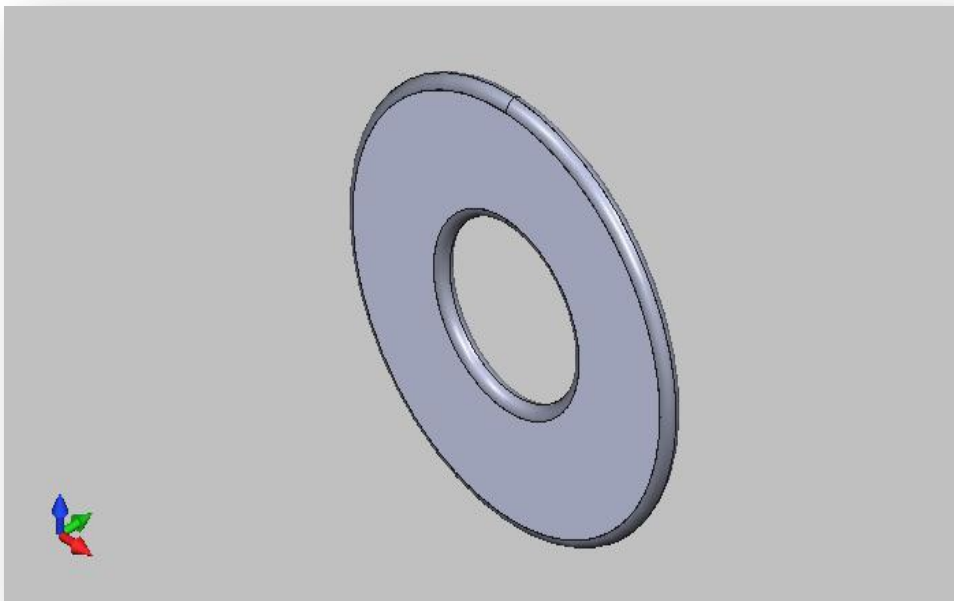


Figure 23: *écrou pour fixer les coques et le filet*

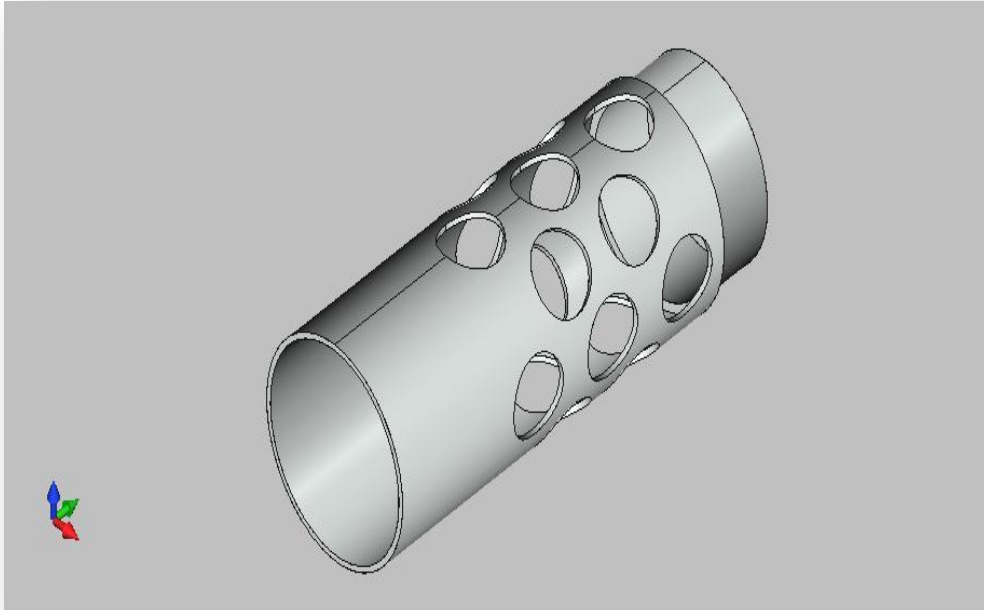


Figure 24: *Collecteur en PVC du filet Manta*



Figure 25: *Collecteur en toile du filet Manta*

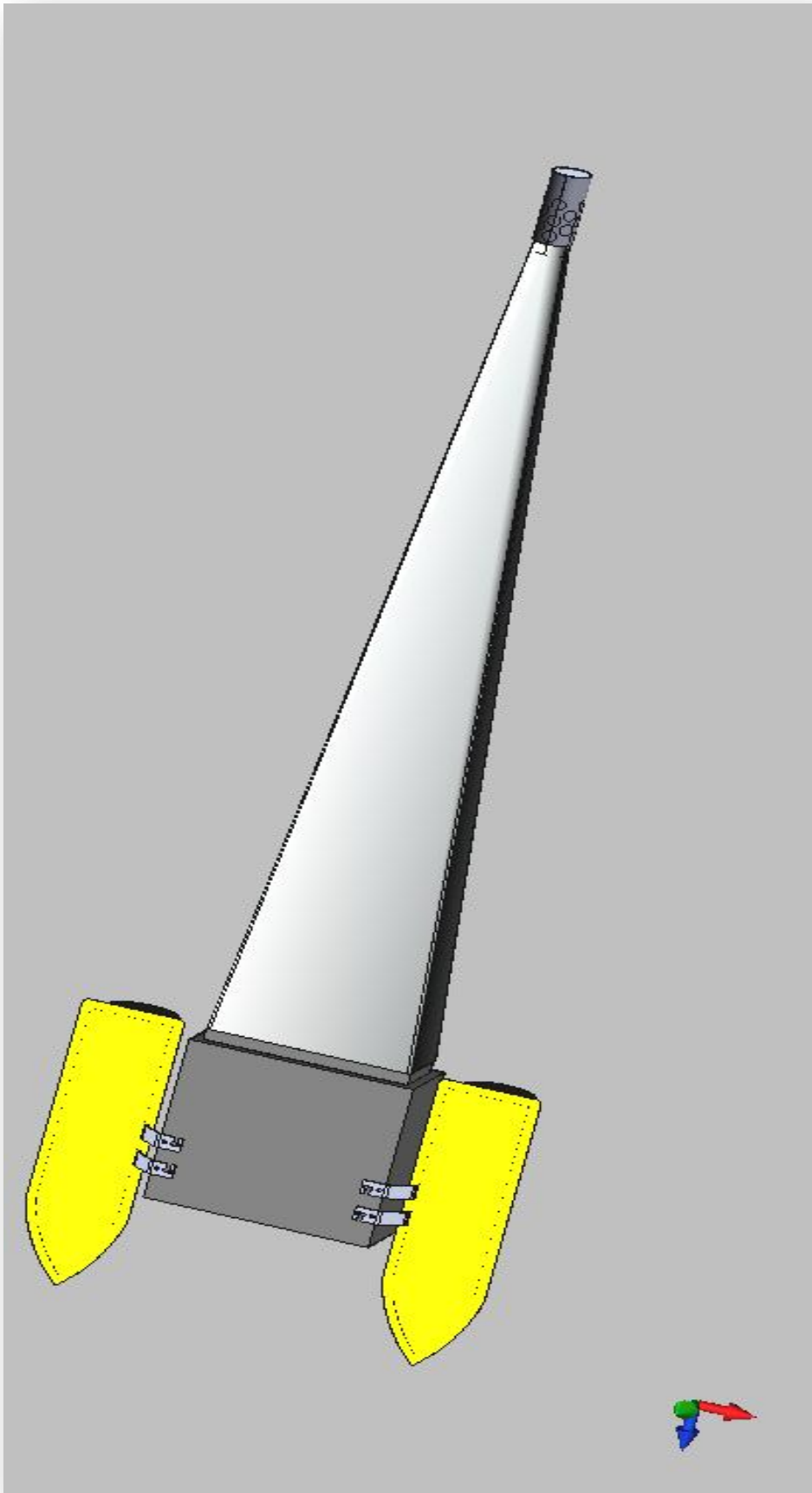


Figure 26: *La structure générale du filet Manta en composite*

2.3. Dimensionnement de l'engin

Le filet Manta se compose d'un cadre en composite avec une ouverture rectangulaire de 15x60cm appelée « bouche » avec des coques de 105x30x20cm, et d'un filet de 3.5 mètres de longueur et d'un maillage de 300 microns auquel est rattaché un collecteur à son extrémité se déclinant en deux modèles possibles :

- Le premier modèle entièrement en filet de maillage de 300 microns est cousu de manière cylindrique et faisant 22,5cm de longueur et 10 cm de diamètre et muni d'une gaine de 2,5cm.
- Un deuxième modèle en Polychlorure de Vinyle (PVC), de 10cm de diamètre et de 30 cm de long, muni de 18 fentes circulaires de 4cm de diamètre et d'un voile en filet, de maillage de 300, tapissant sa paroi interne.

2.4. Mode de réalisation de l'engin

La forme des différentes parties de l'engin de prélèvement des microplastiques sont données dans la figure suivante (**Figure 26**) :

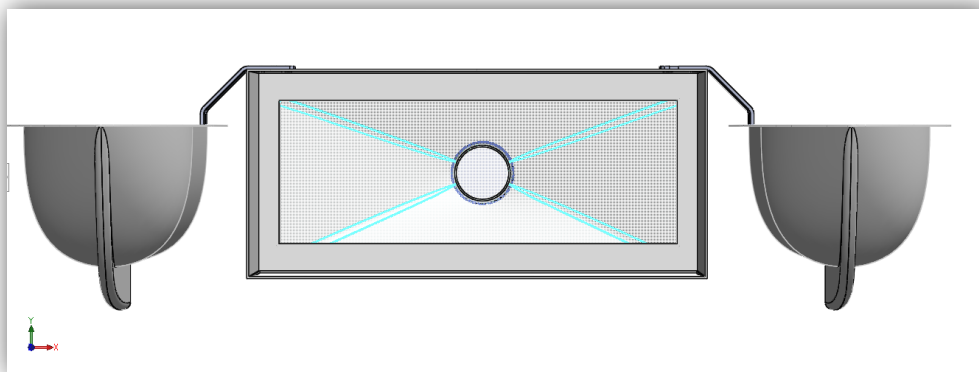


Figure 27: *Les coques et le socle du filet*

Les différentes parties du filet Manta ont été réalisées de la manière suivante : le socle du filet Manta est fabriqué en composite résine polyester, renforcé avec de la fibre de verre avec une formulation 60/40 en masse avec une injection de la mousse en polyuréthane.

➤ **La résine Polyester**

Les résines polyesters sont des matières plastiques thermodurcissables faciles de mise en œuvre et de faible coût de fabrication.

La résine polyester dit « polyester insaturé » comprend essentiellement deux produits bien différents :

- Des chaînes polyesters comprenant des doubles liaisons.
- Des doubles liaisons du styrène.

Les doubles liaisons permettront des liaisons ultérieures avec le styrène (durcissement ou réticulation par polymérisation tridimensionnelle).

Les chaînes polyesters sont obtenues par estérification d'un dialcool et d'un diacide suivant la réaction suivante :



- Les résines standards sont à base d'acide orthophtalique.

Cette synthèse chimique est effectuée en usine, le produit livré en atelier est un pré-polymère.

Le durcissement est réalisée par l'entreprise qui va réaliser la pièce en composite [C], en mélangeant la résine polyester [A] avec un agent durcisseur [B] qui favorise l'association des doubles liaisons du styrène et des doubles liaisons de polyester insaturé, qui crée un réseau tridimensionnel.



La température idéale de travail se situe entre 15 et 20°C. En dessous de 15°C, le froid ralentit la polymérisation.

➤ **Composite Résine polyester /fibres de verre**

Constitué d'une ossature en fibres de verre (renfort) qui assure la tenue mécanique, et d'une couche de protection (matrice), le matériau composite combine les deux éléments avec synergie.

Les renforts fibreux sont disposés de façon judicieuse dans la matrice qui conserve leur disposition géométrique et leur transmet les sollicitations. Le renfort, qui constitue l'armature, assure la tenue mécanique. La matrice qui lie les fibres, répartit les efforts et assure la protection chimique.

- **Les 10 bonnes raisons de choisir un composite en résine polyester renforcé avec la fibre de verre**
 - Plus léger, mais aussi solide que l'acier ;
 - Résistance et rigidité spécifique élevée (résistance en traction et en compression) ;
 - Légèreté ;
 - Liberté de forme ;
 - Haute résistance aux chocs ;
 - Haute résistance mécanique ;
 - Haute résistance au feu ;
 - Bonne résistance aux UV ;
 - Résistance à l'usure ;
 - Faible conductibilité thermique.

2.5. Les étapes de la fabrication

Les différentes parties du filet Manta ont été réalisées de la manière suivante :

A- Le socle et les coques

La fabrication des coques et du socle du filet Manta a été réalisée dans un atelier chez HAMZA COMPOSITE (Rouïba). Il a été réalisé en plusieurs étapes.

C'est un travail artisanal qui se décompose en 11 étapes. Le processus est long et minutieux.

Etape 1 - Usinage du modèle

Le modèle représente exactement la forme des coques recherchées. Il est usiné à l'aide d'une commande numérique dans un bloc de mousse.

Etape 2 - Réalisation du moule

Le moule est réalisé à l'aide du modèle en résine et fibre de verre. Il est souvent composé de plusieurs parties pour permettre un démoulage facile. Nous avons fabriqué un moule spécialement pour ce prototype.

Etape 3- Préparation du moule

Le moule est d'abord ciré pour faciliter le démoulage. Il est ensuite recouvert d'un gelcoat. Un gelcoat (de l'anglais *gel coat*, couche de gel) aussi appelé topcoat ou enduit

gélifié est un matériau à base de résine thermodurcissable, utilisé pour fournir une haute finition et protection de la surface visible d'un matériau composite souvent composé de fibres variées.

Etape 4 - Application de la fibre de verre

La fibre de verre est approvisionnée en bandes de tissu (roving) de différents grammages. Découpée à la bonne dimension, elle est ensuite appliquée en couches successives au fond du moule.

Etape 5 - Préparation de la résine

La résine est dosée en fonction du poids de la fibre utilisée. Juste avant son application on lui rajoute son durcisseur (catalyseur). C'est le bon dosage de résine par rapport à la masse de fibres de verre qui permet d'obtenir un matériau de qualité. Trop peu de résine entrainera une délamination par plaques, trop de résine le rendra plus cassante et fragile.

Etape 6 - Stratification

Nos coques sont stratifiées en utilisant la méthode **de moulage au contact**. (Figure 27). On applique une première couche de résine sur le Gelcoat, puis on dispose une première couche de tissu en fibre de verre que l'on imprègne de résine. On recommence l'opération avec des couches successives de fibre de verre, de différents grammage jusqu'à obtenir l'épaisseur désirée. Un rouleau « débulleur » permet de chasser l'air du stratifié pour rendre homogène les couches de fibres de verre entre-elles.

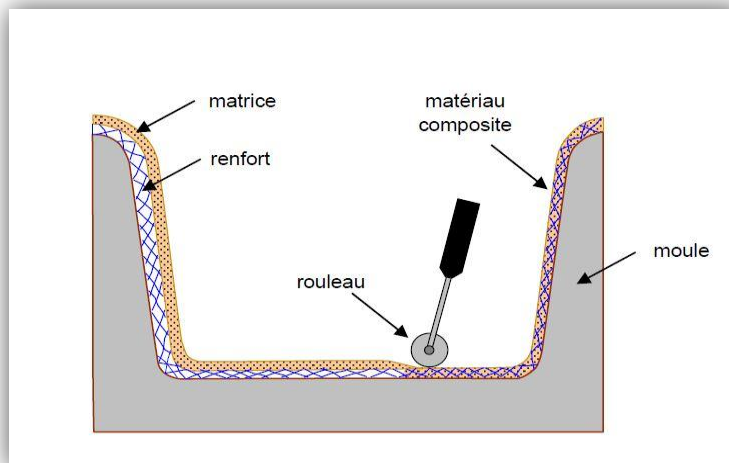


Figure 28: Moulage au contact

Une autre technique par projection de fibre de verre haché permet d'être plus rapide et de réaliser des formes « libres ». Par contre les pièces fabriquées offrent une moins bonne résistance mécanique.

Etape 7 - Démoulage

Lorsque les coques sont entièrement stratifiées et sèches, on procède au démoulage par désassemblage des différentes parties du moule.

Etape 8 - Ebarbage

Les coques démoulées, il convient de retirer le surplus de fibres qui dépassent de la pièce au niveau des bords. Selon la dimension des pièces, l'opération est soit manuelle soit mécanique.

Etape 9 - Ponçage et masticage

Lors du démoulage, la jonction entre les différentes parties laisse des traces sur la pièce démoulée qu'il faut mastiquer et poncer pour que la finition soit lisse.

Etape 10 – Mise en peinture

Les coques sont poncées et mis en peinture marine.

Etape 11 : mousse en polyuréthane

Une fois finalisé, nous avons injecté de la mousse en polyuréthane pour augmenter la flottabilité de ces coques.

B- Le filet neustonique et le collecteur en toile :

Un filet en toile à bluter de maillage de 300 microns est découpé selon un gabarit de manière à former un cône. Ce dernier est renforcé par des gaines en nylon lui octroyant sa forme particulière avec une grande ouverture rectangulaire et une autre plus petite et circulaire.

C- Le collecteur en Polychlorure de Vinyle (PVC) :

Un tube en Polychlorure de Vinyle (PVC) est découpé et fileté puis perforé sur sa surface en plusieurs points afin de le munir de fentes filtrantes grâce à une toile identique au filet collée dans sa proie interne.

2.6. Conditions de déploiement du chalut en mer et sa manière d'application

Le chalut Manta dérivant est déployé en mer de la manière suivante

a) Avant chaque déploiement

On doit :

- **Vérifier les fixations du dispositif** : toutes les manilles, câbles, connexions, attaches et nœuds doivent être vérifiés et sécurisés si nécessaire.
- **Vérifier les déchirures et trous du filet** : les petits trous qui peuvent apparaître dans le filet peuvent facilement être réparés avec de la silicone (à disposer dans une boîte à outils).
- **Vérifier le collecteur** : s'assurer qu'il est propre et correctement attaché au reste du filet.
- **Suspendre le filet à quelques centimètres de la surface de l'eau de mer** : à l'aide d'un treuil ou se préparer à le jeter par-dessus bord directement sans l'emploi d'un treuil hydraulique.
- **Prévenir le marin que tout est prêt pour déployer le filet** : à ce stade, la vitesse du navire doit être d'environ 2 à 3 nœuds. Initialiser un chronomètre à zéro.

b) Procédure de déploiement :

Afin de mouiller notre engin on doit :

- **Abaisser le filet ou le mettre délicatement à l'eau** : après que le marin indique que tout est prêt, abaisser le chalut ou le mettre directement à l'eau avec une corde attachée à ses ailes. La corde ne doit pas rentrer dans l'ouverture (bouche) du filet après qu'il soit dans l'eau car elle peut empêcher le débitmètre de tourner correctement. Ne pas jeter le filet brusquement dans l'eau car cela peut endommager le débitmètre attaché à son ouverture. De plus, si le filet se retrouve à l'envers, il sera remorqué sous le navire.
- **Démarrer le chronomètre** : lorsque le débitmètre commence à tourner, démarrer le chronomètre. L'angle du câble avec la surface de l'eau doit être de 20 à 25 degrés durant tout le chalutage. La vitesse de chalutage ne doit pas dépasser 85 cm/s, sinon les œufs des poissons et des larves seront extrudées à travers les mailles. Si la vitesse

moyenne dépasse 85 cm/s, l'échantillonnage est faussé et annulé, rincer le collecteur, et répéter le chalutage.

- **Récupérer le chalut** : à l'aide d'une perche et le sortir hors de l'eau après 15 à 60 minutes de chalutage, arrêter le chronomètre dès que le filet quitte la surface de l'eau. Continuer à tirer le filet à bord si nécessaire.
- **Lavez le filet de haut en bas** : cela doit être fait en utilisant de l'eau de mer de préférence à haute pression en pulvérisant le filet de l'extérieur. Ne pas diriger le jet à l'intérieur du filet car cela altérerait les organismes. Commencer à pulvériser à l'extérieur de l'ouverture du filet vers le collecteur. Retirez le collecteur et conserver rapidement l'échantillon. Si le filet est bouché par le phytoplancton ou des débris et est visiblement décoloré, le tremper dans une solution détergente pendant 24 heures puis le rincer abondamment avant la prochaine utilisation.

c) Après chaque déploiement :

Une fois le chalut est déployé dans l'eau et qu'il commence à racler la surface de la station choisie on doit :

- S'assurer de consigner toutes les informations de terrain sur une fiche.
- S'assurer que la durée totale du chalutage est de 15 à 60 min.
- Pour obtenir le temps de fin de chalutage, nous ajoutons la durée totale du chalutage au temps de début de chalutage.
- Enregistrer les coordonnées géographiques des points de départ et d'arrivée avec un Global Positioning System (GPS) pour chaque trait et radiale parcourue.
- **Rangement et transport** : Pour faciliter la réutilisation et le transport, toutes les parties du chalut à filet neustonique (socle avec coques, filet et collecteurs) sont rincées à l'eau courante et démontées, avant d'être rangées dans une valise de taille appropriée.

3. Quantification

Dans le but de suivre l'évaluation quantitative des microplastiques dans la baie d'El Djamila, les prélèvements ont été effectués dans 3 stations différentes, dans des zones préalablement choisies à savoir : près d'un port, au niveau d'une zone à forte activités anthropiques, et au large de la côte. Chaque transect a duré de 15 à 30 min, a une vitesse qui varie de 2.5 à 3 nœuds, en dépendante de la vitesse du vent.

Les prélèvements ont été réalisés le 19 Octobre 2020 avec l'embarcation appartenant au club de la plongée sous-marine EL MORDJEN. la mer était calme à agitée durant cette journée.

Les zones et transects retenus sont regroupés en annexe et leur localisation est illustrée par la carte suivante :



Figure 29: Localisation des stations de prélèvement (Google Earth, 2020)

3.1. Protocole d'échantillonnage de microplastiques à la surface de la mer

Le protocole suivi pour la réalisation de ce travail a été fondé par le Programme de coopération IPA Adriatique transfrontalière 2007-2013, dans le cadre du projet DeFishGear. Et publié en 2016, mais il a été modifié afin de l'adapter aux exigences du terrain et du laboratoire.

3.1.1. Matériels utilisés

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage des microplastiques est le suivant :

- Filet Manta avec les cordes d'attaches.
- GPS pour noter les coordonnées géographiques des stations de prélèvement.
- Chronomètre.
- 3 flacons d'un litre étiquetés.
- Pissette pour le rinçage du collecteur.
- Formol 70%.
- Glacière.
- Entonnoir en inox.
- Fiche de recueil des données.

3.1.2 Méthodologie de travail (sur terrain)

- Le filet Manta est déployé à l'eau depuis le côté du bateau et hors la zone de sillage (à environ 3 - 4 m du bateau) (**figure 29.1**), afin d'empêcher la collecte d'eau affectées par les turbulences. Le déplacement se fait dans une direction droite avec une vitesse d'environ 2 à 3 nœuds pendant 15 à 30 min (**figure 29.2**). La position GPS est soigneusement notée lors de la mise à l'eau et lors de la récupération du filet.
- Après l'échantillonnage de chaque station le filet est récupéré et rincé soigneusement, allant de la bouche à l'extrémité du collecteur afin de récupérer toutes les particules piégées dans ces deux derniers (**figure 29.3**).
- Les colliers sont dévissés en toute sécurité à l'extrémité du collecteur et le contenu versé dans un flacon de (1L), à l'aide d'un entonnoir (**figure 29.4**).
- 10 ml à 20 ml de formol est ajouté immédiatement à l'échantillon et complété à 1L avec l'eau de mer filtrée (**figure 29.5**).
- Chaque flacon doit être étiqueter en mentionnant le numéro d'échantillon, la date et l'heure de prélèvement et conservé dans une glacière jusqu'au jour de la mesure (**figure 29.6**).
- Les données caractéristiques de chaque prélèvement sont notées sur la feuille de recueil des données.

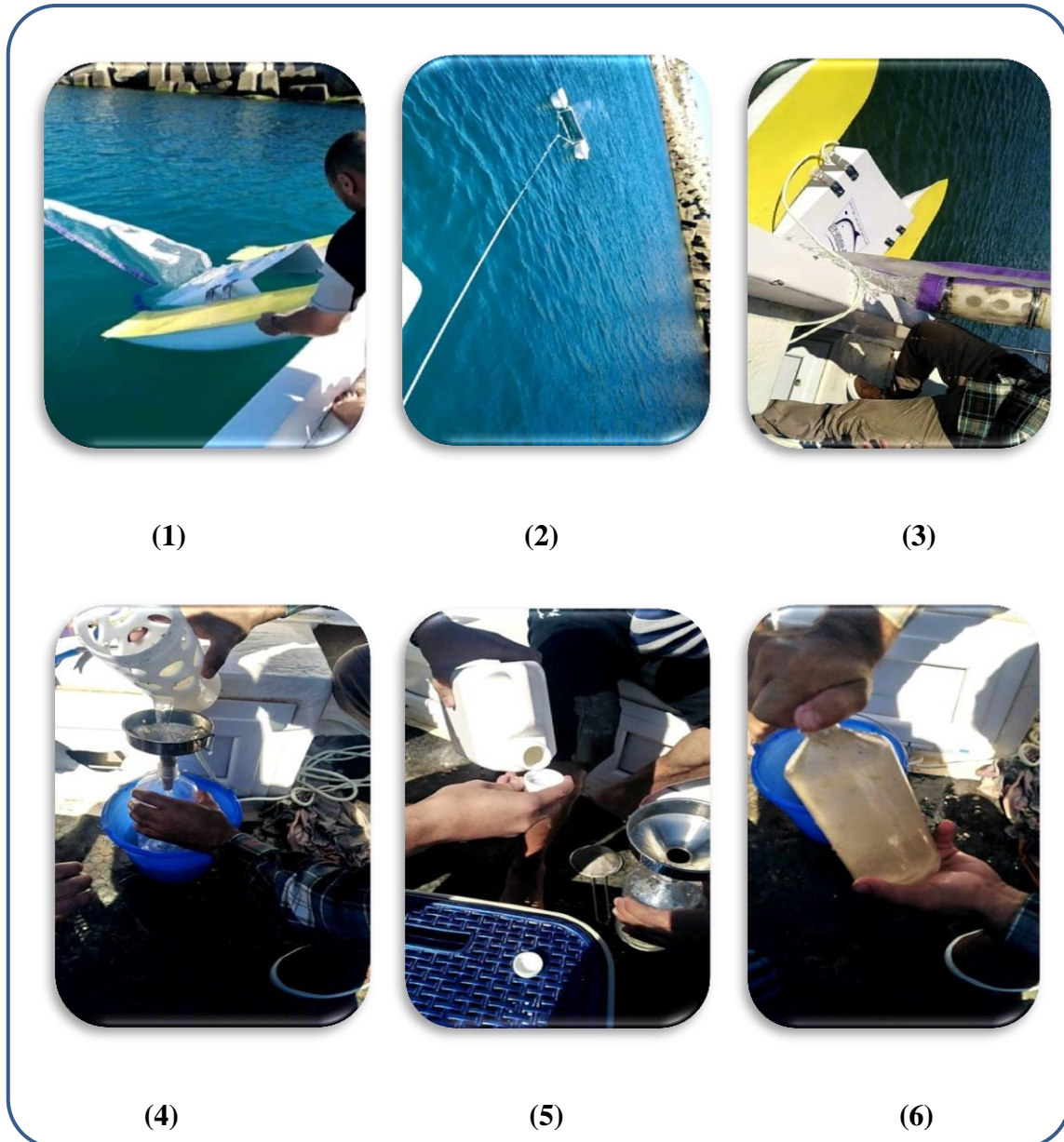


Figure 30: *Protocole de collecte des microplastiques en mer*

3.2. Séparation des microplastiques à partir des échantillons de surface de la mer

La caractérisation visuelle est la méthode la plus couramment utilisée pour l'identification des microplastiques. Elle consiste à identifier les microplastiques utilisant comme critères : le type, la forme, le stade de dégradation, et la couleur.

Une fois traités, les échantillons peuvent être observés sur filtres, tamis ou contenants divers. Si les plus gros MP (> 1 mm) peuvent être distingués à l'œil nu, l'aide d'une loupe

binoculaire est très couramment requise pour observer les MP supérieurs à une centaine de microns, et parfois jusqu'à 50 μm (**Hidalgo-Ruz et al., 2012**).

Les particules plus petites demandent de plus fort grossissements. L'identification des MP dépend fortement de la capacité de l'observateur (**Löder et Gerdts, 2015**). Afin de limiter les erreurs, **Norén (2007)** propose des critères de sélection morphologique :

- Pas de structure organique telle que les cellules,
- Les fibres doivent avoir un diamètre homogène et pouvoir se plier,
- Les particules doivent être nettes et colorées de manière homogène,
- Les particules transparentes ou blanches doivent être examinées à plus fort grossissement ou avec l'aide de microscope fluorescent.

Les caractéristiques morphologiques décrites visuellement pour chaque MP sont la forme, la couleur et parfois le stade de dégradation (**Hidalgo-Ruz et al., 2012**).

3.2.1. Matériels utilisés

- Eprouvette graduée d'1L.
- Tamis 315 μm .
- Bécher.
- Ethanol 70%.
- Pincés.
- Loupe binoculaire (20 - 80x zoom).
- Des boîtes de pétri.
- Pissette d'eau distillée.
- Balance de précision.
- Fiche de recueil.
- Pipette.

3.2.2. Méthodologie de travail (au laboratoire)

- L'échantillon est versé à travers un tamis de 315um (**figure 30.1**) et tous les objets naturels ou artificiels d'une taille > 5 mm (macro et mezzo particules) sont identifiés visuellement à l'aide des pinces (**figure 30.2**). Chaque objet enlevé doit être rincé soigneusement avec de l'eau distillée afin d'éliminer toute particule microplastiques adhérente.
- Après avoir enlevé tous les objets plus grands, tous les morceaux restants sont concentrés dans une partie du tamis (**figure 30.3**) à l'aide de bouteilles à gicler ou de l'eau du robinet.
- L'échantillon est versé dans un récipient en verre par une spatule en inox (**figure 30.4**) et une quantité minimale d'éthanol à 70% est ajoutée à l'aide d'une pipette (**figure 30.5**) (l'utilisation de l'éthanol à 70% est essentiel pour conserver l'échantillon. Aussi à l'étape de l'inspection visuelle de l'échantillon, l'éthanol contribue à décolorer les organismes et les plastiques colorés deviennent donc plus facile à trouver).
- Une petite quantité de l'échantillon (sous-échantillon) est versée dans une boîte de Pétri en verre (**figure 30.6**) et analysée avec l'utilisation d'une loupe binoculaire (20 - 80x zoom) pour la recherche de particules microplastiques (**figure 30.7**).
- Chaque particule microplastiques devrait être classée dans l'une des catégories énumérées dans le (**chapitre1**), la boîte de Pétri doit être fermée à tout moment.

Remarque : Lors de l'identification des microplastiques nous s'assurant d'analyser les objets plus gros de tous les côtés car les MP peuvent être bloqués ou cachés sous les gros articles.

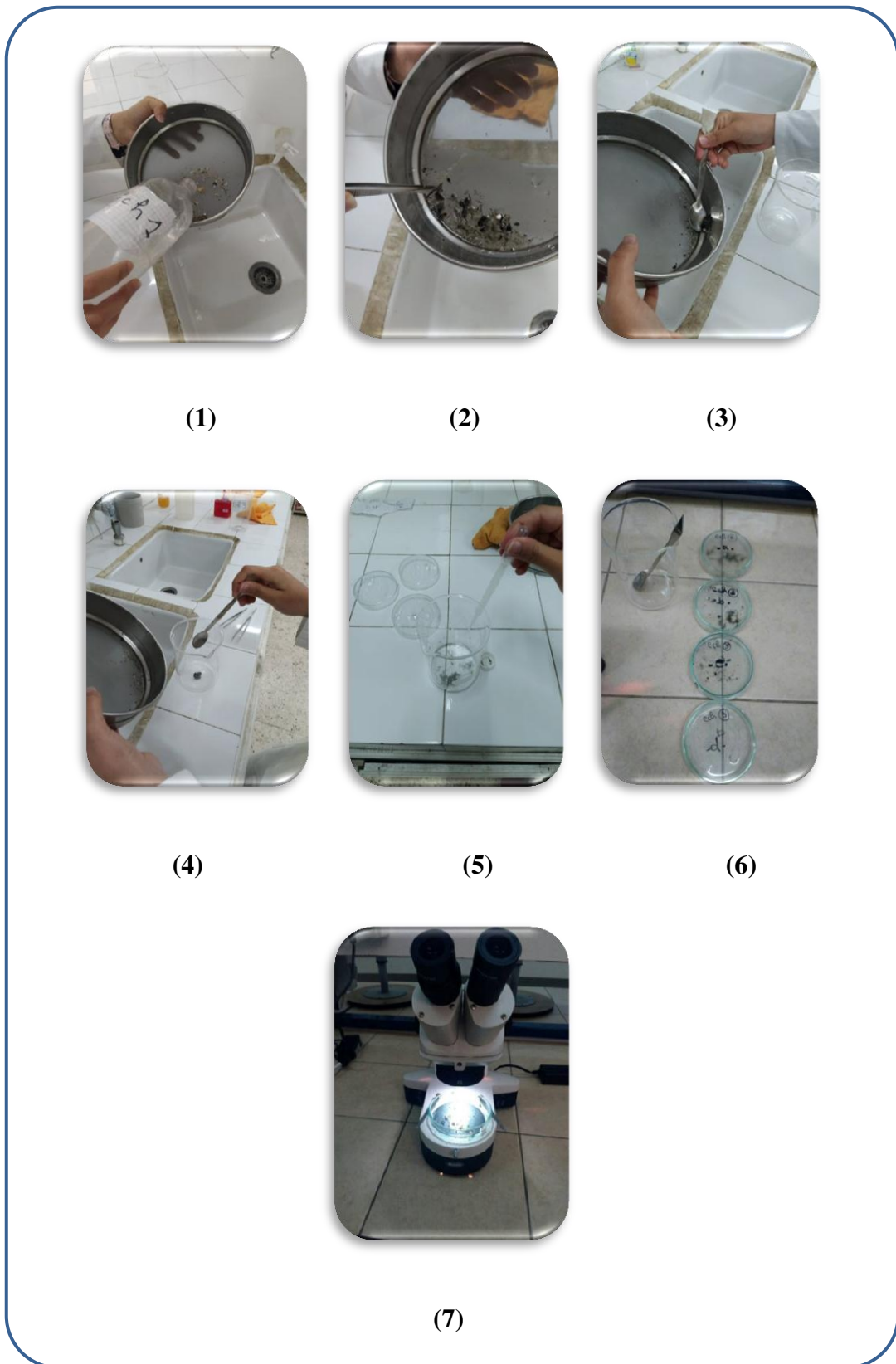


Figure 31: *Méthode de quantification des microplastiques*

CHAPITRE III : Résultats et Discussion

1. Filet Manta

La première partie de ce travail a été consacrée à la conception du filet. Comme indiqué sur cette figure (**Figure 31**), l'engin de prélèvement est très stable dans l'eau, flotte et facile à déployer.



Figure 32: *Filet Manta*

1.1. Tests du filet

➤ Mise à l'eau du filet sans attache (test1) :

Le socle avec les deux coques ont commencé à flotter à la surface de l'eau comme le montre (**la figure 26**). Grâce aux propriétés du matériau composite et de l'injection de la mousse en polyuréthane, l'engin flotte facilement dans l'eau ce qui représente une excellente propriété.



Figure 33: Résultat du test 1

➤ **Mise à l'eau du filet avec traction (test2) :**

La traction de l'engin par l'embarcation à différentes vitesses a montré que ce dernier est très malléable, glisse facilement dans l'eau grâce à la forme aérodynamique des deux coques. Suite à ce test, le filet Manta a commencé à échantillonner la surface de la mer suivant une trajectoire droite, les deux coques jouant le rôle des flotteurs lui assurent une flottabilité, un maintien optimal à la surface de la mer et lui permettent aussi de supporter des vitesses plus grandes contrairement aux autres filets.

1.2. Propriétés des coques du filet Manta

Les propriétés des deux coques ainsi que du socle du filet Manta sont données par le tableau ci-dessous. (Tableau 3).

Tableau 3: *Propriétés des coques du filet Manta*

Paramètres	Caractéristiques
Reprise humidité en %	0.10
Résistance aux UV	Bonne
Résistance en traction	280Mpa
Résistance en compression	280 Mpa
Module d'Young en Mpa	15500
Conductivité thermique en W/m/°K-	0.6
Résistance à l'usure	Elevée
Module de cisaillement	6.1 GPa
Dureté :	360 Mpa
Ductilité en %	1.35
Masse vol.	1.700 kg/m3
Recyclable	Oui

2. Quantification

L'échantillonnage des microplastiques à la surface de la mer avec le filet Manta est une méthode largement utilisée. Un grand volume d'eau peut être prélevé avec la possibilité de piéger une quantité importante des microplastiques, mais à ce jour il n'y a pas eu de méthodologie unifiée.

Au cours de la sortie en terrain, en raison de la météo et du temps limité pour effectuer ce travail nous n'avons pu réaliser que trois échantillons.

Le résultat principal de l'analyse des prélèvements est le nombre de particules microplastiques par chaque échantillon. Ces données peuvent encore être normalisées par km^2 afin d'assurer une comparabilité des résultats entre les différents échantillons. La formule utilisée pour la normalisation est la suivante :

Particules microplastiques par zone (échantillon) /surface de la zone échantillonnée

Où la zone d'échantillonnage est calculée en

Multipliant la distance d'échantillonnage par la largeur de l'ouverture du filet mante

2.1. L'observation visuelle

- **Identification à l'œil nu :** Les résultats de la séparation des objets naturels ou artificiels d'une taille $> 5 \text{ mm}$ (macro et mezzo particules) sont représentés dans la figure ci-dessous : **(Figure 33)**.

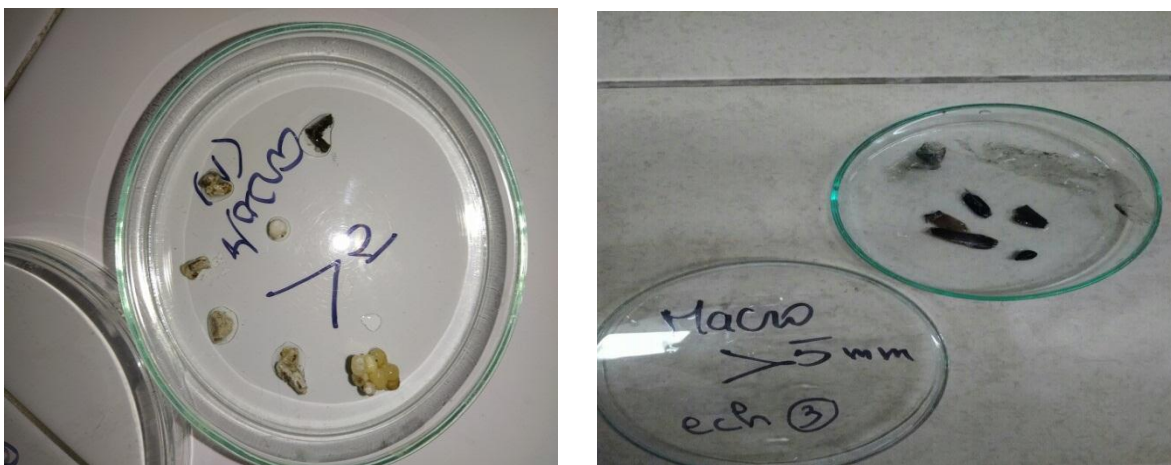


Figure 34: Résultat de la séparation des macrodéchets

- **Après l'utilisation de la loupe binoculaire** : on a trouvé que les six types des microplastiques selon leurs caractéristiques visuelles, la forme et la couleur : fragments (1), films (2), pellets (3), mousses (4), filaments (5), Granules (6) sont présents dans les trois prélèvements avec des quantités considérables.

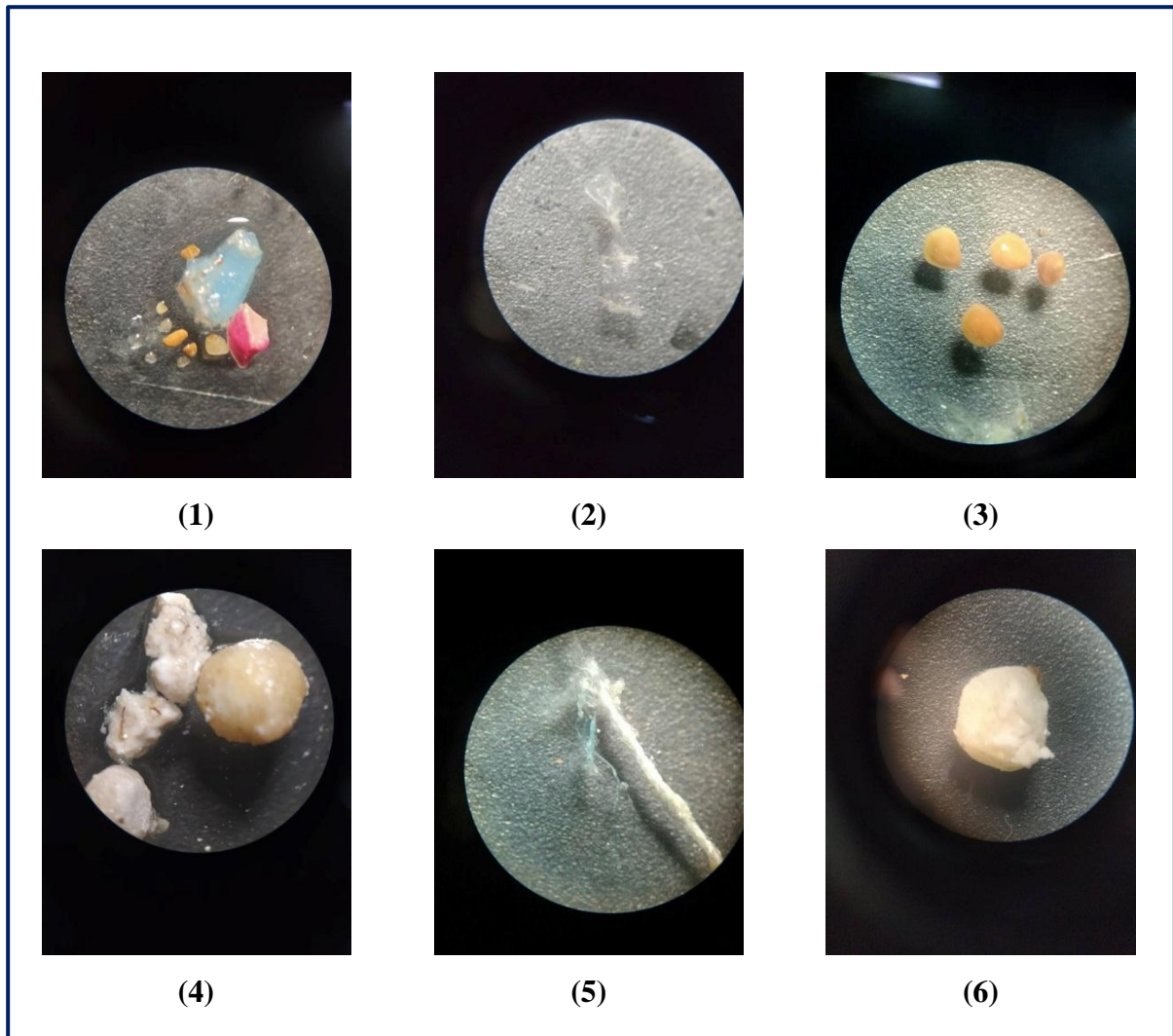


Figure 35: *Les catégories des microplastiques sous la loupe*

2.2. Représentation des résultats de l'identification et la quantification visuelle pour chaque station

Ces tableaux et histogrammes présentent les nombres de particule microplastiques (N0) et leurs abondances (N0/Km2) pour chaque échantillon.

Station1 :

Tableau 4: l'abondance des microplastiques dans la station 1

Echantillon 1	Nombre de PM (N0)	Nombre de PM par surface N [N0/km ²]
Fragment	21	13698
Granules	9	5871
Mousses	500	326158
Filaments	26	16960
Pellet	5	3262
Films	9	5871
Total	570	371820

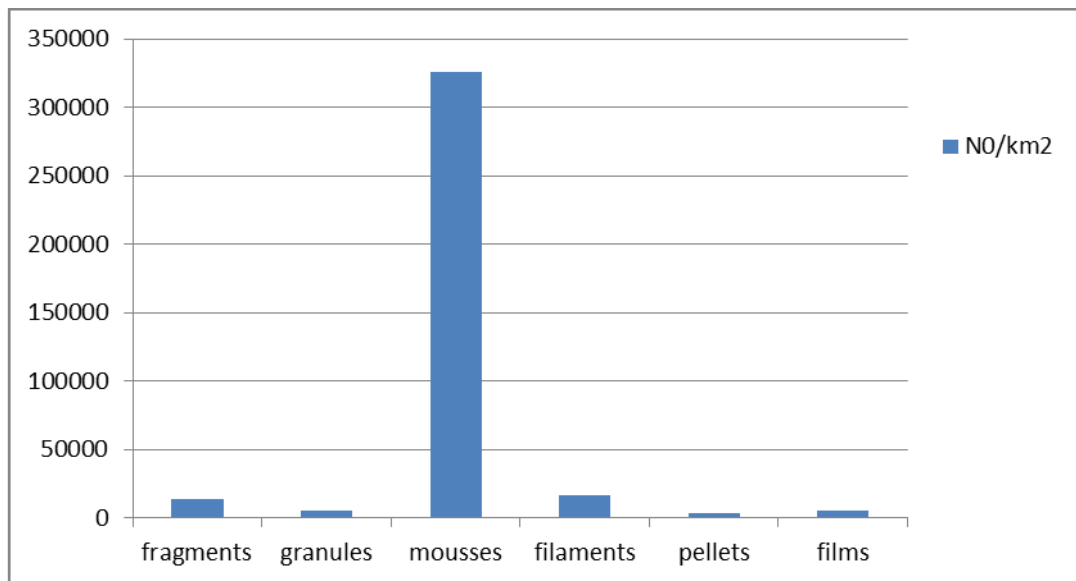


Figure 36: l'abondance des microplastiques par catégorie dans la station 1

Station2 :

Tableau 5: l'abondance des microplastiques dans la station 2

Echantillon 2	Nombre de PM (N0)	Nombre de MP par surface N [N0/km ²]
Fragment	97	119576
Granules	0	0
Mousses	684	843195
Filaments	416	512821
Pellet	8	9862
Films	4	4931
Total	1209	1490385

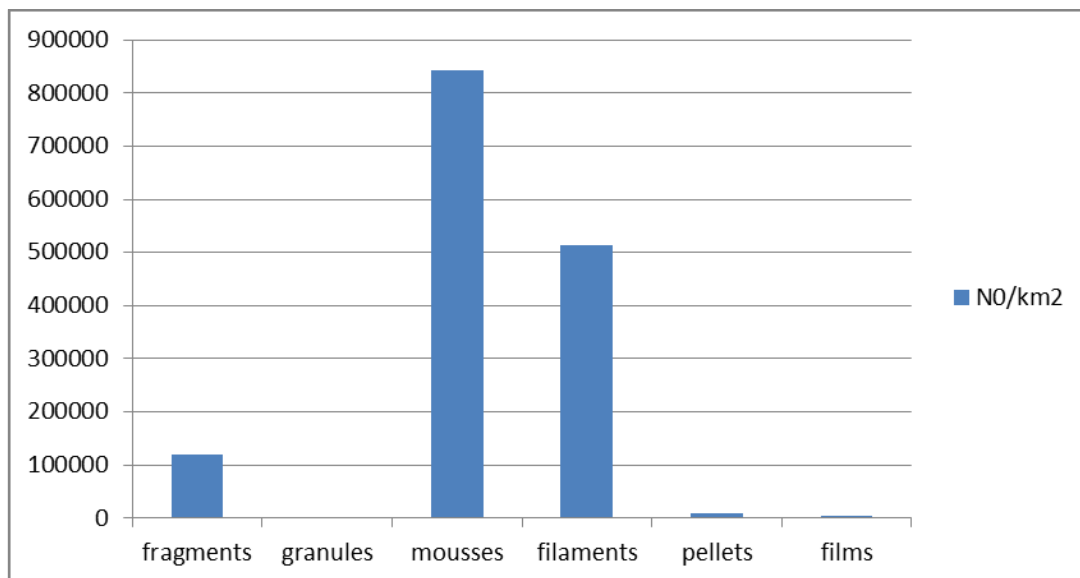


Figure 37: l'abondance des microplastiques par catégorie dans la station 2

Station3 :

Tableau 6: l'abondance des microplastiques dans la station 3

Echantillon 3	Nombre de PM (N0)	Nombre de PM par surface N [N0/km ²]
Fragment	4	2395
Granules	3	1796
Mousses	11	6587
Filaments	263	157485
Pellet	7	4192
Films	17	10179
Total	305	182634

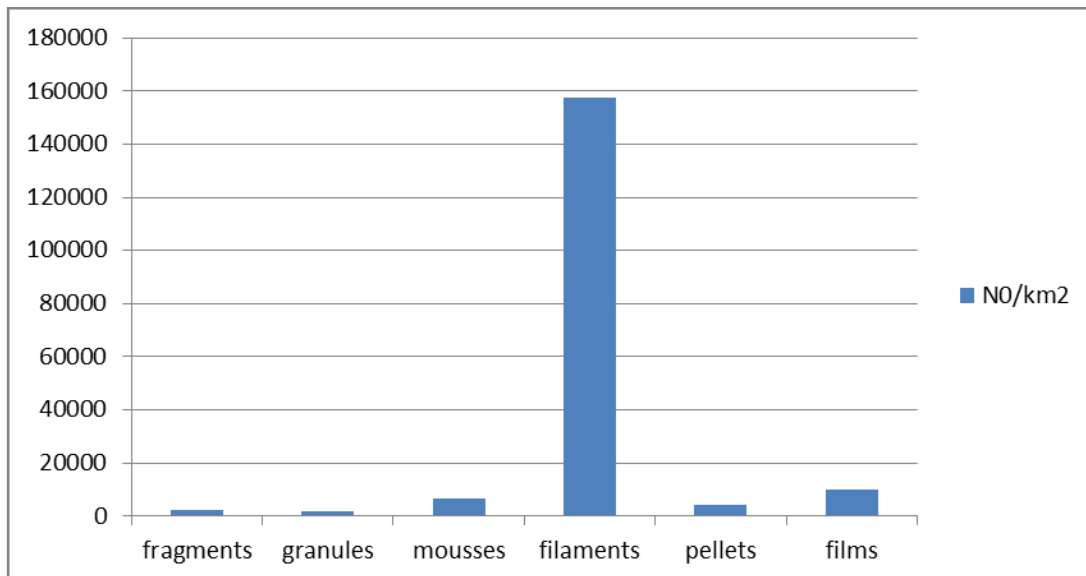


Figure 38: l'abondance des microplastiques par catégorie dans la station 3

Les résultats obtenus par cette étude ont montrés que les PM sont très abondants dans la baie d'El Djamila, avec une moyenne de 681613 particules par km².

Le plus grand nombre de PM (1490385) a été trouvé dans la station (2). La quantité de plastique dans cette station est beaucoup plus élevée que celle des autres stations, Cette différence est statistiquement significative.

Doyle et al. (2011) et Desforges et al. (2014) ont déclaré que le nombre de PM augmente en présence des courants. De ce point de vue, on peut attribuer cette abondance au fait que cette station soit localisée au milieu des courants de la baie, Selon **deLuciaetal. (2014)**, il existe une relation directe entre les activités humaines (par exemple l'urbanisation) et la concentration de PM. On peut dire que l'emplacement de la station (2) étant proche de l'embouchure d'oued de Beni Messous est la raison par laquelle la quantité des MP est très élevée dans cette station que les autres.

La deuxième station à forte concentration de MP est la station 1 avec (371820) PM et la troisième station représente la plus faible concentration de particule (182634).

2.3. La répartition des catégories de microplastiques dans chaque station

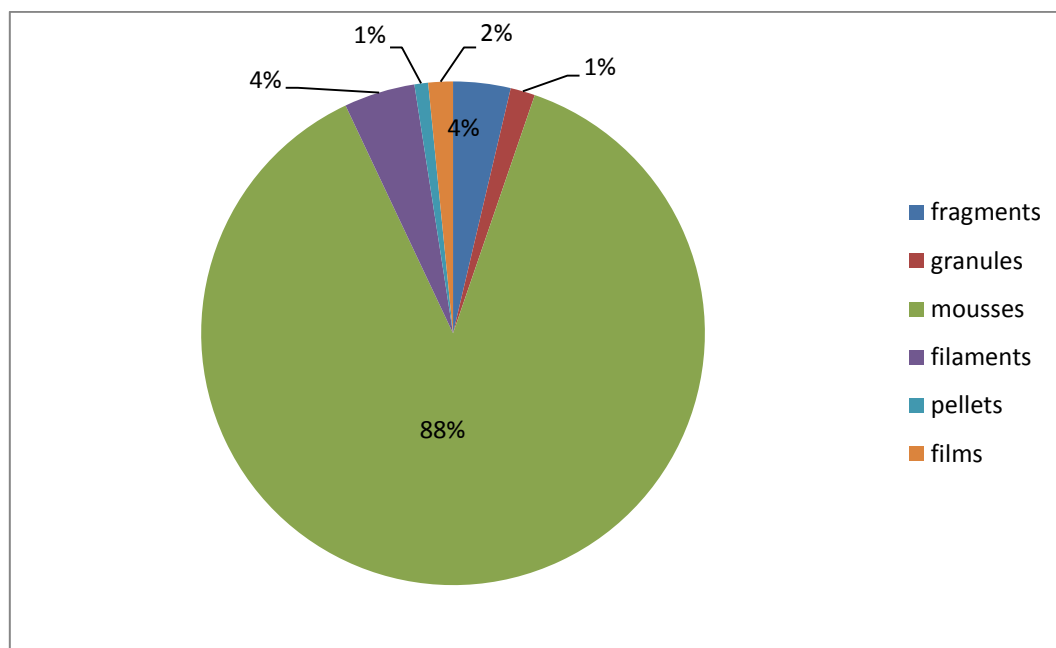


Figure 39: la répartition des microplastiques par catégorie dans la station 1

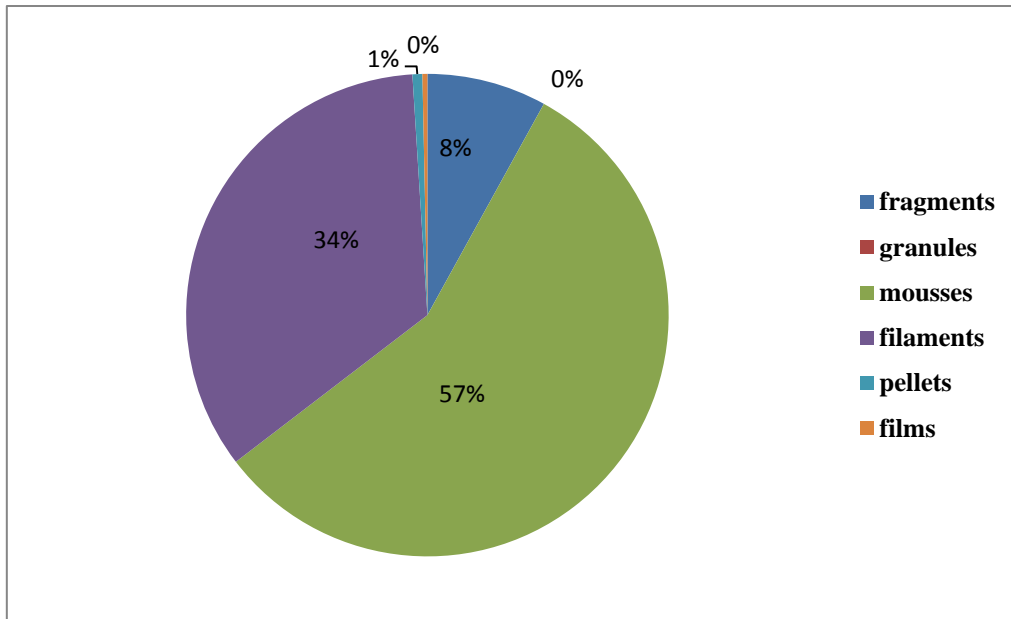


Figure 40: la répartition des microplastiques par catégorie dans la station 2

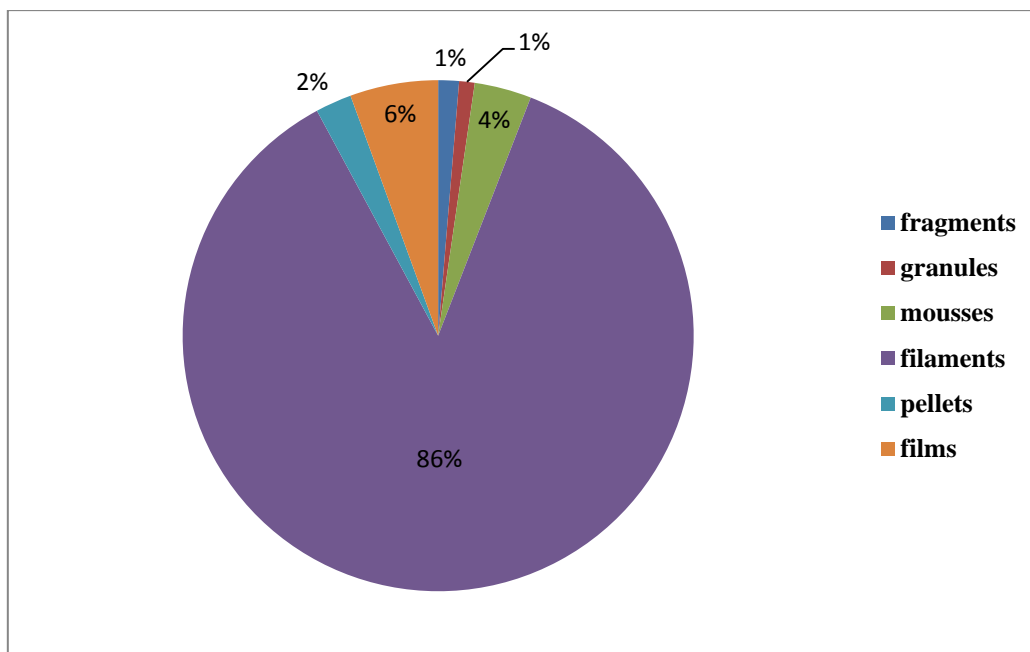


Figure 41 : la répartition des microplastiques par catégorie dans la station 3

Il apparaît que les microplastiques sont présents sur toutes les stations étudiées, mais avec une répartition et abondance des catégories différentes d'une station à une autre, une abondance des mousses dans la station (1) et (2), et une abondance des filaments dans la station (3).

Cette différence est peut être liée à la source des microplastiques. Comme représente le tableau suivant :

Tableau 7: *Catégories des microplastiques, indicatrices de leur usage*

Type	Usage/origine possibles
Fragments	Dégradation de grosses particules Plastiques non spécifiques
Granulé/pellets	Industrie Pré-production, matière première
Microbille	Cosmétique
Fil	Pêche
Fibre	Textiles
Film fin transparent	Emballages
Mousse	Sagex/Styropor Construction Alimentaire

Ceci peut s’expliquer par les rejets domestiques des villes, du Oued Béni-Messous et du port d’El Djamila et du Sidi Fredj qui se déversent directement dans le milieu marin, et ainsi que les rejets d’eaux usées véhiculés par les oueds qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer (Oued Béni Messous, Oued Boukara), et par l’activité anthropique.

2.4. Comparaison des résultats avec les études précédentes

Tableau 8: Des données sur la concentration des microplastiques recueillies en Méditerranée à l'aide d'un chalut Manta.

Sous-region méditerranéenne	N° Echantillon	Maillage de filet	Année d'échantillonnage	Abondance	Unité d'abondance	Références
Sud-Ouest Méditerranée Baie de Bousmail	24	330 µm	2018	101,146 ± 38,580 0.86 ± 0.35	particules/km ² ± SD particules/m ³ ± SD	Setiti & Hamdi
Méditerranée occidentale	24	330 µm	2013	69,161 ± 83,244	particules /km ² ± SD	(Baini et al., 2018)
Méditerranée occidentale	6	780 µm	2014	112,000	particules/km ²	(Schmidt et al., 2018)
Mer Égée levantine	17	330 µm	2015	140,418 ± 120, 671	particules/km ² ± SD	(Güven et al., 2017)
Méditerranée entière	71	333 µm	2011	62,000	particules/km ²	(Luis et al., 2003)
Sud-Ouest Méditerranée Baie de Bousmail	6	335 µm	2017	145397	Particules/km ²	Khattab & Lachtar
Sud-Ouest Méditerranée Baie d'el Djamila	3	300 µm	2020	681613	Particules/km ²	Etude actuelle

Pour pouvoir analyser et comparer éventuellement les résultats entre eux, il faut que les modalités d'acquisition des résultats soient comparables. Or les méthodes d'identification et de la quantification des microplastiques varient et ne sont pas standardisées.

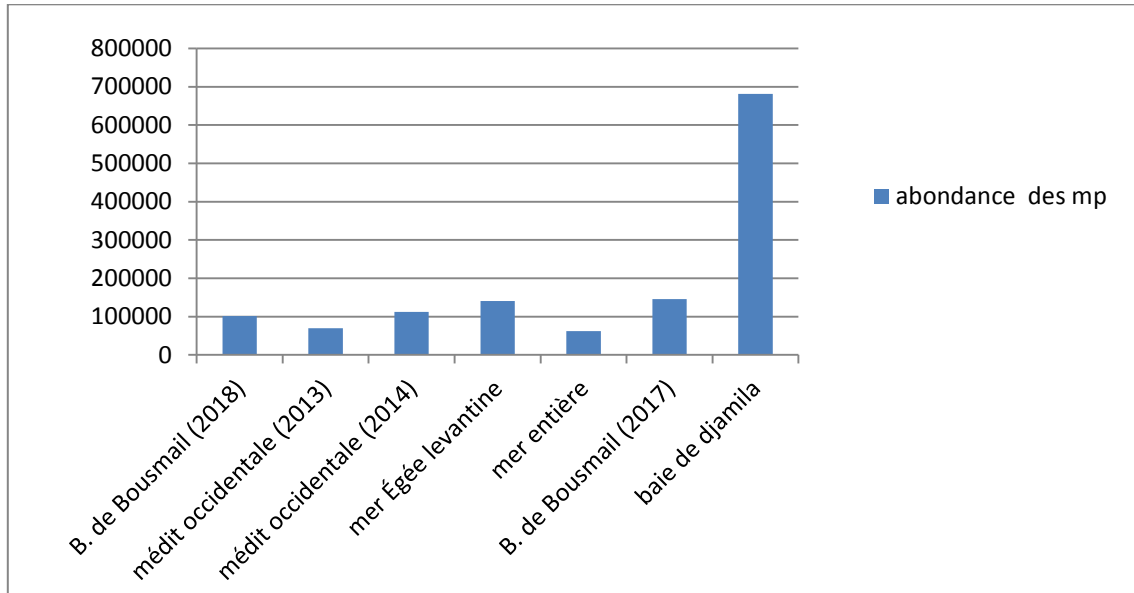


Figure 42: *l'abondance des microplastiques dans des zones en méditerranée*

Par rapport à d'autres études menées en mer Méditerranée, la quantité moyenne de PM trouvée dans cette étude (681613 particules/km²) est plus élevée que les résultats trouvés par ("Setiti & Hamdi", "Baini et al., 2018", "Schmidt et al., 2018", "Guyen et al., 2017", "Luis et al., 2003", "Khattab & Lachtar., 2017").

Cette abondance des microplastiques dans cette baie est liée à la courantologie qui converge les déchets sur cet espace et aussi à l'effet d'oued de Beni Messous qui divise dans la baie

D'autre part, la saison dans laquelle l'échantillonnage a été effectué peut être favorable à l'accumulation de ces microplastiques dans des conditions hydrographiques saisonnières. Il est bien connu que les courants marins varient selon les saisons.

Tout en considérant l'état de la baie, on pense que la raison pour laquelle cette station a une teneur en MP statistiquement et significativement plus élevée est due à la présence d'oued de Beni Messous mais aussi par **l'optimisation du prélèvement** grâce aux caractéristiques de cet engin qui peut racler tous les débris superficiels en raison de sa très bonne flottabilité et sa bonne tenue en mer.

Conclusion

Conclusion

Depuis plusieurs décennies la production mondiale de plastiques ne cesse d'augmenter, menant à une contamination des écosystèmes aquatiques à l'échelle de la planète qui a été récemment estimée à plus de cinq mille milliards de débris de plastiques flottants à la surface des océans.

Les microplastiques (particules de plastique < 5 mm), introduits dans l'environnement aquatique directement en tant que microparticules (granulés plastiques industriels, cosmétiques, fibres textiles) ou lors de la fragmentation de plus gros débris plastiques, représentent une préoccupation scientifique et sociétale grandissante.

Les microplastiques présentent une menace pour l'environnement. Ces particules sont biodisponibles pour une très large gamme d'organismes, du plancton aux grands mammifères marins. Leur ingestion peut avoir différentes conséquences sur la croissance ou encore la reproduction des êtres vivants. Ils sont également susceptibles de s'accumuler dans les organismes et les êtres vivants situés au sommet des chaînes alimentaires. Ainsi, les microplastiques peuvent être les vecteurs d'autres polluants tels que des métaux aqueux, des perturbateurs endocriniens ou encore les polluants organiques persistants.

Il est particulièrement important de pouvoir évaluer localement le degré de pollution par les microplastiques et sa dangerosité potentielle pour l'homme et les écosystèmes afin de déterminer le risque associé et pouvoir proposer les moyens les plus adaptés pour y remédier. Pour cela, il est nécessaire **d'améliorer les engins et les techniques de prélèvement et de l'extraction des microplastiques** présents dans les différentes matrices naturelles d'en diminuer le coût.

Les objectifs de notre travail sont : (1) la conception d'un engin innovant en composite pour le prélèvement des microplastiques en surface de l'eau de mer et son déploiement, (2) l'évaluation de la contamination de la matrice eau par les microplastiques et (3) l'identification des catégories potentiel des PM dans la baie d'el Djamilia. L'idée est de concevoir un engin sous forme d'un petit catamaran, composé de deux coques qui peut transporter un filet grâce à un socle en composite.

Grace à la coopération avec une société de fabrication de composite (HAMZA COMPOSITE), nous avons réussi à fabriquer les coques et le socle du filet entièrement en

composite selon un procédé long et minutieux décrit précédemment dans la partie matériels et méthodes.

En conclusions, nous pouvons dire que cet engin est innovant sur tous les plans : le matériau de fabrication (composite), son design, sa structure et surtout ses caractéristiques.

Les caractéristiques principales de cet engin après déploiement sont :

- Facile à transporter.
- Compacité.
- Légèreté.
- Flottabilité.
- Bonne tenue en mer.
- Facilité de traction.
- Peut supporter des vitesses élevées.
- Facile à transporter.
- Bonne résistance aux chocs.
- Bonne tenue en fatigue.
- Non corrosif.
- Insensible aux produits chimiques.
- Une meilleure tenue au feu.

L'évaluation de la quantité de microplastiques dans la baie d'El Djamila en utilisant ce nouveau filet Manta a donné des résultats impressionnants. En effet, nous avons trouvé des quantités très importantes en micro plastiques avec une concentration moyenne de 681613 particules par km². Ces résultats peuvent s'expliquer par la pollution de cette zone en débris plastiques mais aussi par l'optimisation du prélèvement grâce aux caractéristiques de cet engin qui peut racler tous les débris superficiels en raison de sa très bonne flottabilité et sa bonne tenue en mer.

Dans l'ensemble, ce travail fournit une première évaluation approfondie de l'état de contamination de la baie d'el Djamila par les microplastiques ainsi que de solides recommandations méthodologiques pour des travaux futurs.

En perspective, cet engin peut subir des améliorations qualitatives et quantitative en agissant sur la formulation du composite, le dimensionnement de sa structure, en multipliant les coques pour devenir un engin transportant plusieurs filets, peut être automatisé dans l'avenir avec la possibilité des mesures in situ de certains paramètres physico-chimiques.

Bibliographie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Agence Nationale des Déchets, Kehila, Y. (2016).** *Caractérisation des déchets ménagers et assimilés dans les zones nord, semi-aride et aride d'Algérie.* 24 p. [en ligne] [consulté le 03/04/2020]. Disponible sur : <https://and.dz/site/wp-content/uploads/2016/04/etude-caracterisation-2014-1>.
- **Alliouane, A., Ramdani, L. (2006).** *Aménagement des ports de pêche de Zemmouri et d'El Djamila.* Mémoire d'ingénieur. aménagement du littoral. Daly Brahim ; ISMAL.
- **Andrady, A.L. (2011).** *Microplastics in the marine environment.* Mar. Pollut. Bull. 62, 1596–1605.
- **Andrady, A.L., Rajapakse, N. (2017).** *Additives and Chemicals in Plastics.*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1-17 p.
- **Aucher, J. (2009).** *Etude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable* (phdthesis). INSA de Rouen.
- **Bachari, F. (2009).** *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partie de l'image satellitaire.* Thèse de Doctorat, 35 p.
- **Baini, M., Fossi, M.C., Galli, M., et al. (2018).** *Abundance and characterization of microplastics in the coastal waters of Tuscany., (Italy): The application of the MSFD monitoring protocol in the Mediterranean Sea.* Mar. Pollut. Bull.133, 543–552. [en ligne] [consulté le 15/07/2020]. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.016>.
- **Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., et al. (2009).** *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments.* Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences. 364,1985-1998.
- **Bellahsene, Y., Messaoudi, S. (2005).** *Etude bathymétrique, sédimentologie et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila.* Mémoire d'ingénieur, Daly Brahim ; ISMAL, 13-26 p.
- **Berthelot, J.M. (1992).** *Matériaux composites:Comportement mécanique et analyse des structures,* Paris : MASSON.
- **Berthelot, J.M. (2005).** *Matériaux composites, Comportement mécanique et analyse des structures,* Paris : Lavoisier.
- **Berthelot, J.M. (2010).** *Mécanique des Matériaux et Structures Composites.* 05290 Vallouise.
- **Bonhomme, S., Cuer, A., et al. (2003).** *Environmental biodegradation of polyethylene.* Polymer Degradation and Stability, 81: 441-452.

- **Boucher, J., Friot D. (2020).** *Microplastiques primaires dans les océans : évaluation mondiale des sources*. Gland, Suisse : UICN. 44 p.
- **Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., et al. (2011).** Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175–9179. [en ligne] [consulté le 19/09/2020] Disponible sur : <https://doi.org/10.1021/es201811s>.
- **Chatain, M. (1998a).** *Matières thermoplastiques Introduction. Techniques de l'ingénieur* *Matières thermoplastiques* : monographies. base documentaire : TIB147DUO.
- **Chatain, M. (1998b).** *Matières thermodurcissables Introduction. Techniques de l'ingénieur* *Matières thermodurcissables* : monographies. base documentaire : TIB146DUO.
- **Choong, H. H., and Calder, D. R. (2013):** *Sertularella mutsuensis* Stechow, 1931 (Cnidaria: Hydrozoa: Sertulariidae) from Japanese tsunami debris: Systematics and evidence for transoceanic dispersal. *BioInvasions Record*, 2.
- **Choy, C.A., Drazen, J.C. (2013).** Plastic for dinner, Observations of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*. 485, 155-163. doi: 10.3354/meps10342
- **Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., et al. (2011).** Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2588-2597.
- **Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., et al. (2014).** Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 201314705. doi:10.1073/pnas.1314705111.
- **Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., et al. (2015).** *Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea*. PloS one. 10, e0121762. doi: 10.1371/journal.pone.0121762.
- **Davis, A., Sims, D. (1983).** Weathering of polymers. *Applied Science Publishers*. 294 p.
- **De Lucia, G.A., Caliani, I., Marra, S., et al. (2014).** *Quantité et répartition du microplastique néustonique au large de la côte occidentale de la Sardaigne (Méditerranée centrale et occidentale)*. Recherche sur l'environnement marin, 100, 10-16. doi : 10.1016/j.marenvres.2014.03.017.
- **De Sá, L.C., Luís, L.G., Guilhermino, L. (2015).** *Effects of microplastics on juveniles of the common goby (Pomatoschistus microps): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions*. *Environmental Pollution*. 196, 359-362. doi: 10.1016/j.envpol.2014.10.026.
- **De Witte, B. (2017).** *Microplastics in the food chain: risk characterization for human health and prevalence*, 13th Symposium of the Scientific Committee of the Belgian Federal Agency for Safety of the Food Chain, Brussels, and Belgium.

- **Desforbes, J.-P.W., Galbraith, M., Dangerfield, N., et al. (2014).** *Distribution étendue des microplastiques dans l'eau de mer souterraine dans le Pacifique NE.* Bulletin de la pollution marine, 79(1), 94-99. doi : 10.1016/j.marpolbul.2013.12.035.
- **Doumanji, N., Amenouche, C. (2015).** *Contribution à l'étude de la pollution par les microplastiques dans la baie de Bou-Ismaïl.* Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en science de la mer. Option : Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 56 p.
- **Doyle, M.J., Watson, W., Bowlin, N.M., et al. (2011).** Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific Ocean. *Recherche sur le milieu marin*, 71(1), 41-52. doi : 10.1016/j.marenvres.2010.10.001.
- **EFSA CONTAM Panel (European Food Safety Authority Panel on Contaminants in the Food Chain). (2016).** *Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood.* EFSA Journal 2016; 14(6):4501, 30 p.
- **Eriksen, M., et al. (2017).** Microplastic sampling with the AVANI trawl compared to two neuston trawls in the Bay of Bengal and South Pacific, *Environmental Pollution* [en ligne] [consulté le 06/05/2020]. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.09.058>.
- **Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., 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, e111913. doi:10.1371/journal.pone.0111913.
- **Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., et al. (2013).** *Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes.* Marine Pollution Bulletin. 77, 177-182. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.007.
- **Essel, R., Engel, L., Carus, M., et al. (2015).** *Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany,* [en ligne] [consulté le 12/08/2020]. Disponible sur: www.umweltbundesamt.de/publikationen/sources-of-microplastics-relevant-to-marine, 45 p.
- **European Chemicals Agency (ECHA). (2019).** *Annex VI Restriction report: Proposal for a restriction.* Intentionally added microplastics. Finland. [en ligne] [consulté le 21/06/2020]. Disponible sur : https://echa.europa.eu/documents/10162/13641/rest_formaldehyde_axvreport_en.pdf/2c798a08-591c-eed9-8180-a3c5a0362e37.
- **Fontanille, M., Gnanou, Y. (2014).** *Chimie et physico-chimie des polymères.* Dunod.
- **GESAMP. (2015).** *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment,* (Kershaw, P.J., ed.).

(IMO/FAO/UNESCO/IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.

- **Geyer, R., Jambeck, J. R., Law, K. L. (2017).** Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3, e1700782. [en ligne] [consulté le 28/06/2020]. Disponible sur: <http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782.abstract>.
- **Grand View Research, Inc. (2016).** *Traffic Road Marking Coating Market Analysis By Product (Paint, Thermoplastic, Preformed Polymer Tape, Epoxy) And Segment - Forecasts To 2022.*
- **Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., et al. (2017).** *Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish.* *Environ. Pollut.* 223, 286–294. [en ligne] [consulté le 10/05/2020]. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.025>.
- **Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., et al. (2012).** *Les microplastiques dans l'environnement marin : un examen des méthodes utilisées pour identification et quantification.* *Environ Sci Technol* 46, 3060-3075.
- **HOUMA., F. (2009).** *Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partie de l'image satellitaire.* Thèse de doctorat, Université de Val de Marne Paris XII, Spécialité : Science de l'univers et Environnement, 274 p.
- **IndustrievereinigungChemiefaser. (2013).** *Man-made fibers.* [en ligne] [consulté le 05/06/2020]. Disponible sur: <https://www.ivcev.de>.
- **Ioakeimidis, C., Papatheodorou, G., Fermeli, G., et al. (2015).** *Use of ROV for assessing marine litter on the seafloor of Saronikos Gulf (Greece): A way to fill data gaps and delivers environmental education.* *SpringerPlus*, 4, 463, doi: 10.1186/s40064-015-1248-4. [en ligne] [consulté le 03/07/2020]. Disponible sur <http://www.springerplus.com/content/4/1/463/abstract>.
- **Ipekoglu, B., Böke, H., Cizer, O., (2007).** *Assessment of material use in relation to climate in historical buildings.* *Building and Environment*, 42: 970-978.
- **Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., et al. (2015).** *Plastic waste inputs from land into the ocean.* *Science*, 347, 768-771, doi:10.1126/science.1260352. [en ligne] [consulté le 27/02/2020]. Disponible sur: <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/768>.
- **Khettab, K., Lachtar, Z. (2017).** *Evaluation quantitative des microplastiques dans la baie de Bousmail.* 58-61 p.
- **Klein, S., Dimzon, I. K., Eubeler, J., et al. (2018).** *Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment.* *Freshwater Microplastics, The Handbook of*

- Environmental Chemistry, *Springer, Cham*, 51–67. [en ligne] [consulté le 12/03/2020]. Disponible sur: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-61615-5_3.
- **Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., et al. (2016).** *Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies.* Environ. Sci. Technol., 50, 3315-3326.
 - **Koelmans, A.A., Besseling, E., Foekema, E.M. (2013).** *Leaching of plastic additives to marine organisms.* Environ. Sci. Technol., 187, 49-54 p.
 - **Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., et al. (2016).** *Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis.* JoVE(118), e55161. doi: doi:10.3791/55161
 - **Kühn, S., Rebolledo, E. L. B., van Franeker, J. A. (2015).** *Deleterious Effects of Litter on Marine Life.* Marine Anthropogenic Litter, M. Bergmann, L. Gutow, and M. Klages, Eds., Springer International Publishing, 75– 116. [en ligne] [consulté le 23/06/2020]. Disponible sur: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_4.
 - **LABORATOIRE D’ETUDE MARITIMES (LEM). (1998).** *Dragage des ports de Sidi Fredj et d’El Djamila : Rapport portant sur les résultats d’analyses chimiques des sédiments à draguer.*
 - **Lassen, C., Foss Hansen, S., Magnusson, K., et al. (2015).** *Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark* (The Danish Environmental Protection Agency).
 - **Lebreton, L. C. M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.W., et al. (2017).** *River plastic emissions to the world’s oceans.* Nature Communications, 8, 15611, doi:10.1038/ncomms15611. [en ligne], [consulté le 15/06/2020]. Disponible sur le web : <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/ncomms15611>.
 - **Leslie, H.A. (2015).** *Plastic in Cosmetics: are we polluting the environment through our personal care.* UNEP 2015, 33 p.
 - **Li, J., Liu, H., Paul Chen, J. (2018).** *Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection.* Water Res. 137, 362-374.
 - **Lithner, D., Larsson, A., Dave, G. (2011).** *Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition.* Sci. Total Environ. 409, 3309–3324. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.04.038.
 - **Luis, R.O., Rafael, S., Jun, R.P. (2003).** *Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea.* Mar. Environ. Res. 120, 136–144. [en ligne] [consulté le 09/07/2020].

Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.08.001>.

- **Magnuson, K., Eliason, K., Frane, A., et al. (2016).** *Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment*. [en ligne] [consulté le 01/09/2020]. Disponible sur: www.ivl.se/webdav/files/Rapporter/C183.
- **MAHIOUT L., (1978).** *Numerical estimates de la pollution bactérienne dans l’embouchure de l’oued Béni-Messous*. Mémoire d’ingénieur, option : aménagement. ISMAL, 88 p.
- **Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., et al. (2001).** *A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre*. *Marine Pollution Bulletin*. 42, 1297- 1300. doi: 10.1016/S0025-326X(01)00114-X.
- **Muller, R.J., Kleberg, I., Deckwer, W.D. (2001).** *Biodegradation of polysters containing aromatic constituents*. *Biotechnology*, Vol. 86.
- **Noamvan der Hal., Asaf Ariel., Dror L. Angel. (2017).** *Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters*. 151-155 p.
- **Norén, F., Ekendahl, S., Johansson, U. (2009).** *Mikroskopiska antropogena partiklar i svenskahav*. [en ligne] [consulté le 02/05/2020]. Disponible sur: www.diva-portal.org/smash/get/diva2:717410/FULLTEXT01.
- **Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., et al. (2014).** *Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice*. *Earth's Future*. 2, 315- 320. doi: 10.1002/2014EF000240
- **OECD Series on emissions documents. (2009).** *Emission Scenarion documents on coating industry (Paints, Laquers and Varnishes)*.
- **PlasticsEurope. (2016).** *Plastics - the Facts 2016: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. [en ligne] [consulté le 17/04/2020]. Disponible sur: <http://www.plasticseurope.fr/Document/plastics---the-facts-2016-15787.aspx?FolID=2>.
- **PlasticsEurope. (2018).** *Plastics – the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. [en ligne] [consulté le 17/04/2020]. Disponible sur: https://www.plasticseurope.org/application/files/1715/2111/1527/Plastics_the_facts_2017_FIN_AL_for_website.
- **Raquez, J.M., et al. (2011).** *Oxydative degradation of oxodegradable LDPE enhanced with thermoplastic pea starch: Thermomechanical properties, morphologie, and UV-ageing studies*. *Science*, Vol. 122.
- **Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., et al. (2013).** *Long-Term Field Measurement of Sorption of Organic Contaminants to Five Types of Plastic Pellets: Implications for Plastic Marine Debris*. *Environ. Sci. Technol.* 47, 1646-1654.

- **Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., et al. (2009).** *Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment.* Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences 364, 1999-2012. doi: 10.1098/rstb.2008.0207.
- **SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. (2019).** *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society.* Berlin: SAPEA. Evidence Review Report No 4.
- **Schmidt, N., Thibault, D., Galgani, F., et al. (2018).** *Occurrence of microplastics in surface waters of the Gulf of Lion (NW Mediterranean Sea).* Prog. Oceanogr. 163, 214–220. [en ligne] [consulté le 07/09/2020]. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.11.010>Sci.Technol., 51, 6634-6647.
- **Setälä, O., Magnusson, K., Lehtiniemi, M., et al. (2016).** *Distribution et abondance des microlitter d'eau de surface dans la mer Baltique : comparaison de deux méthodes d'échantillonnage.* Mar. Pollut. Bull. 110, 177–183.
- **Seymour, R.B., Mark, H.F., Pauling, L., et al. (1989).** *The Development of Thermosets by Lee Baekeland and Other Early 20th Century Chemists,* in: Seymour, R.B. (Ed.), *Pioneers in Polymer Science, Chemists and Chemistry.* Springer Netherlands, pp. 81–92. doi:10.1007/978-94-009-2407-9_7.
- **Smith, M., Love, D.C., Rochman, C.M., et al. (2018).** *Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health.* Current Environmental Health Reports, 5:375–386. Environment International, 102, 165-176.
- **Sundt, P., Schulze, P.E., and Syversen, F. (2014).** *Sources of microplastic- pollution to the marine environment (MEPEX).* [en ligne] [consulté le 16/01/2020]. Disponible sur: www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M321/M321.
- **UNEP & GRID-Arendal. (2016).** *Marine Litter Vital Graphics.*
- **Van Sebille, E., Aliani, S., Law, K., et al. (2020).** *The physical oceanography of the transport of floating marine debris.* Environ. Res. Lett. 15. [en ligne] [consulté le 12/09/2020]. Disponible sur: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6d7d>.
- **Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., et al. (2015).** *A global inventory of small floating plastic debris.* Environmental Research Letters. 10, 124006.
- **Watson, R., Revenga, C., Kura, Y. (2006).** *Fishing gear associated with global marine catches: I. Database development.* Fisheries Research. 79, 97-102. doi: 10.1016/j.fishres.2006.01.010.
- **World Economic Forum. (2016).** *The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics.*

- **Wright, S.L., & Kelly, F.J. (2017).** *Plastic and human health: a micro issue Environ.*
- **Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. (2013).** *The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. Environ. Pollut.* 178, 483–492.
doi:10.1016/j.envpol.2013.02.031.
- **Zobkov, M.B., Esiukova, E.E., Zyubin, A.Y., et al. (2019).** *Variation du contenu microplastique dans la colonne d'eau : les observations à l'aide d'un nouvel outil d'échantillonnage dans stratified Baltic Sea. Mar. Pollut. Bull.* 138, 193–205.

Annexes

ANNEXES

Dimensionnement de l'engin en (mm)

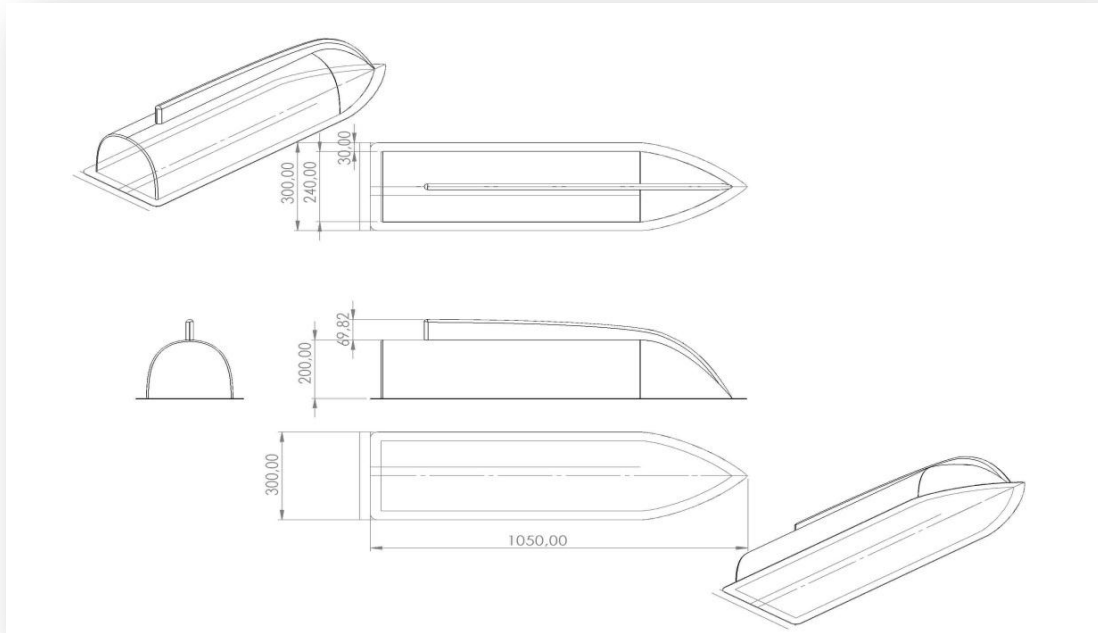


Figure: *Forme et dimensionnement de la coque*

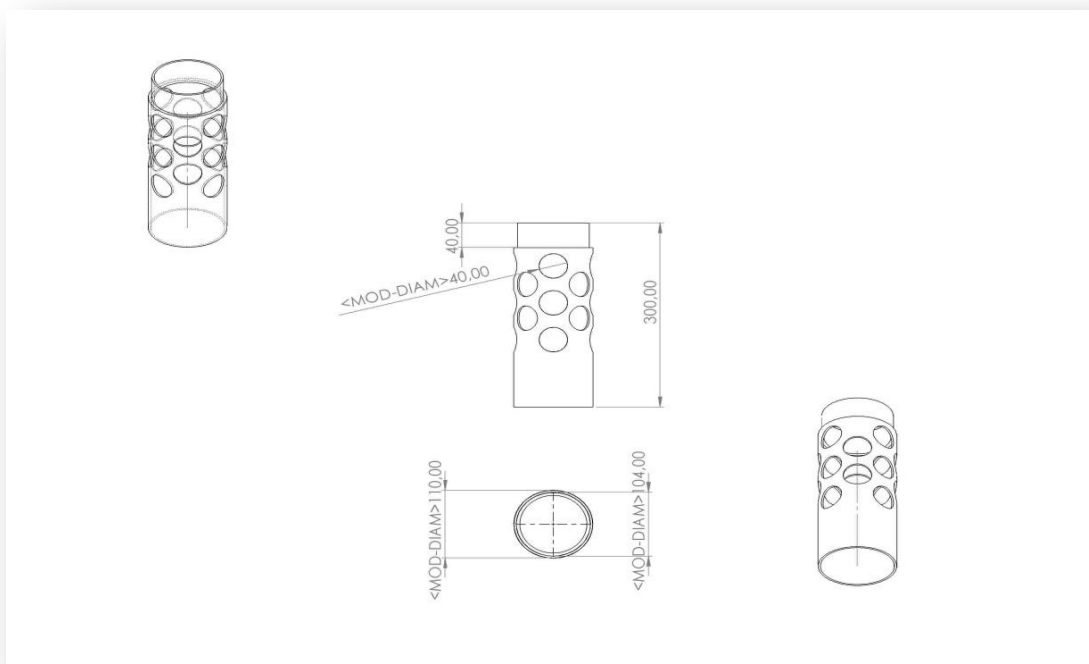


Figure: *Forme et dimensionnement du collecteur en PVC*

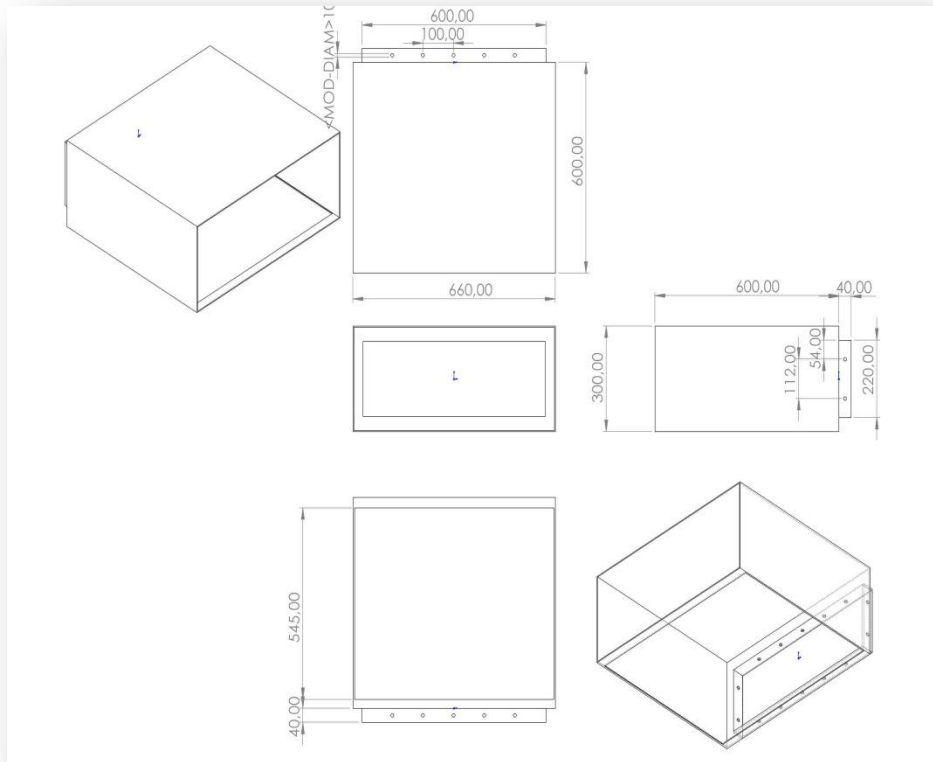


Figure: *Forme et dimensionnement du socle*

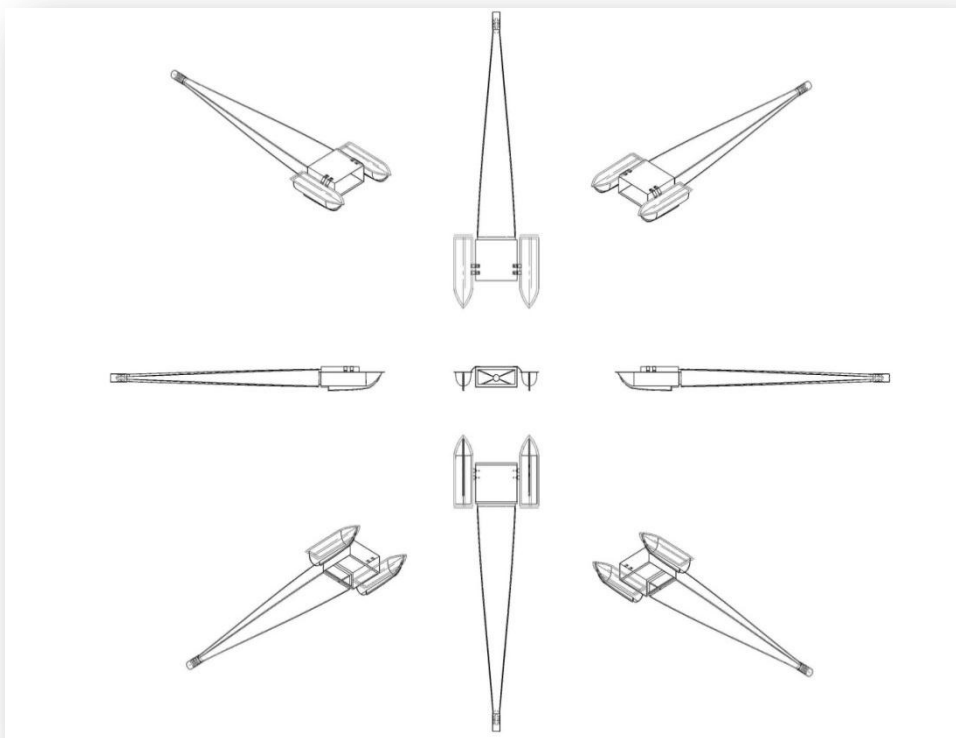


Figure : *représentation de l'engin de prélèvement dans tous les cotés*

Tableau : Présentation des données de la sortie

Trajet	Coordonnées Début	Coordonnées Fin	Distance (nm)	Durée (min)	Vitesse (Kt)	Etat de la mer
1	36°47'58''N 2°53'49''E	36°46'41''N 2°53'10''E	1.38	30	2.76	Calme
2	36°46'33''N 2°52'54''E	36°47'13''N 2°53'16''E	0.73	16	2.75	Agitée
3	36°47'11''N 2°53'5''E	36°47'57''N 2°54'00''E	1.05	25	2.52	Calme

Tableau : Les données utilisées pour le calcul de particules microplastiques par km²

	Trajet 1	Trajet 2	Trajet 3
Distance d'échantillonnage 'l' (m)	2555	1352	1945
Largeur du filet 'D' (m)	0.6	0.6	0.6
Surface d'échantillonnage 'a' (m ²)	1533	811.2	1167

Résumé

Notre étude consiste à la conception, la fabrication et le déploiement d'un nouveau engin innovant en matériaux composite ; qui est le filet Manta afin de collecter des microplastiques sur les eaux de surface et les quantifier au laboratoire.

Au niveau de la côte algérienne plus précisément la baie d'El Djamila, nous avons effectué 3 stations de prélèvements avec ce filet Manta et après la quantification ; nous avons trouvé des quantités considérables des particules microplastiques ; grâce à l'optimisation du prélèvement liée aux caractéristiques de cet engin.

Ces microplastiques proviennent de nombreuses sources et origine et deviennent un réel danger qui menace les écosystèmes marin et qui a des conséquences sur la santé des habitants. Afin de pouvoir proposer les moyens les plus adaptés pour y remédier, il est nécessaire d'améliorer les engins et les techniques de prélèvement et de l'extraction des microplastiques présents dans les différentes matrices naturelles d'en diminuer le coût.

Mots Clés : Filet Manta, microplastiques, pollution, eau de surface, composite.

ABSTRACT:

Our study consists of the design, manufacture and deployment of a new innovative composite material device; which is the Manta net in order to collect microplastics from surface waters and quantify them in the laboratory.

On the Algerian coast, more precisely in the bay of El Djamila, we carried out 3 sampling stations with this Manta net and after quantification; we found considerable quantities of microplastic particles, thanks to the optimisation of the sampling linked to the characteristics of this machine.

These microplastics come from many sources and origins and become a real danger that threatens marine ecosystems and has consequences on the health of the inhabitants.

In order to be able to propose the most suitable means of remedying this, it is necessary to improve the equipment and techniques for the removal and extraction of the microplastics present in the various natural matrices to reduce their cost.

Keywords: Manta Net, microplastics, pollution, surface water, composite.

ملخص

تتكون دراستنا من تصميم، تصنيع و تجربة آلة مبتكرة جديدة من المواد المركبة ؛ وهي شبكة ماننا لتجميع الجسيمات البلاستيكية الدقيقة على المياه السطحية وتحديد كميتها في المختبر.

على الساحل الجزائري وبالتحديد خليج الجميلة ، قمنا بتنفيذ 3 محطات لأخذ العينات بشبكة ماننا هذه وبعد التحديد الكمي ؛ وجدنا كميات كبيرة من جزيئات البلاستيك الدقيق ؛ وهذا بفضل تحسين طريقة جمع العينات المرتبطة بخصائص هذا الجهاز.

تأتي هذه الجسيمات الدقيقة من العديد من المصادر والأصول وتصبح خطراً حقيقياً يهدد النظم البيئية البحرية وله عواقب على صحة الكائنات.

لكي نستطيع تقديم أنسب الوسائل و الحلول للتقليل و الحد من هذا التلوث، من الضروري تحسين المعدات والتقنيات لجمع واستخراج المواد البلاستيكية الدقيقة الموجودة في المصفوفات الطبيعية المختلفة مع التقليل من تكلفة ذلك.

الكلمات المفتاحية شبكة ماننا ، بلاستيك دقيق ، تلوث ، مياه سطحية ، مواد مركبة.