

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Blida 1



## Mémoire de fin d'études

Faculté de Technologie

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie des Procédés

Option : Génie de l'environnement

### THEME

*Identification des micro-plastiques dans les sédiments marins : Cas de baie de Bou-Ismaïl*

**Proposé et dirigé par :**

*Dr. BELHOUCHE NASSIMA*

**Co-dirigé par :**

*Pr. BOURAS OMAR*

**Réalisé par :**

*Melle. BERDAMANE AICHA*

*Melle. CHEBLAOUI KHOULOUD*

*Soutenu le 11/06/2024 devant le jury composé de :*

*Mr. BADIS*

*Professeur*

*Président*

*Mme. LAZELI*

*MAB*

*Examinatrice*

*Promotion : 2023 / 2024*

## ملخص

أثبت البلاستيك أنه عملي وممتين في حياتنا اليومية، وهذا الوجود في كل مكان، من أكياس التسوق إلى البنية التحتية، يخفي حقيقة مثيرة للقلق: عدم قدرة البلاستيك على التحلل بشكل طبيعي. ويؤدي هذا الثبات الشديد، الذي يمكن قياسه عبر قرون، إلى زيادة تلوث البيئات المائية وابتلاع الكائنات البحرية لجزيئات بلاستيكية يقل حجمها عن 5 ملم، تسمى اللدائن الدقيقة. كان الهدف من دراسة الأطروحة هذه هو تقييم تلوث المصروفة البيئية (الرواسب البحرية) بالجسيمات البلاستيكية الدقيقة. تظهر النتائج تلوثا قويا للرواسب بواسطة هذه النواب، القيمة القصوى الموجودة بشكل عام حوالي 67% من الشظايا في محطات التحلية والقيمة الدنيا في ميناء تيبازة بتركيز 30%. يقدم هذا العمل تقييما أوليا للتلوث بواسطة المواد البلاستيكية الدقيقة بخليج بوسماعيل ويفتح آفاقا لأبحاث علمية جديدة لإيجاد حلول لمشكلة التلوث هذه.

الكلمات المفتاحية: التلوث، ميكرو بلاستيك، الرواسب

## Abstract

Plastic proves to be practical and durable in our daily lives. This omnipresence, from shopping bags to infrastructure, masks an alarming reality: the inability of plastic to decompose naturally. This extreme persistence, which can be measured in centuries, leads to increasing pollution of aquatic environments and the ingestion by marine organisms of plastic particles measuring less than 5 mm, called Micro plastics. The objective of this dissertation study was to evaluate the contamination of an environmental matrix (marine sediments) by microplastics.

The results found show a strong contamination of sediments by these MPs, the maximum value Overall present about 67% of fragment in the desalination stations and minimum value in the port of Tipaza with a concentration of 30%. This work provides a first evaluation of contamination by micro plastics in BOUSMAIL bay and opens perspectives for new scientific research to find solutions to this pollution problem.

**Keywords :** pollutions,microplastics,sediments.

## Résumé

Le plastique s'avère pratique et durable dans notre quotidien. Cette omniprésence des sacs à provisions aux infrastructures masque une réalité alarmante qui est l'incapacité du plastique à se décomposer naturellement. Cette persistance extrême, qui se compte en siècles, entraîne une pollution grandissante des milieux aquatiques et entraîne l'ingestion par des organismes marins de particules plastiques mesurant moins de 5 mm, appelées Micro plastiques (MPs). L'objectif de cette étude est d'évaluer la contamination d'une matrice environnementale (sédiments marins) par les micros plastiques.

Les résultats obtenus montrent une forte contamination des sédiments par ces MPs. La valeur maximale dans l'ensemble est d'environ 67% de fragments dans la station de dessalement alors que la valeur minimale dans le port de Tipaza est de 30%. Ce travail fournit donc une première évaluation de la contamination par les micros plastiques dans la baie de BOUISMAIL et ouvre des perspectives pour des nouvelles recherches scientifiques pour trouver des solutions liées à ce problème de pollution des MPs.

**Mots clés :** micro plastiques, sédiments, pollutions marins

# *Remercîment*

Tout d'abord, nous remercions ALLAH le Tout Puissant de nous avoir donné la volonté et le courage pour accomplir ce travail de recherche.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de master.

En premier lieu, à remercie infiniment notre encadrante le docteur **BELHOUCHE NASSIMA** pour son précieux encadrement, ses conseils éclairés, et son soutien constant tout au long de ce travail. Ses connaissances, son engagement et sa disponibilité ont grandement enrichi notre expérience académique.

Nos vifs remerciements vont aussi au **Pr. BOURAS OUMAR** pour l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi.

Nous tenons aussi à remercier les membres de jury de notre soutenance **Pr. BADIS et Dr. LAZELI** pour accepter d'évaluer notre travail.

Nous désirons également remercier toutes les équipes des laboratoires physicochimiques du CNRDPA qui nous ont appris et contribué à notre formation, et qui ont su nous transmettre leur savoir, en particulier **Mr HAZEM SALAH EDDINE et Dr BELKASSEM YASSMINE.**

Enfin, on remercie tous les personnes qui ont contribué, de près ou de loin à ce travail.

# Dédicaces

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

Je remercie de plus précis :

Mon très cher **père**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans La vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Ma **mère** aimante, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. Reçois à travers ce travail aussi modestes soit-il l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mes merveilleuses sœurs **Asmaa** et **Amira** et mon frère unique **Abdallah**, dès mes premiers pas, vous avez cru en moi, même lorsque je doutais de mes propres capacités. Vous m'avez encouragée à persévérer face aux obstacles, à me relever après les échecs et à viser toujours plus haut. Votre foi en moi m'a permis de me surpasser et de réaliser mes rêves. Je suis infiniment reconnaissante pour vos précieux conseils, vos paroles réconfortantes et vos gestes d'affection qui ont illuminé mon chemin.

Plus que des sœurs, vous êtes mes amies les plus fidèles, mes confidentes et mes piliers de force. Je suis tellement chanceuse de vous avoir dans ma vie.

**Mes grands-parents** baba kadour et yema khadouja rabi yrhama, qui m'a donné tout l'amour et l'éducation, pour en arriver ici, et m'avoir aidé avec tous les moyens pour réussir, je n'oublierai jamais vos douāas, ainsi ma tante **ZaghLa**, mes quatre **oncles** et **ses femmes**, je vous remercie d'avoir été à mes côtés lorsque j'en avais besoin, Sans oublier mes adorables **cousines**.

Mes profondes gratitudes s'adressent ensuite à **mes copines** Manal, Khouloud, HadiL et khadidja avec qui j'ai passé des années d'études, de folie, de risque, de colère, de joie, et d'aventure, je vous remercie pour cette expérience que je n'oublierai jamais.

Tout au long de cette aventure académique, ma promotrice **Nassima** m'a beaucoup inspiré, soutenu et même confronté, je souhaite lui présenter ici mes sincères remerciements pour cette expérience unique, et pour son sérieux, tu vas me manquer.

Ce succès vous appartient autant qu'à moi. Merci pour tout l'amour, le soutien et les encouragements que vous m'avez prodigués. Je vous aime de tout mon cœur.

AICHA IMANE

## *Dédicaces*

شكرا لله الذي وقفني في هذا المشوار الدراسي  
أهدي هادا النجاح الى فيض الحب والوافر العطاء بلا مقابل الى  
من سنداتني في مخاض هذا العمل الى من غمرتني بحبها وحنانها  
الى امي التي مهما قلت لن اوفي حقها اتمنى لها دوام الصحة  
والعافية كذلك الى ابي الحبيب اطال الله في عمره الى فرحة البيت  
والقرة العين اخوتي لمين وتوفيق وعبير واميرة الى صديقتي  
ورفيقتي ايمان اتمنى لها مزيد من النجاحات الى استاذتي  
الدكتورة نسيمة بلوهوشات التي كانت قدوة لي في العمل  
والاجتهاد

خلود

---

# *SOMMAIRE*

---

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Résumer</b>	
<b>Remercîment</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste des Figures</b>	
<b>Liste des Tableaux</b>	
<b>Introduction générale 1</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>	
I.1 Définition des microplastiques	<b>05</b>
I.2 Pollution des milieux aquatique	<b>05</b>
I.3 Types de pollution	<b>06</b>
I.4 Pollution plastique	<b>08</b>
I .4.1 Notions théorique sur les plastiques	<b>08</b>
I.4.2 Définition du plastique	<b>08</b>
I.4.3 Histoire de recherche sur les pollution par les plastiques	<b>10</b>
I.4.4 Sources de la pollution plastique	<b>11</b>
I.4.5 Nature des plastiques en mer	<b>11</b>
I.4.6 Etapes de dégradation des plastique	<b>11</b>
I .4.7 Production et l'utilisation du plastique dans le monde	<b>12</b>
I.4.8 Industrie Plastique en Algérie	<b>13</b>

I.4.9 Production annuelle des plastiques	13
I. 5 Pollution microplastique des milieux marins	14
I.5.1 Définition de la pollution microplastique des milieux marins	14
I.5.2 Origine des micros plastique	15
I.5.3 Les rejet de micro plastiques primaires dans les océans	16
I.5.4 Les parcours des microplastiques	17
I .5.5 Les impacts du micro plastique du milieu marin	18
<b>Chapitre II : La zone d'étude</b>	
II.1 Généralités sur la zone d'étude	22
II .1.1 Localisation Géographique	22
II.1.2 Reliefs	22
II.1.3 Climat	22
II.1.4 Ressource hydrographiques superficielles	22
II.1.5 Choix de la zone d'étude	23
II .2 Prélèvement des échantillons	23
II.2 .1 Plan de campagne et stratégies de prélèvement	23
II .2. 2 Localisation des stations de prélèvement	24
<b>Chapitre III : Matériel et Méthodes</b>	
III.1Prélèvement des sédiments	26
III.2Prélèvement et conservation des échantillons	26
III.3Prétraitement des échantillons	27
III.3Caractérisation du sédiment	27
III.4 Indentification des MPs dans les sédiments	29
<b>Chapitre IV : Résultats et discussions</b>	
IV. Caractérisation du sédiment	38
IV.1 .Morphologie des sédiments	38

IV.2 Détermination pH (PZC) des sédiments	40
IV.2.1 pH PZC des sédiments	40
IV.2.2 Analyse des sédiments sédiment par infrarouge	41
IV.2.3 Taux de matière organique dans les sédiments étudiés	42
IV.3 Identification des micro plastique MPs dans les sédiments	42
IV. 3.1 Identification des MPs dans la zone de la ferme marine FM	43
IV.3.2 Identification des MPs dans la zone de STEP de Bou Ismail	45
IV.3.3 Indentification de MPS de la zone dessalement de Fouka	48
IV.3.4 Indentification de MPS de la zone port Tipaza	50
<b>Conclusion</b>	<b>59</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>62</b>
<b>Annexes</b>	<b>68</b>
<b>Abréviation</b>	<b>71</b>

---

## *Liste des Figures*

---

<b>Figure I-1</b> Stockage des bouteilles en plastique et leur devenir en milieu aquatique	<b>07</b>
<b>Figure I-2</b> Photos numériques montrant la pollution	<b>08</b>
<b>Figure I-3</b> La polymérisation des monomères qui forment les polymères	<b>10</b>
<b>Figure I-4</b> Histoire de la recherche sur étude microplastique	<b>10</b>
<b>Figure I-5</b> Différentes échelles de dégradation du plastique dans l'environnement	<b>12</b>
<b>Figure I-6</b> Croissance de la production des matières plastique entre 1950-2009	<b>13</b>
<b>Figure I-7</b> La source de plastiques Atteignant l'environnement	<b>15</b>
<b>Figure I-8</b> Représente les pourcentages des sources de déchets microplastiques primaires dans les océans	<b>16</b>
<b>Figure I-9</b> Les parcours des microplastiques dans l'océan	<b>18</b>

<b>Figure II-1</b> Localisation de la zone d'étude (BouIsmaïl-Tipaza)	<b>22</b>
<b>Figure II-2</b> Fiche technique du bateau scientifique Saleh utilisé pour la réalisation de la campagne POLL Microplastics 01- 2023	<b>24</b>
<b>Figure II-3</b> Positionnement des points de prélèvements des MPS	<b>24</b>

<b>Figure III-1</b> Benne Van Veen utilisé pour le prélèvement des sédiments	<b>26</b>
<b>Figure III -2</b> lyophilisateur de marque ALPHA 1_2 LD plus	<b>27</b>
<b>Figure III -3</b> Photos numérique des échantillons et du four à moufle utilisé pour l'analyse de la matière organique des sédiments	<b>28</b>
<b>Figure III -4</b> IFTR utilisée pour la caractérisation des sédiments et des plastique identifiés	<b>28</b>
<b>Figure III- 5</b> Les solutions salin NAI ,ZnCL2 et NACL	<b>29</b>
<b>Figure III- 6</b> Les différentes étapes faites pour l'extraction des MPS en utilisant saturée en NACL avec sédiments	<b>31</b>
<b>Figure III-7</b> Les différentes étapes faites pour la digestion la matière organique	<b>32</b>
<b>Figure III- 8</b> Les différentes étapes faites pour la filtration	<b>34</b>
<b>Figure III- 9</b> Loupe utilisée pour l'identification des MPs	<b>35</b>
<b>Figure III-10</b> Procédure de lecture du filtre	<b>35</b>

<b>Figure IV-1</b> Observation microscopique des sédiment étudiés (taille 300 µm)	<b>39</b>
<b>Figure IV-2</b> Courbe de la charge de surface en faction de pH pour la détermination du Ph de sédiment	<b>40</b>
<b>Figure IV- 3</b> Spectres IFTR des échantillons analysés	<b>41</b>
<b>Figure IV-4</b> Identification des MPS par type et par couleur dans la zone ferme marine du CNRDPA	<b>44</b>
<b>Figure IV-5</b> : Phots des MPs par la loupe dans la zone de la ferme marine du CNRDPA	<b>45</b>
<b>Figure IV-6</b> Identification des MPS par type et par couleur dans la zone de la STEP	<b>46</b>
<b>Figure IV-7</b> : Phots des MPs par la loupe dans la zone de la STEP de BouIsmaïl	<b>47</b>
<b>Figure IV-8</b> : Identification des MPS par type et par couleur dans la zone du dessalement	<b>49</b>
<b>Figure IV-9</b> : Phots des MPs par la loupe dans la zone du dessalement	<b>50</b>
<b>Figure IV-10</b> : Identification des MPS par type et par couleur dans la zone de port de Tipaza	<b>51</b>
<b>Figure IV-11</b> : Phots des MPs par la loupe dans le port de Tipaza	<b>52</b>

<b>Figure IV-12</b> Variation des MPs dans différentes stations étudiées	<b>56</b>
<b>Figure IV-13</b> Fréquence des couleurs observées dans les sédiments étudiés	<b>56</b>
<b>Figure IV-10</b> Spectres infrarouge de quelques particules de microplastiques trouvés	<b>51</b>

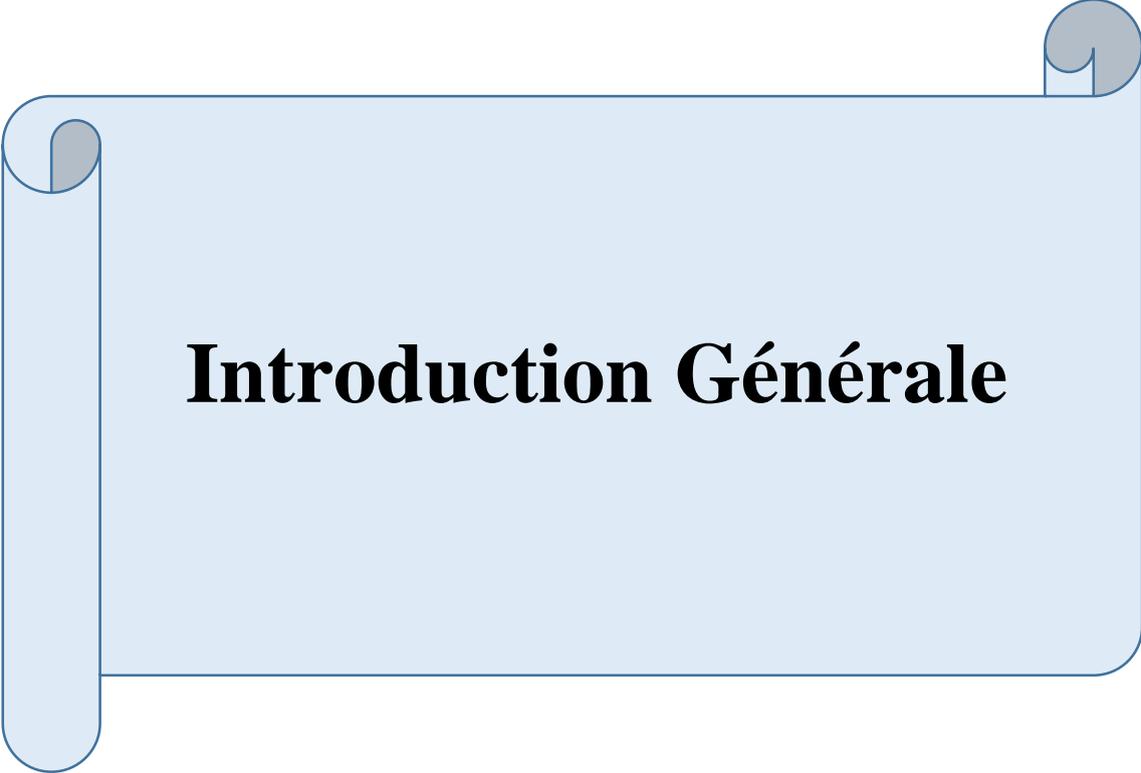
.

---

## Liste des Tableaux

---

<b>Tableau III-1</b> : Catégories utilisées pour décrire le microplastique	<b>36</b>
<b>Tableau IV-1</b> : Taux de matière organique dans le sédiment marin	<b>42</b>



# **Introduction Générale**

## ***Introduction Générale***

Les activités humaines ainsi que les déversements agricoles, urbains et industriels affectent désormais l'ensemble des écosystèmes de la planète de diverses manières, notamment en provoquant des niveaux élevés de pollution dans les écosystèmes marins côtiers [1]. Historiquement, les côtes ont toujours été privilégiées pour l'implantation de ports, de villes et d'activités industrielles.

Les plastiques inventés au XX<sup>ième</sup> siècle ont pu remplacer dans certains domaines les matériaux traditionnels comme le bois et le métal. Ces matériaux apparaissent dans un grand nombre de produits que nous utilisons chaque jour. Les matières plastiques réduisent les prélèvements sur les ressources naturelles, mais contribuent à détruire l'environnement par leur durée de vie qui peut atteindre 1000 ans.

Le plastique est donc un enjeu crucial de santé publique et il est urgent d'harmoniser les normes sanitaires pour lutter contre la pollution plastique dans le monde.

Les microplastiques sont généralement définis comme des particules de plastique inférieures à 5 mm.

Ils sont divisés en microplastiques primaires et secondaires. Ces derniers sont issus de la dégradation de plus grands morceaux de plastiques sous les effets conjugués de l'oxygène, des UV, de la chaleur, d'actions mécaniques comme le vent et les vagues ou encore de l'activité biologique. Il peut aussi s'agir de l'arrachage de fibres textiles ou de la fragmentation des blocs de polystyrène expansé en perles individuelles [2].

Si les débris plastiques dans l'environnement suscitent tant d'intérêt, c'est essentiellement parce que leurs impacts avérés ou soupçonnés sont nombreux. Les plus évidents sont les impacts visuels, négatifs pour le tourisme par exemple.

Les accidents de navigation impliquant de gros objets plastiques (bouées ou filets à la dérive) sont également nombreux. Les impacts physiques sur la faune ont été observés chez 250 espèces : étranglements ou ingestion de plastique entraînant suffocation ou obstruction des voies digestives ont été observés.

De plus en plus d'études montrent la grande biodisponibilité des microplastiques en raison de leur faible taille, comparable à celle des sédiments ou du plancton et donc ingérables par des détritivores ou des planctophages, et bien sûr tous les organismes filtreurs. Leur translocation ainsi que le transfert dans la chaîne trophique font débat.

Pour l'ingestion de nano plastiques (20 nm), l'inhibition de la photosynthèse chez des algues a par exemple été observée, pointant vers les impacts des produits de la fragmentation des microplastiques [2].

Un enjeu contemporain majeur dans la pollution par les micros plastiques, une préoccupation mondiale croissant malgré les premiers signalements remontant aux années 1970 [3]. Le Gyre nord pacifique par le capitaine Moore en 1997 a sensibilisé l'opinion publique à l'ampleur des déchets plastiques dans les océans.

Une récente étude réalisée par l'association expéditions MED au cours de 36 Expédition a révélé que 30,4% des déchets divers du quotidien, 7,9% étaient d'origine alimentaire, et enfin 47,1% étaient des fragments non identifiables (expéditions MED 2016).

À l'heure actuelle, la présence de microplastiques se retrouve même dans le sel de table, illustrant ainsi l'infiltration croissante de ces particules dans notre chaîne alimentaire. La mer Méditerranée a été décrite comme l'une des zones les plus touchées par les déchets marins dans le monde étant donné qu'elles semi les déchets l'atteignant échouent sur les fonds, atteignant parfois plus de 100.000 particules Km<sup>2</sup>.

Les activités humaines génèrent des quantités considérables de déchets et ces quantités en termes de déchets solides municipaux par personne sont générées en mer méditerranée (208-760Kg/an). [4].

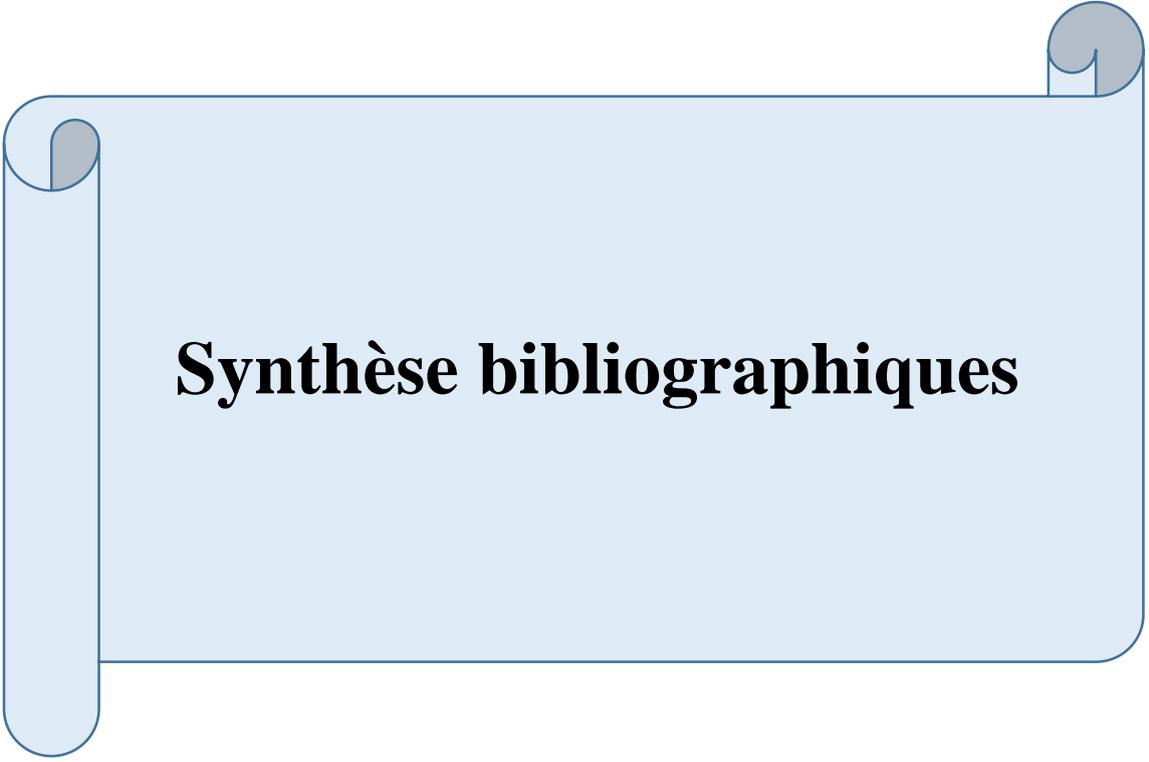
Le plastique, qui est le principal des déchets, est devenu omniprésent et peut représenter jusqu'à 95% des déchets accumulés sur les rivages, la surface de l'océan ou le fond de mer [5].

Loakeimidis et al, 2014 ont observé une abondance des débris plastique les eaux profondes au fil des années au sein de la méditerranée

Cependant, le littoral algérien reste largement méconnu, justifiant ainsi la nécessité d'évaluer le degré de contamination par les microplastiques.

Dans ce contexte, l'équipe interactions milieu ressource et réseau trophique du CNRDPA a inscrit un projet de recherche portant sur l'évaluation de la pollution par les microplastiques dans le littoral algérien.

Le projet est dirigé par Dr. BELHOUCHE et porte sur la réalisation des campagnes océanographiques pour étudier les trois compartiments composant l'écosystème marins qui sont la colonne d'eau, les sédiments et le biote.



# **Synthèse bibliographiques**

## **I.1 Définition des microplastiques**

Il n'existe pas de définition standard des micros plastiques.

Néanmoins, lorsqu'ils sont évoqués, ils font toujours référence à des particules de plastique dont les dimensions sont réduites : le plus généralement, la taille de 5 mm est retenue pour la plus grande des dimensions des particules, mais certaines études choisissent 1 mm comme dimension de référence. Une limite basse, permettant de distinguer micro- et nano-plastiques est également évoquée : la taille de 100 nm à 1 µm est généralement retenue

Le terme « Plastique » fait quant à lui référence, selon la norme ISO 472 à « toute matière contenant comme ingrédient essentiel un haut polymère ». Et tacitement, il est généralement fait référence aux polymères produits par l'homme et dérivés du pétrole [6].

## **I.2.Pollution des milieux aquatiques**

Un milieu aquatique est considéré comme pollué lorsque son équilibre est durablement modifié par l'introduction excessive de substances toxiques, qu'elles soient d'origine naturelle ou issues des activités humaines, ou encore par des rejets d'eaux trop chaudes.

Ces pollutions peuvent causer diverses nuisances : elles augmentent la mortalité de certaines espèces animales ou végétales, pouvant aller jusqu'à leur extinction, altèrent leurs capacités physiologiques, et détériorent la qualité de l'eau, la rendant impropre à certains usages, tels que l'alimentation humaine [7].

La pollution des milieux est provoquée par une grande variété de substances, rejetées directement dans l'eau ou dans tout le bassin versant. Il peut s'agir d'éléments nutritifs, de matières organiques, de micropolluants, de métaux, de micro-organismes, de déchets ou encore de rejets physico-chimiques [8].

La pollution des eaux se traduit par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres aux milieux aquatiques.

L'eau est capable de dissoudre peu ou prou, mais souvent avec facilité, la plupart des substances chimiques minérales ou organiques ; de plus, elle met en suspension les matières entraîné par le jeu du cycle hydrologique fort loin en aval de la source de contamination [9].

Le Commissariat général au développement durable a dressé un bilan de la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux. Les résultats montrent que les eaux sont presque toutes polluées, bien que majoritairement conformes aux normes.

Parmi les micropolluants détectés se trouvent des pesticides, des métaux lourds, des hydrocarbures, des ph talâtes, ainsi que des composés organiques volatils et phénoliques. Ces substances, issues de divers processus industriels et présentes dans de nombreux produits, se retrouvent à différentes concentrations dans les milieux aquatiques continentaux.

Pour obtenir un état des lieux précis, le service de l'observation et des statistiques du Commissariat général au développement durable a publié un bilan sur la présence de ces micropolluants entre 2007 et 2009. Environ 950 substances ont été recherchées dans les rivières, plans d'eau, eaux souterraines et sédiments des eaux superficielles en France métropolitaine. Ce bilan, inscrit dans le Plan national micropolluants 2010-2013, vise à valoriser les données de surveillance collectées et à définir de nouvelles actions pour réduire l'impact de ces substances. La Directive cadre sur l'eau impose aux États membres de garantir le bon état des eaux d'ici 2015 et de réduire les polluants prioritaires 2021 [10].

### **I.3 Types de pollutions**

La pollution de l'eau peut être de nature chimique, physique ou microbiologique. Ses conséquences peuvent nuire à la santé de la flore et de la faune, y compris celle de l'homme, et ainsi détériorer l'écosystème et les réserves d'eau potable.

Les quatre principaux types de pollution sont la pollution de l'air, la pollution sonore, la pollution de l'eau et la pollution des sols.

À cela s'ajoutent la pollution thermique, la pollution lumineuse et la pollution radioactive. Les polluants atteignent l'eau de deux façons principales : directement et indirectement. La pollution directe se produit lorsque les polluants sont déversés dans les cours d'eau sans traitement préalable.

La pollution indirecte, en revanche, survient lorsque les substances polluantes atteignent les cours d'eau via l'air et le sol [11].

Il y a huit types de pollution d'un milieu aquatique

- a) **Pollution microbiologique** : L'eau peut abriter des microorganismes pathogènes, tels que des virus, des bactéries et des parasites, qui représentent un danger pour la santé humaine. Cela restreint les différentes utilisations possibles de l'eau, que ce soit pour des fins industrielles ou domestiques [12].
- b) **Pollution minérale** : Les matières minérales rejetées par les eaux de lavage des matériaux de carrière contribuent à la pollution minérale, détruisant la vie aquatique en se déposant sur le fond, les végétaux et les branchies des poissons. Cette pollution peut avoir des effets immédiats et aigus, comme les déversements de substances toxiques provenant d'industries chimiques, métallurgiques ou sidérurgiques. [13]
- c) **Pollutions organiques** : D'après [14] il en existe deux :
  - Les pollutions organiques facilement biodégradables.
  - Les pollutions organiques difficilement biodégradables.
- d) **Pollution physique** : Ce type de pollution survient lorsque la structure physique d'un milieu est modifiée par divers facteurs, incluant la pollution mécanique (effluents solides), thermique (réchauffement de l'eau) et nucléaire (radioéléments des armes et usines nucléaires). Ces pollutions sont particulièrement dangereuses en raison des matières en suspension présentes dans les eaux pluviales, domestiques et autres [15].

- e) **Pollution Chimique** : Les polluants chimiques, comme les métaux lourds, médicaments, produits vétérinaires, antibiotiques, hormones, et produits phytosanitaires, affectent l'air, les sols, les eaux, la faune et la flore, avec des conséquences encore partiellement inconnues. Ils peuvent tuer des espèces, provoquer des maladies, affecter la reproduction (comme la féminisation des poissons) et le comportement, réduire la nourriture disponible et déséquilibrer des écosystèmes. Toutes les catégories d'eaux, y compris marines, douces et souterraines, sont concernées, impactant la qualité écologique des eaux de surface.
- f) **Pollution thermique** : Modifie durablement le microclimat des communautés d'espèces. Par exemple, les rejets des centrales nucléaires réchauffent l'eau, favorisant la prolifération d'algues, la chaleur urbaine réchauffe l'air, et les barrages ralentissent l'eau, augmentant sa température.
- g) **Pollution plastique** : La pollution plastique affecte tous les organismes qui peuplent les eaux marines, jusqu'à des milliers de mètres de profondeur. Ce type de pollution cause la mort directe de nombreux animaux tels que les tortues marines ou les oiseaux de mer, qui l'ingèrent en le confondant avec leur nourriture, ou en provoquant des enchevêtrements (les animaux s'emmêlent dans des déchets plastiques).

Par ailleurs, le plastique se fragmente en particules appelées microplastiques, d'une taille inférieure à 5 mm

Elles peuvent alors être ingérées par les espèces marines, notamment le phytoplancton à la base de la chaîne alimentaire, et avoir un effet de type perturbateur endocrinien (lorsqu'une molécule perturbe le fonctionnement d'un organisme en modifiant l'action d'une hormone). Elles se retrouvent ensuite dans la chaîne alimentaire avec possiblement les mêmes effets. [16].



**Figure I- 1** : Stockage des bouteilles en plastique et leurs devenir en milieu aquatique [16]

- h) **Pollutions sonores et lumineuses** : Les pollutions ondulatoires sont provoquées par la diffusion dans l'environnement d'ondes avec des longueurs d'onde, fréquences ou intensités inhabituelles. Elles recouvrent les pollutions sonores et les pollutions lumineuses.



**Figure I- 2 :**Photos numériques montrant la pollution aquatique [16]

## I .4 Pollution plastique

### I. 4.1 Notions théoriques sur les plastiques

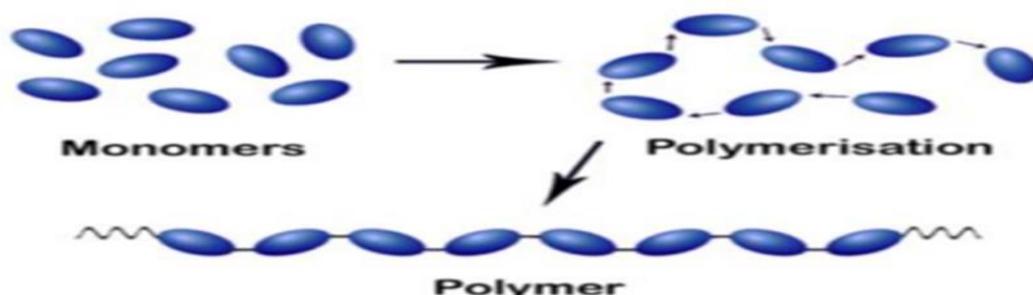
Les matières plastiques de par leurs différentes composantes, ont plusieurs sources qu'elles soient non renouvelables comme le pétrole brut ou le gaz, ou renouvelables comme la canne à sucre, l'amidon ou l'huile végétale ou même d'origine minérale comme le sel [17].

### I. 4.2 Définition du plastique

Les matières plastiques sont des matières organiques ou semi-organiques. Elles sont constituées d'un ou plusieurs polymères et de plusieurs additifs, par exemple, des produits auxiliaires, des stabilisants, des colorants et pigments, des plastifiants, des retardateurs de flamme ou ignifuges, et des charges et matériaux de renforcement [18].

Les polymères constituent la base des matières plastiques. Ce sont des grandes molécules composées d'unités basiques appelées « les monomères » qui sont reliées par des liaisons covalentes [19].

Elles ressemblent à un collier de perles. La polymérisation, processus de liaison des monomères qui forment le polymère est utilisé afin d'obtenir des objets du quotidien solides, par exemple l'éthylène qui se transforme en polyéthylène, plastique courant [20].



**Figure I- 3 :** La polymérisation des monomères qui forment les polymères [20]

Les plastiques se composent de deux familles : les thermoplastiques et les thermodurcissables. Les thermoplastiques, contrairement aux thermodurcissables ont la faculté d'être faciles à remodeler car ils sont faciles à faire fondre et vice versa [18] La grande majorité des études ont indiqué que les fragments de plastique étaient des polymères de polyéthylène et de polypropylène [19].

### **I .4.3 Histoire de la recherche sur les pollutions par les plastiques**

Les recherches sur les dangers des plastiques ont débuté dès les années 1950, en se concentrant sur la sensibilité des ouvriers à certains additifs toxiques utilisés dans leur fabrication.

Les années 1970 représentent un tournant majeur, marquant le début d'une prise de conscience collective concernant les questions environnementales.

En 1971, des organisations comme Greenpeace et le World Wide Fund (WWF) ont commencé à s'engager activement dans la protection de l'environnement.

En 1972, la première conférence internationale sur les questions environnementales, connue sous le nom de conférence de Stockholm, a été organisée.

La même année, le Club de Rome a publié un rapport intitulé « The Limits to Growth », mettant en lumière la pénurie des ressources terrestres.

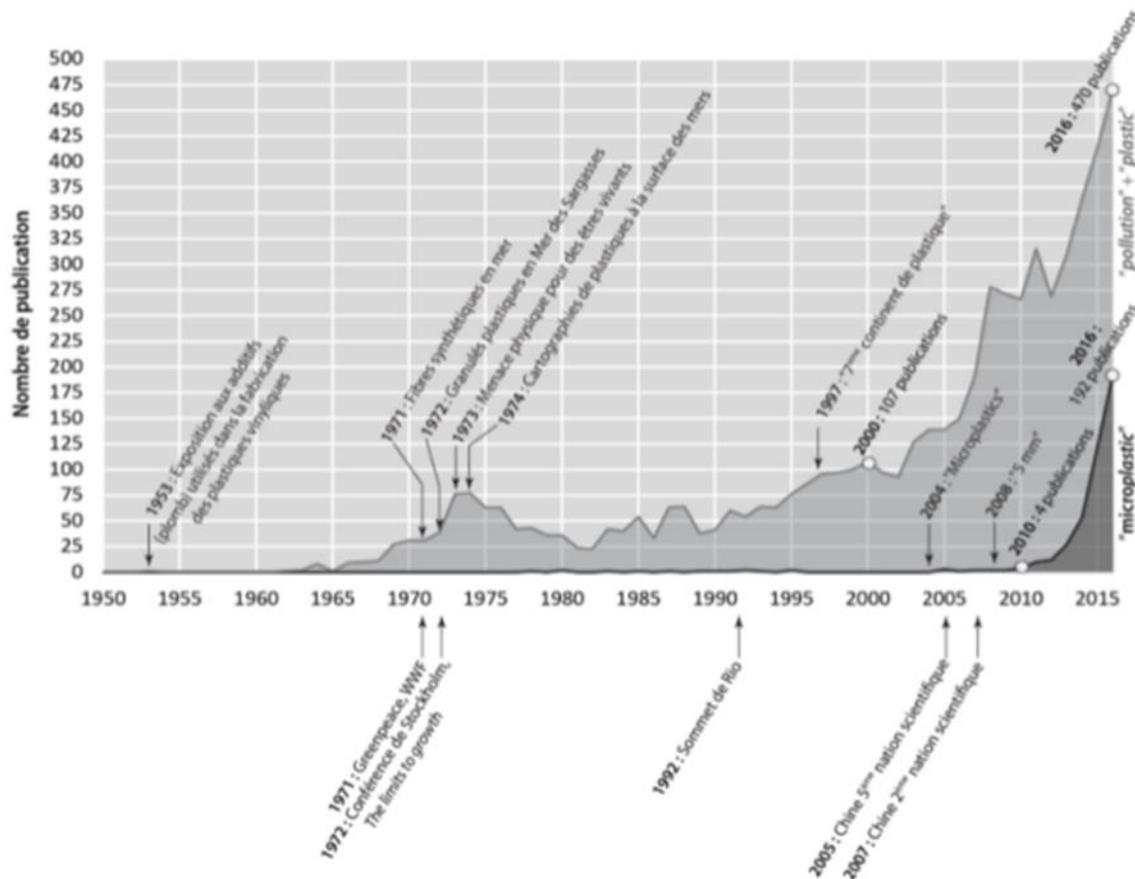
À partir de 1973, une augmentation notable du nombre de publications sur les déchets plastiques, leurs risques et leur impact sur l'environnement a été observée, atteignant 77 publications en 1974. Cette même année, les dangers des plastiques pour les oiseaux marins ont également été mis en avant. [21].

Entre les années 1977 et 1992, on observe un équilibre dans le nombre de publications sur les pollutions liées au plastique, oscillant entre 30 à 100 publications sur une année. Vers les années 1990 à 2000, le chiffre augmente considérablement.

En 1992, un nouvel essor des études sur les pollutions des plastiques émerge suite au Sommet de la Terre de Rio et à l'usage de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. Ce Sommet met l'accent sur le principe de précaution en ce qui concerne l'environnement et le principe du pollueur-payeur.

L'avènement de la Chine dans les années 2000 au sein des grandes nations scientifiques a fortement augmenté le nombre de publications. À la même époque, l'épanouissement de la recherche scientifique en Inde l'a hissé à la 3e place, derrière les Etats-Unis et la Chine.

A partir de 2010, le taux de publications concernant les pollutions par les plastiques augmentent annuellement, et ce proportionnellement avec le nombre de publications en relation avec les pollutions par les micros plastiques. [22].



**Figure I- 4:** Histoire de la recherche sur les études microplastiques selon la base de données SCOPUS « Elsevier ». [23]

#### I.4.4 Sources de la pollution plastique

La pollution plastique atteint les océans et les mers par divers canaux. Les particules minuscules se déversent dans les cours d'eau sous forme de microbilles, présentes dans les exfoliants pour le visage et d'autres cosmétiques, ou sous forme de fibres de polymère utilisées dans les vêtements. Les sites de traitement industriel et les rejets des navires sont aussi des sources majeures de cette pollution [24].

La fragmentation des débris plastiques en morceaux plus petits est distincte de la dégradation, qui réduit la masse moléculaire des plastiques [25]

Ces processus se produisent sous l'action de la lumière (photolyse), de la chaleur et de l'oxygène (oxydation thermique). Une autre source de microplastique provient des produits de nettoyage industriels et domestiques qui utilisent le micro plastique comme abrasif [26]. Par exemple, les surfaces des bâtiments, des machines et des bateaux sont nettoyées et préparées avec ces produits.

Les ordures déversées des navires et des sources terrestres, comme le ruissellement des rivières et les systèmes des eaux usées, contribuent également à cette pollution.

L'activité portuaire génère une grande quantité de déchets, notamment lors de la manutention des cargaisons sur les quais et les navires, ainsi que dans les bassins portuaires voisins [27]

### **I.4.5 Nature des plastiques en mer**

La composition des micros plastiques dans l'environnement aquatique varie selon la situation géographique (proche ou éloignée des côtes) et la position dans la colonne d'eau (surface, colonne d'eau, ou sédiments).

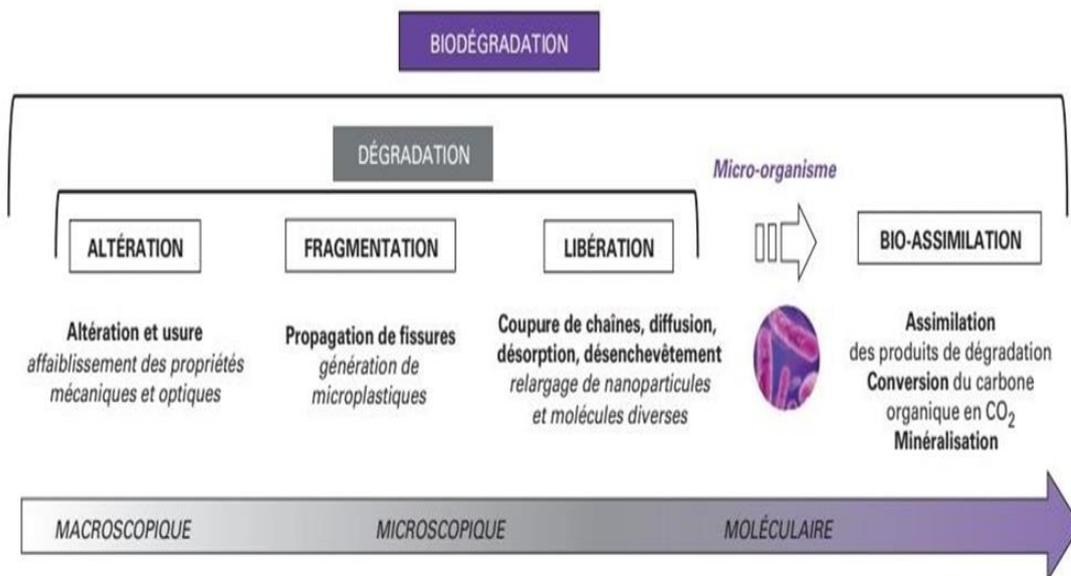
Près des côtes, les micros plastiques en surface sont principalement composés de polyéthylène, de polypropylène et de polystyrène expansé. En plus de ces trois principaux types de résines, on trouve une douzaine d'autres polymères en plus petites quantités [28]. Ces polymères, moins denses que l'eau de mer, flottent donc en surface. En haute mer, on retrouve principalement du polyéthylène, représentant 90 % des déchets plastiques, et du polypropylène, qui constitue 10 % des déchets. Ces deux polymères, largement produits par l'industrie, sont probablement les plus persistants en pleine mer [29]

### **I.4.6 Etapes de dégradation des plastiques**

Les plastiques, particulièrement les plastiques conventionnels non biodégradables, sont réputés pour leur stabilité et leur durabilité. Produits en très grandes quantités depuis les années 1950, ils persistent dans l'environnement pendant de nombreuses années lorsqu'ils deviennent des déchets.

Cependant, ces matériaux finissent par être lentement transformés et dégradés, selon des processus qui varient en fonction des conditions environnementales et des milieux où ils se trouvent (sol, rivière, plage, différents compartiments océaniques). Quel que soit le processus de dégradation, celui-ci se manifeste à trois échelles différentes (**Figure I-5**)

1. **Échelle macroscopique** : altération des propriétés mécaniques et optiques sans perte de l'intégrité du matériau.
2. **Échelle microscopique** : fragmentation en micro plastiques due à la formation de fissures dans le matériau.
3. **Échelle moléculaire** : libération de nanoparticules et de diverses molécules (macromolécules, oligomères, additifs, charges, etc.) en raison de phénomènes moléculaires tels que la rupture de liaisons, la diffusion, le désenchevêtrement et la désorption. [30]



**Figure I-5 :** Différentes échelles de dégradation des plastiques dans l'environnement [30].

Bien que l'on considère généralement que les trois étapes de dégradation mentionnées ci-dessus se déroulent successivement, la réalité est souvent plus complexe. En effet, les processus à différentes échelles agissent généralement de manière concomitante. De plus, leurs cinétiques en milieu aquatique restent encore mal comprises. [31]

#### I.4.7 Production et l'utilisation du plastique dans le monde

Le plastique est connu pour être un matériau polyvalent, léger, solide, transparent, idéal pour une variété d'applications, il a remplacé beaucoup d'autres matériaux comme le verre, le bois etc. Les applications des plastiques sont nombreuses et variées. En Europe, environ 38 % des plastiques sont utilisés pour les emballages jetables [32]

La production mondiale de la matière plastique a augmenté de façon constante au cours des dernières années (Figure I-6). Cette production est actuellement d'environ 245 millions de tonnes par an et près de 25% de la production mondiale se déroule en Europe [33]

L'utilisation de matières plastiques a atteint environ 100 kg par an et par habitant en Amérique du Nord et en Europe occidentale en 2005 et devrait augmenter à 140 kg d'ici 2015 [34]. Dans les pays asiatique l'utilisation actuelle est d'environ 20 kg de plastique par an et par personne, et est estimé à 36 kg d'ici 2015 [34].

Cependant après cinq décennies de croissance continue, une baisse de la production est enregistrée en 2008 en raison du ralentissement économique.



**Figure I-6** : Croissance de la production des matières plastique entre 1950-2009. [35]

#### I.4.8 Industrie plastique en Algérie

Avec 126 millions d'euros en 2021, l'Algérie est le plus grand importateur de technologies plastiques du Maghreb, devant le Maroc (84 millions d'euros) et la Tunisie (52 millions d'euros). Les principaux fournisseurs de l'Algérie sont la Chine, l'Italie, l'Allemagne, la France, le Canada, la Suisse, le Luxembourg, l'Autriche, l'Espagne et la Turquie.

Par ailleurs, a les chiffre du Centre National de l'Informatique et des Statistiques<sup>4</sup> (CNIS), L'Algérie a importé près de 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.

En termes de consommation de cette matière, une augmentation de 11 % par an a été enregistrée durant ces dix dernières années, passant d'un usage de 10 kg par habitant en 2007 à 23 kg en 2017, avec une estimation de 25,8 kg en 2020, 60 % de cette consommation est consacrée aux emballages, 20% au secteur du bâtiment et de la construction et le reste à d'autres industries. [36]

#### I.4.9 Production annuelle des plastiques

Une campagne de quantification des déchets et leur classement a été réalisée par l'AND avec l'appui des acteurs locaux (directeurs de l'environnement de wilayas, communes, associations...) révèle que les déchets ramassés au niveau des plages algériennes sont constitués essentiellement de plastique (87%), tandis que 13% se répartissent entre le papier (7%), le métal (3%), le verre (2%) et le tissu (1%). [36]

## **I.5 Pollution microplastique des milieux marins**

La fabrication et l'utilisation du plastique ont augmenté de façon spectaculaire en raison de son faible coût. Nous constatons aujourd'hui une augmentation de la présence de ces polymères plastiques synthétiques (traités) non recyclés dans l'écosystème terrestre et aquatique. [37]

Les petits fragments de plastiques jetés dans l'habitat marin ayant des dimensions  $\leq 5$  mm sont définis comme des micros plastiques [38]

Ces petits morceaux de plastique peuvent être ingérés par différents biotes marins tels que les coraux, le plancton, les invertébrés marins, les poissons et les baleines et remontent ainsi la chaîne alimentaire [39]

Ces polymères plastiques constituent une menace directe pour les organismes marins et affectent aussi indirectement l'écosystème en adsorbant d'autres polluants marins. En raison de leur ratio surface/volume élevé, les micros plastiques adsorbent les polluants hydrophobiques présents dans le système aquatique.

Ainsi, la pollution par les micros plastiques devient une source d'inquiétude en raison des effets nocifs sur la santé et le biote marins.

### **I.5.1 Définition de la pollution micro plastique des milieux marins**

Les plastiques sont des polymères synthétiques souples ou malléables (flexibles) par nature, qui peuvent adopter différentes formes. Le plastique est constitué d'une longue chaîne de polymères composés de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, de silicium et de chlorure provenant du gaz naturel, du pétrole et du charbon. [40]

Les principaux plastiques synthétiques sont le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polystyrène (PS), le polyéthylène téréphtalate (PET), le chlorure de polyvinyle (PVC), le polyéthylène bas densité (LDPE) et le polyéthylène haute densité (HDPE). Ils constituent 90 % de la production mondiale de plastique. [41]

En raison de ses propriétés (flexibilité, durabilité, coût, facilité d'utilisation, légèreté et résistance à la corrosion), le plastique est un composant très utilisé. Comme il isole également de la chaleur et de l'électricité à un niveau élevé, il a également de nombreuses applications industrielles et commerciales [42]. La production de plastique a suivi une courbe exponentielle, passant de 1,5 à 322 millions de tonnes entre 1950 et 2015. [43]

Ce sont justement les propriétés du plastique, sa durabilité et sa résistance à la corrosion, qui compliquent les choses quand il faut s'en débarrasser.

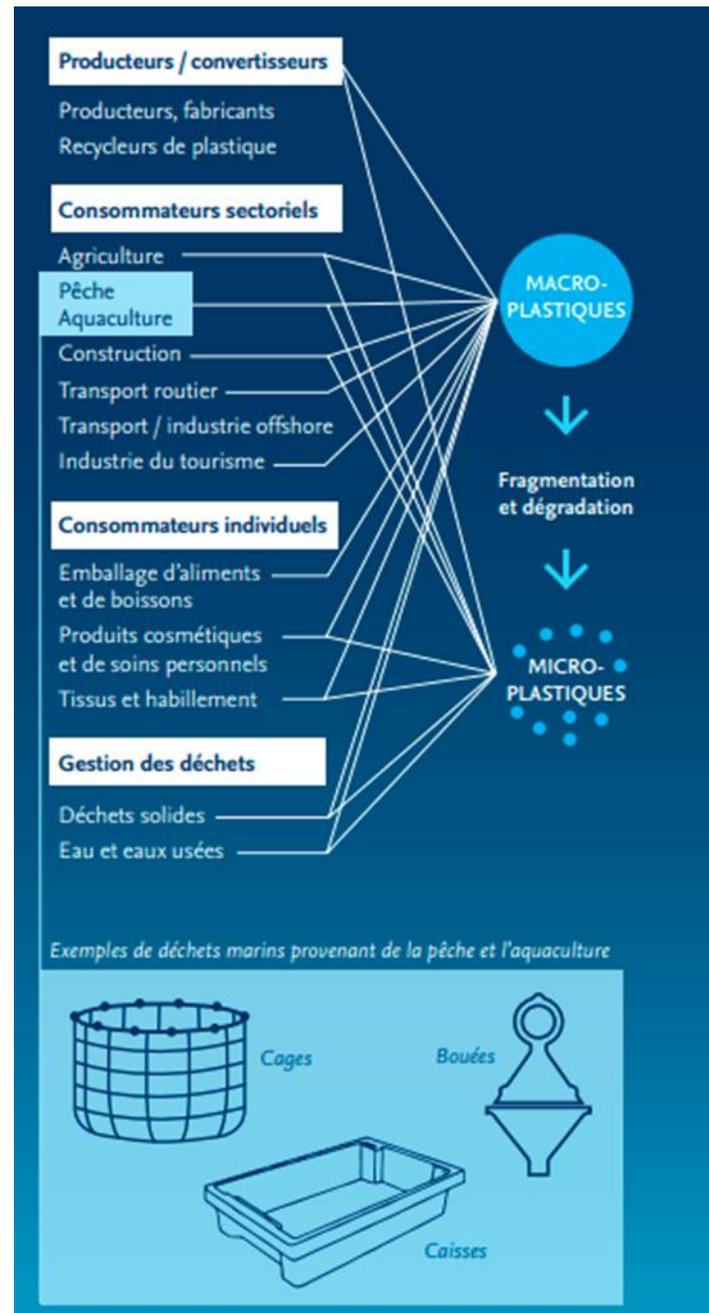
Des années sont nécessaires pour que des morceaux de plastique se décomposent en petits fragments, [44] avec des dimensions variables qui se mesurent en mètres ou en micromètres, sous l'effet du changement des conditions environnementales. Les fragments dont les dimensions sont inférieures à 5 mm sont connus sous le nom de micro plastique. [45], et ont une persistance élevée dans l'écosystème. Ils se différencient par leur forme, leur dimension et leur composition chimique.

### I.5.2 Origine des micros plastiques

La production et l'utilisation des micros plastiques à l'échelle mondiale ont augmenté de manière exponentielle depuis les années 1950 pour atteindre plus de 320 millions de tonnes en 2015, et comme la demande pour les produits en plastique est en constante augmentation, il est estimé que la production atteindra 1 milliard de tonnes d'ici 2050. Les micros plastiques proviennent d'une multitude de sources (Figure 7) et sont classés en deux catégories principales :

- **Micros plastiques primaires** : manufacturés intentionnellement pour être d'une taille spécifique, comme les granulés, les poudres, et les abrasifs domestiques et industriels par exemple.
- **Micros plastiques secondaires** : de la dégradation de matériaux plus grands, par fragmentation (des sacs en plastique, matériaux d'emballages alimentaires et cordes, par exemple) ou les émissions de micros plastiques dues au transport routier (l'abrasion des pneus de voitures lors de leur utilisation est la source la plus significative, par exemple).

Les micros plastiques provenaient initialement de l'abrasion, de la dégradation et de la fragmentation physique de matériaux plastiques d'origine terrestre, mais plus récemment, la fabrication intentionnelle de micros plastiques et de nano plastiques a exacerbé leur présence dans l'environnement et leurs risques potentiels.



**Figure I-7** : La source de plastique Atteignant l'environnement marin [46]

Les premiers rapports sur la pollution micros plastique issue de débris plastiques de différentes tailles ont été publiés dès les années 1960, s'appuyant sur des études d'oiseaux échoués.

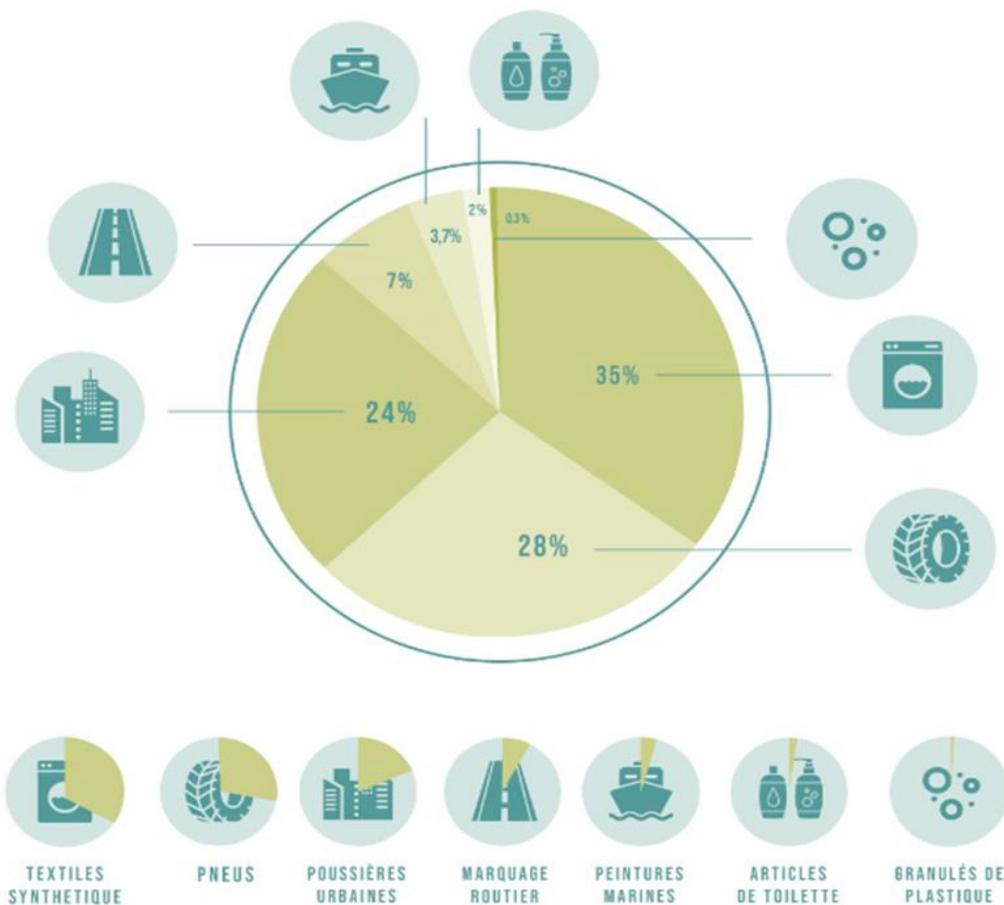
Dans le secteur de la pêche et de l'aquaculture, le plastique est couramment utilisé pour fabriquer des engins de pêche, des cages, des bouées ainsi que pour construire des bateaux et assurer leur entretien.

Les caisses et les matériaux d'emballage en plastique sont utilisés pour transporter et distribuer les produits ichtus. En outre, les engins de pêche abandonnés, perdus ou rejetés sont considérés comme la principale source maritime de déchets marins en plastique.

L'ensemble de ces usages dans le secteur de la pêche et de l'aquaculture constitue une source potentielle de micro plastique. En revanche, il n'existe pas de données quantitatives sur la contribution de ce secteur à l'apport global en micro plastiques à l'environnement marin. [47]

### I.5.3 Rejets de micro plastiques primaires dans les océans

Les rejets de micro plastiques primaires dans les océans se réfèrent aux particules de plastique qui sont directement introduites dans l'environnement marin, généralement à partir de sources terrestres. Ces sources comprennent :



**Figure I-8 :** Représente les pourcentages des sources de déchets micro plastiques primaires dans les océans. [48]

- **Les textiles synthétiques** : Représentant la première source de pollution plastique (35 %), les fibres synthétiques des vêtements sont libérées dans les eaux usées lors des lavages à haute température et même lors du simple frottement des vêtements dans la machine à laver [48]
- **Les pneus** : La détérioration des pneus sur les routes constitue la deuxième source principale de micro plastique primaire (28 %). L'abrasion des pneus pendant la conduite libère de petites particules de plastique qui finissent par se retrouver dans l'environnement marin.
- **Les peintures marines** : Souvent utilisées pour leurs propriétés anticorrosives ou anti-salissures, les peintures marines contiennent généralement des plastiques tels que le polyuréthane, l'époxy, le vinyle et des lacs [49]. Lors de la construction ou de la maintenance de navires commerciaux ou de plaisance, ces peintures libèrent des microplastiques dans l'environnement marin.
- **Les produits d'hygiène** : En plus des emballages plastiques, les produits d'hygiène eux-mêmes contribuent à la pollution par le micro plastique. Les microbilles plastiques sont largement utilisées dans les cosmétiques et les produits de soins personnels dans de nombreux pays, y compris les crèmes, les déodorants et les dentifrices.
- **Les cosmétiques et produits de soins** : À l'échelle mondiale, plus de 500 types de polymères différents sont présents dans les produits cosmétiques et de soins, ce qui peut contribuer à la libération de micro plastiques dans l'environnement.
- **Les poussières urbaines** : Les particules de plastique issues de l'usure de matériaux présents en milieu urbain constituent une autre source de micro plastique. Ces particules de plastique sont transportées par le vent ou le ruissellement des eaux de pluie et proviennent de diverses sources telles que les semelles de chaussures, le marquage au sol, la dégradation des bâtiments et les produits détergents.

Chaque région du globe a sa part de responsabilité, selon le développement de son économie et de sa démographie. D'après l'UICN, à l'échelle mondiale, les principaux émetteurs de micro plastique primaires (sans compter les poussières urbaines) sont : les textiles en Inde et Asie du Sud (15,9 % des rejets mondiaux), les pneus en Amérique du Nord (11,5%), les textiles en Chine (10,3 %) et les pneus en Europe et en Asie centrale (10,3%) [50]

#### **I.5.4 Les parcours des micros plastiques**

Tous les micros plastiques, qu'ils soient primaires ou secondaires, sont transportés dans l'océan par le ruissellement de l'eau sur les routes (66%), surtout en zone urbaine, par les systèmes de traitement des eaux usées (25%) et le vent (7%) [51].

Une fois dans l'océan, ils vont alors couler ou flotter, à la faveur des courants marins. [52]

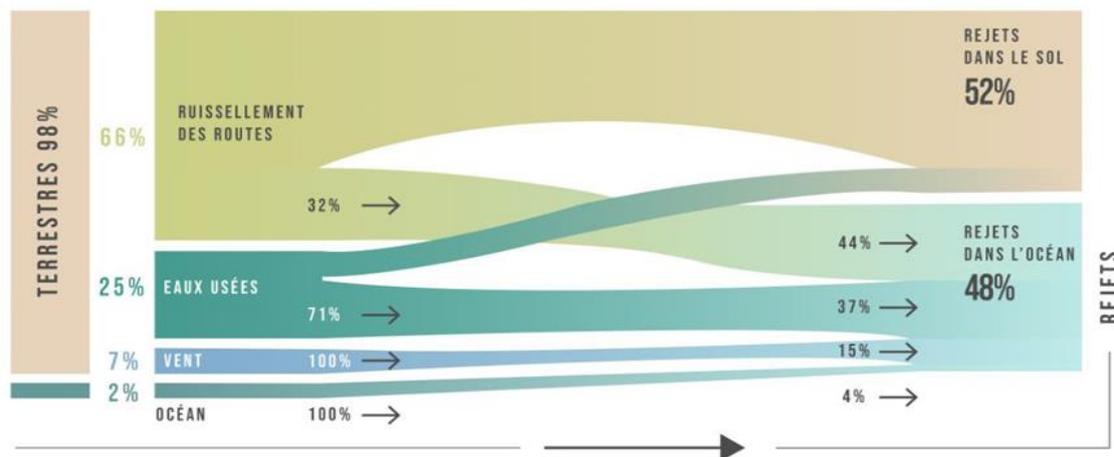


Figure I-9 : Les parcours des micros plastiques dans l'océan [52]

### I.5.5 Impacts des micros plastiques du milieu marin

Les impacts des micros plastiques sont vastes et touchent de nombreux aspects de l'environnement marin ainsi que la santé humaine. Voici

Quelques-uns des principaux impacts :

#### a) Sur la santé humaine

Les humains ingèrent quotidiennement des micros plastiques par les boissons, la nourriture et même l'air. Une partie des particules inhalées peut pénétrer dans le tube digestif grâce aux mécanismes de clairance micro ciliaire des poumons après inhalation [53] ; [54]. L'évaluation de l'exposition humaine au micro plastique par voie orale reste difficile en raison de l'absence de méthodes standardisées pour l'échantillonnage et l'analyse, ainsi que de matériaux de référence pour différents polymères dans diverses matrices.

Dans ce contexte, l'équipe de Schwabl a détecté des microplastiques dans les selles de volontaires sains du monde entier. Bien que cette étude n'ait inclus qu'un petit nombre de participants (n=8), des microplastiques ont été trouvés dans tous les échantillons, avec une moyenne de 20 particules par 10 g de selles.

Ces particules étaient de différents types de polymères (principalement PP et PET) et de tailles variées (entre 50 et 500  $\mu\text{m}$ ) [55] Jusqu'à présent, une seule étude a quantifié l'exposition humaine aux microplastiques via la nourriture et les boissons dans le cadre d'un régime alimentaire typique américain.

Selon cette étude, les enfants consomment quotidiennement entre 106 et 113 microplastiques, tandis que les femmes adultes en consomment environ 126 par jour et les hommes adultes environ 142 par jour.

Les produits de la mer et l'eau embouteillée sont parmi les principales sources de microplastiques, bien que les niveaux d'exposition varient considérablement selon la localisation géographique et les habitudes alimentaires [56].

### **b) Sur l'environnement, écosystèmes et organismes**

Les impacts des plastiques en mer peuvent être divisés en deux grandes catégories : les impacts à l'échelle globale des écosystèmes, principalement liés au transport des espèces, et les impacts à l'échelle des organismes et des populations.

Au niveau des écosystèmes marins, les plastiques fournissent un nouvel habitat pour de nombreuses espèces, notamment des micro-organismes benthiques tels que des arthropodes, des mollusques, des hydres, des bryozoaires, ainsi que de nombreux micro-organismes comme des bactéries, des virus, des champignons et des micro algues du genre dinoflagellés et des diatomées [57]

Ces espèces colonisent rapidement les déchets plastiques en mer, s'y fixent voire s'y développent, formant ainsi ce que l'on appelle la Plast sphère [58]

Étant donné que les débris plastiques sont des matériaux persistants et très mobiles, ils ont la capacité de transporter des espèces sur de vastes échelles d'espace et de temps, ce qui est souvent qualifié d'"effet réseau".

### **c) Sur l'économie**

Les impacts économiques incluent une diminution des possibilités d'exploitation du milieu marin à des fins récréatives ou lucratives [59].

La présence de pollution et de substances dangereuses déprécie la valeur des activités humaines. Les secteurs tels que la pêche, les transports et le tourisme, ainsi que les gouvernements et les communautés locales, subissent les effets économiques défavorables des déchets marins [60].

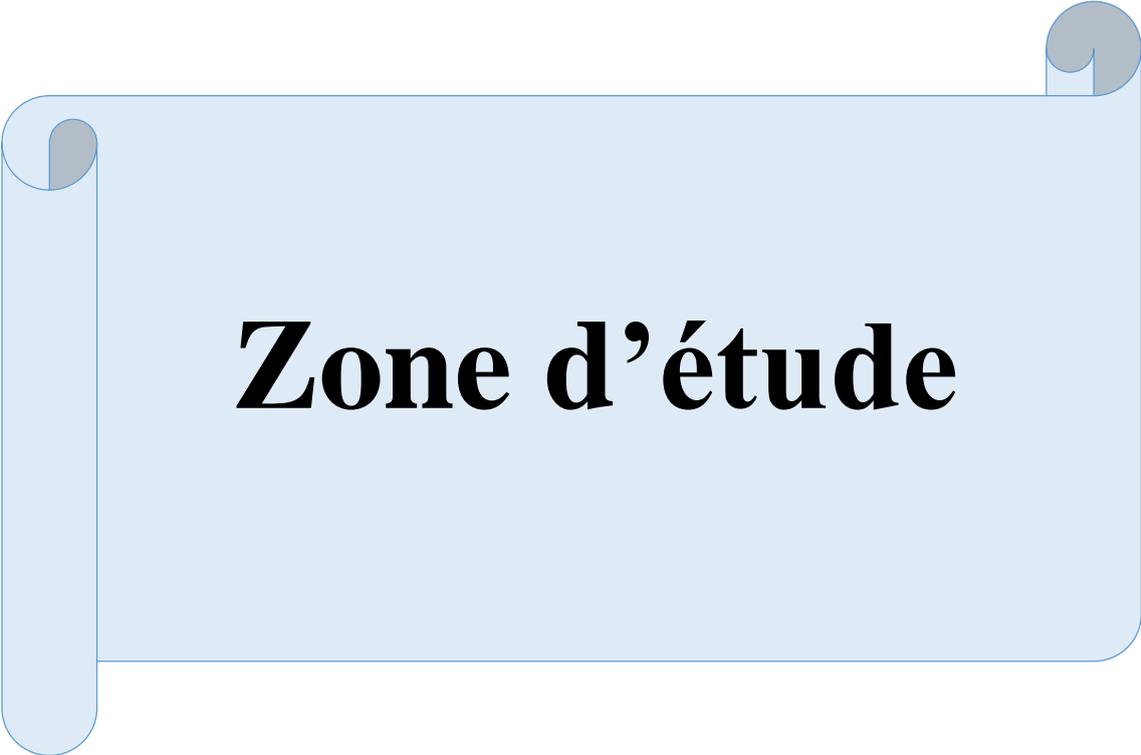
Les répercussions économiques peuvent engendrer des coûts directs ou indirects [61] distinguant ainsi deux catégories de coûts économiques liés aux déchets marins.

Les coûts économiques directs résultent des dommages infligés à une industrie ou à une activité économique, comme par exemple les dépenses occasionnées par l'immobilisation d'un navire en raison de débris marins s'emmêlant autour de son hélice. Ces coûts peuvent être facilement estimés.

D'autre part, les impacts économiques indirects résultent de façon indirecte, par exemple, de la contamination de la chaîne alimentaire par les déchets plastiques ingérés par la vie marine, ayant ainsi des répercussions sur les animaux marins et même sur les êtres humains. L'évaluation de ces coûts s'avère plus complexe.

Il a été estimé que les dommages causés par les déchets marins aux industries de la pêche, du transport maritime et du tourisme dans la région de l'APEC (Communauté économique Asie-Pacifique) s'élevaient à 1,265 milliards de dollars américains par an en 2008. Cependant, des estimations plus récentes suggèrent que le coût annuel réel pourrait être beaucoup plus élevé, atteignant 10,8 milliards de dollars américains. [62]

À l'échelle mondiale, les déchets plastiques occasionnent des dommages financiers de l'ordre de 13.109 milliards de dollars US aux écosystèmes marins chaque année [63]. En résumé, les micros plastiques représentent une menace sérieuse pour les écosystèmes marins, la biodiversité, la santé humaine et l'économie. Des mesures sont nécessaires au niveau mondial pour réduire la production de plastique, améliorer la gestion des déchets et protéger les écosystèmes marins contre cette forme insidieuse de pollution.

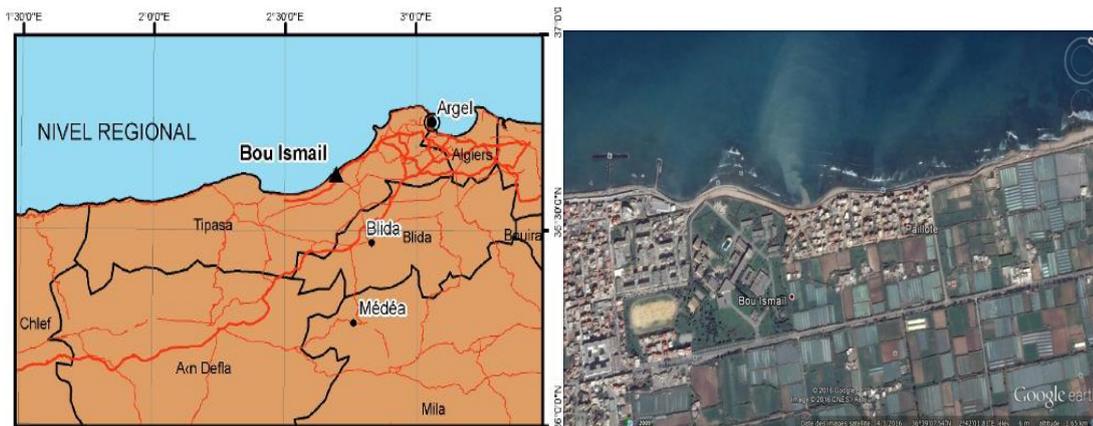


# **Zone d'étude**

## II-1 Généralités sur la zone d'étude

### II.1.1 Localisation Géographique

Notre site d'étude correspond à la baie de Bou-Ismaïl (ex : Golf de Castiglione), qui est limitée à l'est par le promontoire de RAS-ACRATA et à l'ouest par le cap du mont CHENOUA. La baie de Bou Ismaïl s'étend sur une superficie d'environ 350 km<sup>2</sup>. Elle s'ouvre sur 40 km du Sud-Ouest au Nord-Est, entre 2°54' Est et 36°48' Nord et 2°24' Est et 36°48' Nord. [64].



**Figure II-1 : Localisation de la zone d'étude (BouIsmaïl-Tipaza) [65]**

### II.1.2 Reliefs :

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

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

En général la Baie de Bou-Ismaïl est une zone de collines [66].

### II.1.3 Climat :

Le facteur climatique influe directement sur les ressources hydriques, la couverture végétale, la population ...etc. Du fait de sa proximité de la mer méditerranée, la baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par un climat subhumide, un hiver humide et un été chaud et sec [67]

### II.1.4 Ressources hydrographiques superficielles

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

- **Oued Mazafran :**

Considéré comme le plus grand et le plus important oued dans la wilaya de Tipaza, présentant un apport de 369.80hm<sup>3</sup>. Il draine les eaux d'une grande partie d'Oued Chiffa, Oued Djer et Oued Bouroumi (w. de Blida). Il prend la direction Sud-ouest à Nord-Est [68]

- **Oued Nador :**

Situé dans la partie occidentale de la Baie présentant un apport de 43,30 hm<sup>3</sup>. Il regroupe les oueds suivants : Bouyeghsene, Bouuhardoun et Meurad. Débouché entre Djebel chenoua et Tipaza [68]

## **II.1.5 Choix de la zone d'étude**

La ville de Bou-Ismaïl demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution du pays. C'est une zone à vocation touristique et agricole. Sa frange côtière est soumise principalement au rejet domestique des villes et des complexes touristiques qui se déversent directement dans le milieu naturel sans aucun traitement au préalable dans la plupart des cas, et qui s'accroissent en période estivale. D'après les données statistiques du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 37 points de rejets d'eau usées collectées par le réseau d'assainissement se déversent directement en mer sans aucun traitement. Ajoutant à cela les rejets d'eaux usées véhiculées par les oueds : Oued Nador à l'ouest ; Oued Mazafran au centre et Oued Beni-Messous à l'est qui traversent les centres urbains et qui se déversent en mer, drainant les eaux de ruissèlement des terres agricoles, des effluents urbains et industriels [66].

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

## **II.2 Prélèvement des échantillons**

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

La campagne de prélèvement des échantillons a été réalisée par l'équipe N3 « Interactions milieux ressource » de la division écosystème aquatique du CNRDPA en Juillet 2023. Cette campagne rentre dans le cadre de la réalisation du projet interne inscrit dans l'équipe intitulé « les microplastiques et leurs additifs dans les produits halieutiques et aquacoles en Algérie ». Le projet est dirigé par Dr Belhouchet Nassima. Le plan de travail établi consiste à réaliser des campagnes hydrologiques pour prélèvements et analyse des trois matrices composantes de l'écosystème marin à savoir l'eau, les sédiments et le biote. Notre travail concerne juste la matrice des sédiments qui a été réalisé pendant la campagne POLLMicroplastics-01 via le bateau scientifique « Saleh » voir (**Figure I-2**).

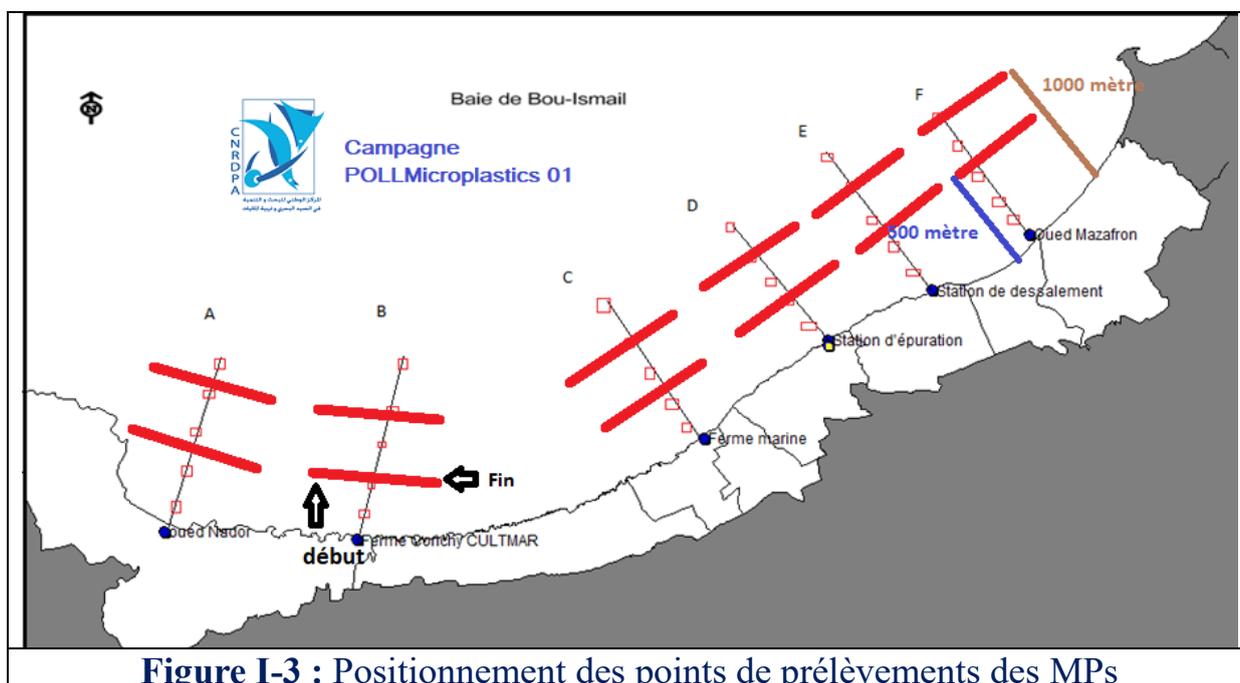


Nom : <b>SALAH</b>	Creux : <b>1.18 M</b>
Matricule : <b>CH 760</b>	Jauge brute : <b>12.04</b> tonneaux
Type : <b>Pêche scientifique</b>	Jauge nette : <b>8.19</b> tonneaux
Port d'attache : <b>Port de Khemisti, Tipaza</b>	Moteur : <b>230 Cv</b>
Longueur : Lht (Longueur hors tout) : <b>12.77 M</b>	Marque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

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

## II.2.2 Localisation des stations de prélèvement :

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



**Figure I-3** : Positionnement des points de prélèvements des MPs



# **Matériels et Méthodes**

### III.1 Prélèvement des sédiments

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

Les échantillons de sédiments seront destinés à l'analyse de la pzc, le taux de la matière organique et les microplastiques (MPs).

La **Figure III-1** montre la benne utilisée pour les prélèvements des sédiments.



**Figure III-1** : Benne Van Veen utilisé pour le prélèvement des sédiments

### III.2 Prélèvement et conservation des échantillons

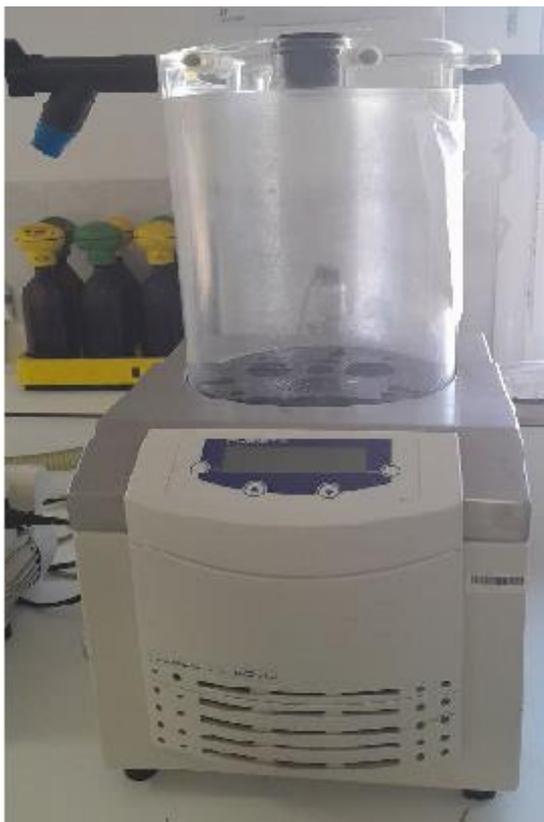
Durant la campagne POLLMicroplastics01, nous avons appliqué la procédure suivante pour le prélèvement des sédiments :

- **Prélèvement des sédiments** : Après avoir prélever le sédiment, l'échantillon doit être mis directement dans un bocal en verre.
- **Étiquettes d'échantillons** : Utiliser des étiquettes résistantes à l'eau et inscrire clairement les informations suivantes : identificateur de l'échantillon, date et heure de prélèvement, localisation du site, nom du collecteur et conditions environnementales.
- **Matériel de protection** : Gants, lunettes de protection et masque pour se protéger du contact avec les sédiments et des agents pathogènes potentiels
- **Transport** : le Transporter des échantillons a été réalisé via une glacière à une température constante de 4 °C. il est important dans cette étape de minimiser le temps de transport et éviter les chocs et les vibrations excessifs qui pourraient perturber les sédiments.
- **Conservation** : une fois arrivé au laboratoire, les échantillons sont congelés à -20°C. (Noter la date de congélation et la durée de conservation sur les étiquettes des échantillons.

### III.3 Prétraitement des échantillons

#### ➤ Lyophilisation

Le principe est la déshydratation des échantillons congelés qui s'effectue par sublimation. Le principe de la technique est la libération de l'eau de l'échantillon en passant de la phase solide à la phase vapeur sans passer par la phase liquide [69]. Cette étape a été réalisée pour les échantillons biotes et sédiments. La lyophilisation a été réalisée au niveau du laboratoire physicochimique du CNRDPA par l'appareil Lyophilisateur de marque ALPHA 1\_2 LD Plus voir (**Figure III-2**).



**Figure III-2** : Lyophilisateur de marque ALPHA 1\_2 LD Plus

### III.4 Caractérisation des sédiments

#### a) Teneurs des sédiments en matière organique

L'analyse du taux de la matière organique consiste à faire passer une masse  $M$  du sédiment lyophilisé dans le four à moufle.

Une masse de 1g est placée dans un four à moufle préchauffé à 550 °C pendant 5 heures pour brûler la matière organique présente dans les échantillons. Après refroidissement de l'échantillon, la masse de l'échantillon est notée.

La différence de masse avant et après calcination représente le taux de la matière organique MO présente dans l'échantillon.



**Figure III-3** : Photos numériques des échantillons et du four à moufle utilisé pour l'analyse de la matière organique (MO) des sédiments

#### **b) Analyse des sédiments par IRTF**

L'analyse des sédiments étudiés par infrarouge a été réalisée au niveau de l'université de Blida. L'appareil est de marque shimadzu-FTIR8900 (Voir **Figure III-4**). Le spectre IFTR couvre les longueurs d'onde entre 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ .



**Figure III-4** : IRTFFTR utilisée pour la caractérisation des sédiments et des plastiques identifiés

### C) Identification et quantification des microplastiques MPs dans les sédiments marins :

Avant de procéder à l'identification des particules MPs, l'échantillon passe par plusieurs étapes :

- a) Extraction avec la solution saline saturée
- b) Digestion de la matière organique
- c) Filtration
- d) Observation microscopique des MPs
- e) Caractérisation des MPs par Infra-rouge IFTR

### III.5 Identification des MPs dans les sédiments

Pendant toute la procédure, des précautions particulières ont été prises pour éviter la contamination. La contamination a été évitée en nettoyant et en séchant tous récipients trois fois avec de l'eau distillée avant utilisation.

De l'eau distillée a été utilisée pour rincer tous les filtres.

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

#### Etape1 : Séparations des MPs par solution saline saturée

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

Le choix de la solution saline NaCl de densité ( $d = 1,2$ ), était pour son taux de récupération élevé de microplastiques, et son coup moins cher, moins toxique par rapport à  $ZnCl_2$  et NaI.



Figure III.5 : Les solutions saline NaI,  $ZnCl_2$  et NaCl

**Matériel Nécessaire :**

- Sédiments à analyser
- Solution de NaCl (densité environ 1,2 g/cm<sup>3</sup>)
- Tamis de différentes tailles (généralement 5 mm et 300 µm)
- Filtres en fibre de verre ou en polycarbonate (0,45 µm ou 1,6 µm)
- Entonnoirs Büchner et flacons de filtration
- Pompe à vide
- Agitateur magnétique
- Flacons en verre ou en plastique pour la solution de NaCl
- Pincés, spatules et autres ustensiles de laboratoire

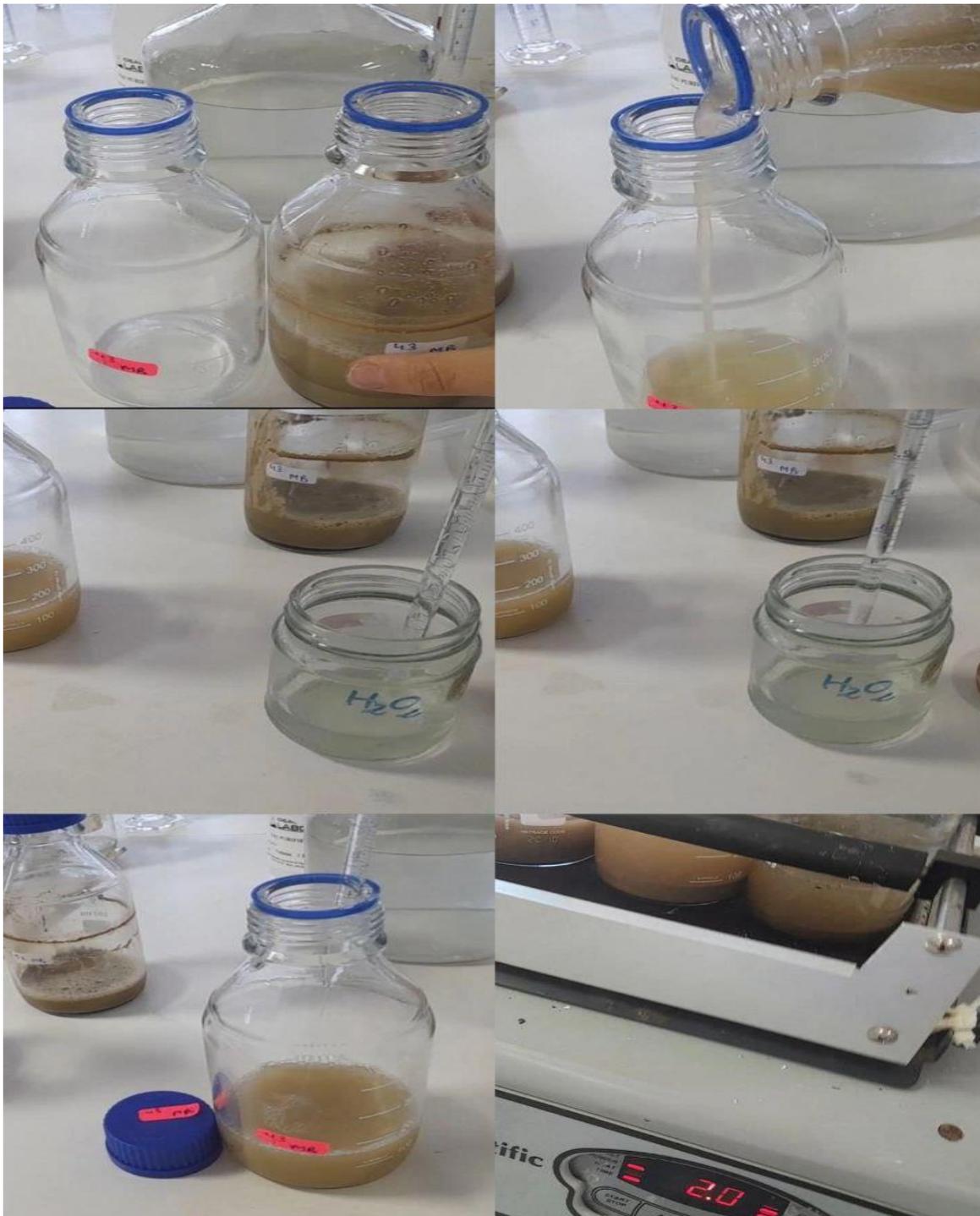


**Figure III-6** : Différentes étapes faites pour l'extraction des MPs en utilisant la solution saturée en NaCl avec sédiments

## Etape 2 : La digestion de la matière organique

Elle consiste à effectuer les opérations suivantes (**Figure III-7**) :

- Décantation au moins pendant 12h suivie d'une digestion.
- Récupération de la partie liquide supérieure et lui ajouter une quantité de de  $H_2O_2$  (30%)
- Agitation du mélange pendant au moins 2h



**Figure III-7** : Les différentes étapes faites pour la digestion de la matière organique

### **Etape 3 : Filtration**

#### **Méthode de filtration**

La méthode consiste à :

- ✓ Mettre en place un système de filtration sous vide avec un entonnoir Büchner et un flacon de filtration.
- ✓ Placer un filtre en fibre de verre ou en polycarbonate sur l'entonnoir.
- ✓ Collecte des microplastiques : Verser délicatement la solution surnageante à travers le filtre en utilisant une pompe à vide pour accélérer la filtration.
- ✓ Rincer le bécher avec de l'eau distillée et verser à nouveau à travers le filtre pour assurer que tous les microplastiques soient collectés.
- ✓ Rinçage final : Rincer le filtre avec de l'eau distillée pour enlever les résidus de sel.
- ✓ Séparer les gros débris de l'échantillon à l'aide d'une pince, en les mettant dans une boîte de pétri.
- ✓ Filtrer la solution sur un filtre de verre de porosité de 1.2 µm en utilisant une rampe à filtration en verre.
- ✓ Récupérer les filtres à l'aide d'une pince en inox dans une boîte de pétrie en verre et la mettre à l'étuve pendant une nuit avec une température de 45°C.

(**Figure III-8**) montre les différentes étapes décrites.

### **Etape 4 : Identification des microplastiques sous la loupe binoculaire**

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

L'observation a été réalisée au niveau du laboratoire physicochimique de la ferme expérimentale du CNRDPA. La loupe est de marque MICROS Avec les grossissements de 10 et 30.

Il est à noter qu'on doit s'assurer que la surface de travail est propre afin d'éviter toute contamination éventuelle (voir **Figure III-9**).



**Figure III-8 :** Différentes étapes faites pour la Filtrations

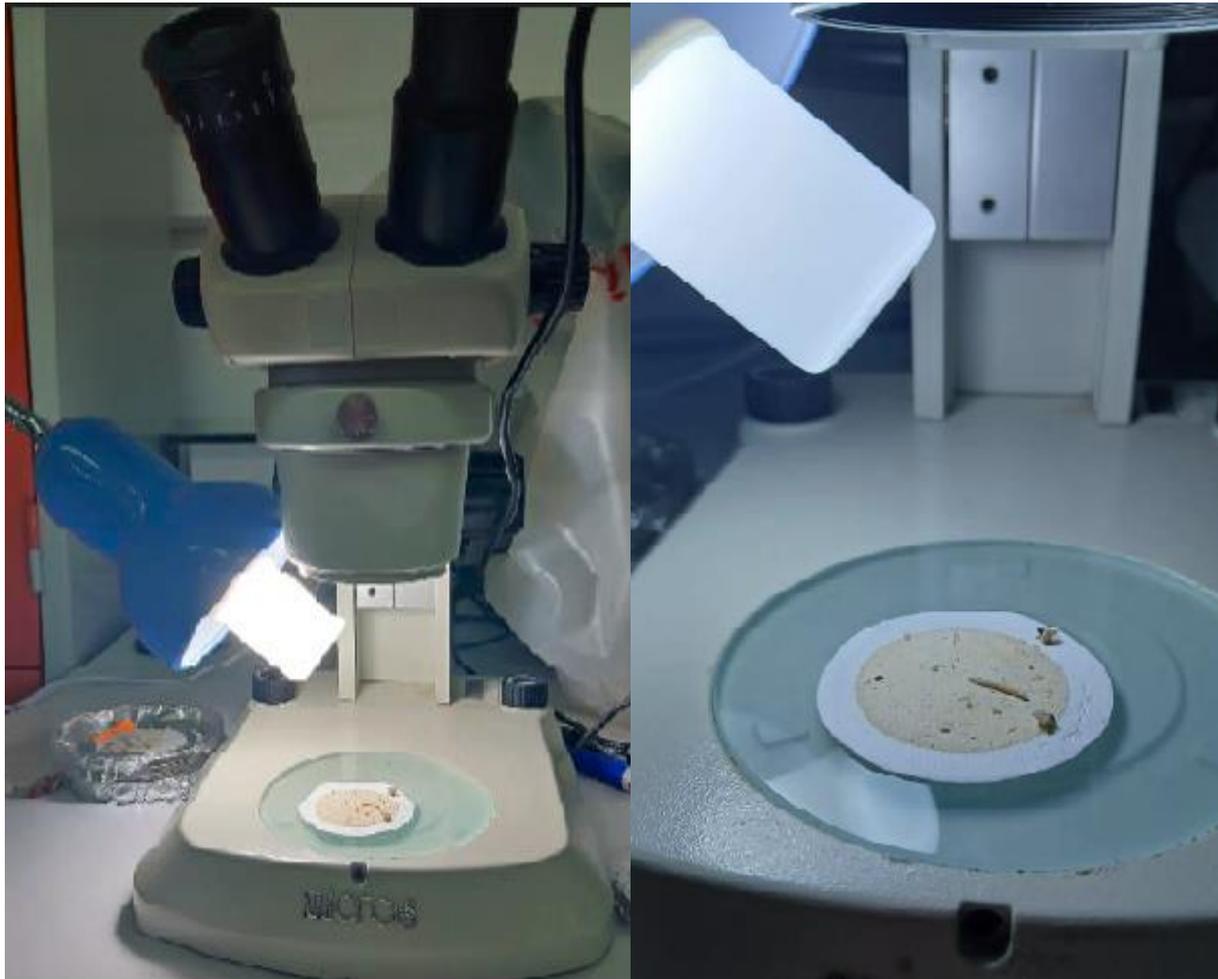


Figure III-9 : Loupe utilisée pour l'identification des MPs

### Etape 5 : Lecture des filtres

Pour le faire, nous avons suivi les étapes suivantes :

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

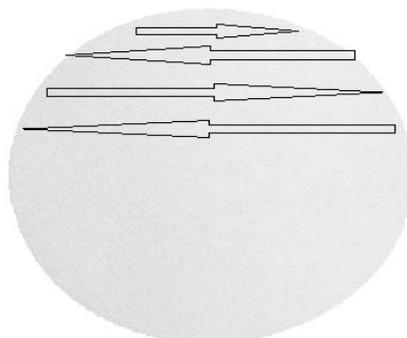


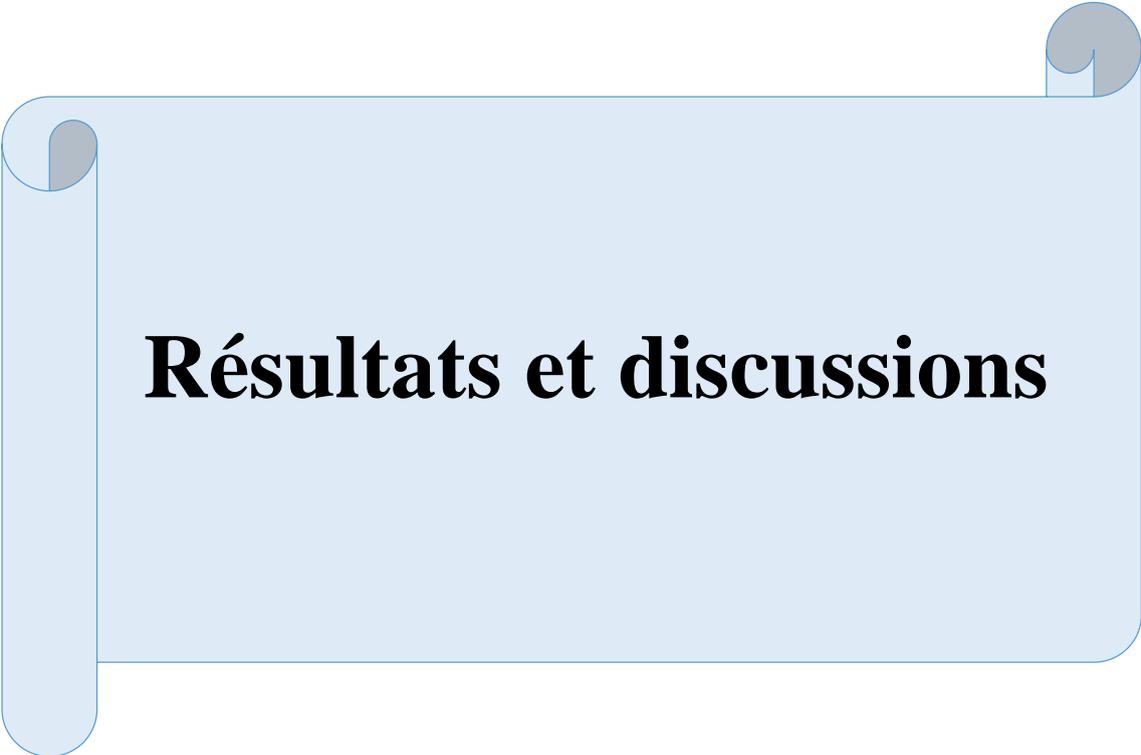
Figure III -10 : Procédure de lecture du filtre

## Etape 6 : Identification des microplastiques

- **Inspection au microscope** : Inspectez les filtres sous un microscope à dissection à un grossissement de 4,5 fois. Les filtres doivent être secs, car les filtres humides réfléchissent la lumière du microscope. En général, les filtres couverts sèchent après 24 heures à température ambiante, mais selon l'humidité du filtre et la température du laboratoire, cela peut prendre plus de temps.
- **Morceaux et textures** : La plupart des pièces en plastique sont assez souples et ne se cassent pas lorsqu'on les pique. Les pinces à épiler et des sondes vous permettront d'enfoncer des pièces individuelles. Les pièces en plastique rebondissent souvent ou rebondissent ou font ressort lorsqu'on les touche. Si un morceau se casse au toucher, ne le considérez pas comme du plastique.
- **Examen des filtres à forte charge de débris** : Les amas de débris et de sel peuvent recouvrir ou rendre plus difficile l'observation de morceaux de microplastique en dessous d'eux. Prenez soin de trier et d'écartier les débris afin de vous assurer que vous ne manquerez aucun microplastique.

**Tableau III-1** : Catégories utilisées pour décrire les microplastiques [70]

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



# **Résultats et discussions**

## IV. Caractérisation des sédiments

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

### IV.1 Morphologie des sédiments

Les sédiments sont classés en fonction de leurs tailles de particule généralement en catégories comme l'argile, le limon, le sable et le gravier. Cette caractérisation permet de comprendre le transport et la distribution des sédiments. Cela se fait via l'observation par la loupe

#### ➤ Observation des sédiments étudiés sous la loupe

L'observation des sédiments sous la loupe permet de déterminer les paramètres suivants :

- **Taille et forme des particules** : En observant les particules de sédiment à différentes échelles, on peut déterminer leur taille et leur forme. Les grains peuvent être anguleux arrondis ou en forme de flocons. ce qui peut indiquer leur histoire de transport et d'érosion.
- **Texture** : La texture des sédiments observée sous la loupe peut varier de fine à grossière en fonction de la taille des particules. Une texture fine peut indiquer un dépôt calme tandis qu'une texture grossière peut suggérer un transport énergétique.
- **Stratification** : Les couches ou strates de sédiments peuvent être facilement observées sous la loupe. La présence de strates distinctes peut indiquer des variations dans les conditions de dépôt au fil du temps.
- **Couleur** : La couleur des sédiments peut fournir des informations sur leur composition minéralogique et leur degré de décomposition organique. Par exemple, des sédiments riches en matière organique peuvent apparaître plus sombres.
- **Présence de fossiles** : Sous la loupe, on peut observer des restes fossiles tels que des coquilles, des os ou des fragments de plantes ce qui peut fournir des indices sur les environnements passés et la biodiversité antérieure.
- **Présence de structures sédimentaires** : Des structures sédimentaires telles que des lamines des rides de courant peuvent être observées fournissant des informations sur les processus de dépôt et les conditions environnementales.
- **Contamination ou présence d'artefacts anthropiques** : En examinant attentivement les sédiments, on peut parfois détecter la présence de contaminants ou d'artefacts anthropiques tels que des fragments de plastique, des métaux, ou des débris provenant d'activités humaines.

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

L'observation microscopique des sédiments étudiés sont montrés sur la **Figure IV-1**



**Port 500D**



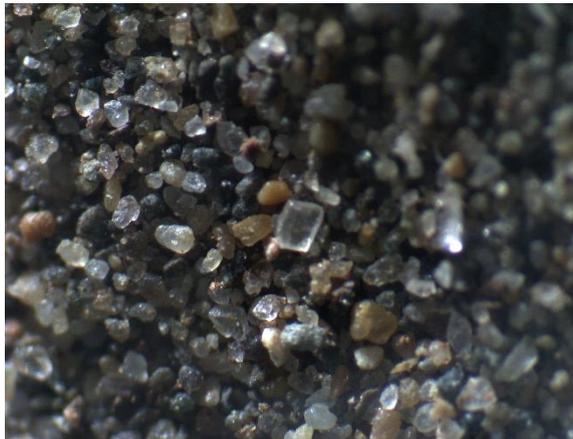
**Port 500F**



**STEP 1000 D**



**STEP 1000F**



**Ferme Marine500F**



**Ferme 1000D**



**DESS 500D**



**DESS 500F**

**Figure IV-1 : Observation microscopique des sédiments étudiés**

Les images montrées sur la **Figure IV-1** représentent une série de photographies prises à l'aide d'une loupe binoculaire de différents types de sédiments que nous avons étudiés. Les particules de sédiments sont de différentes formes, tailles et couleurs.

Les grains de sédiments grossiers sont généralement du sable constitué principalement de quartz et de calcite. Le sédiment fin se constitue généralement de la vase, mica et des argiles.

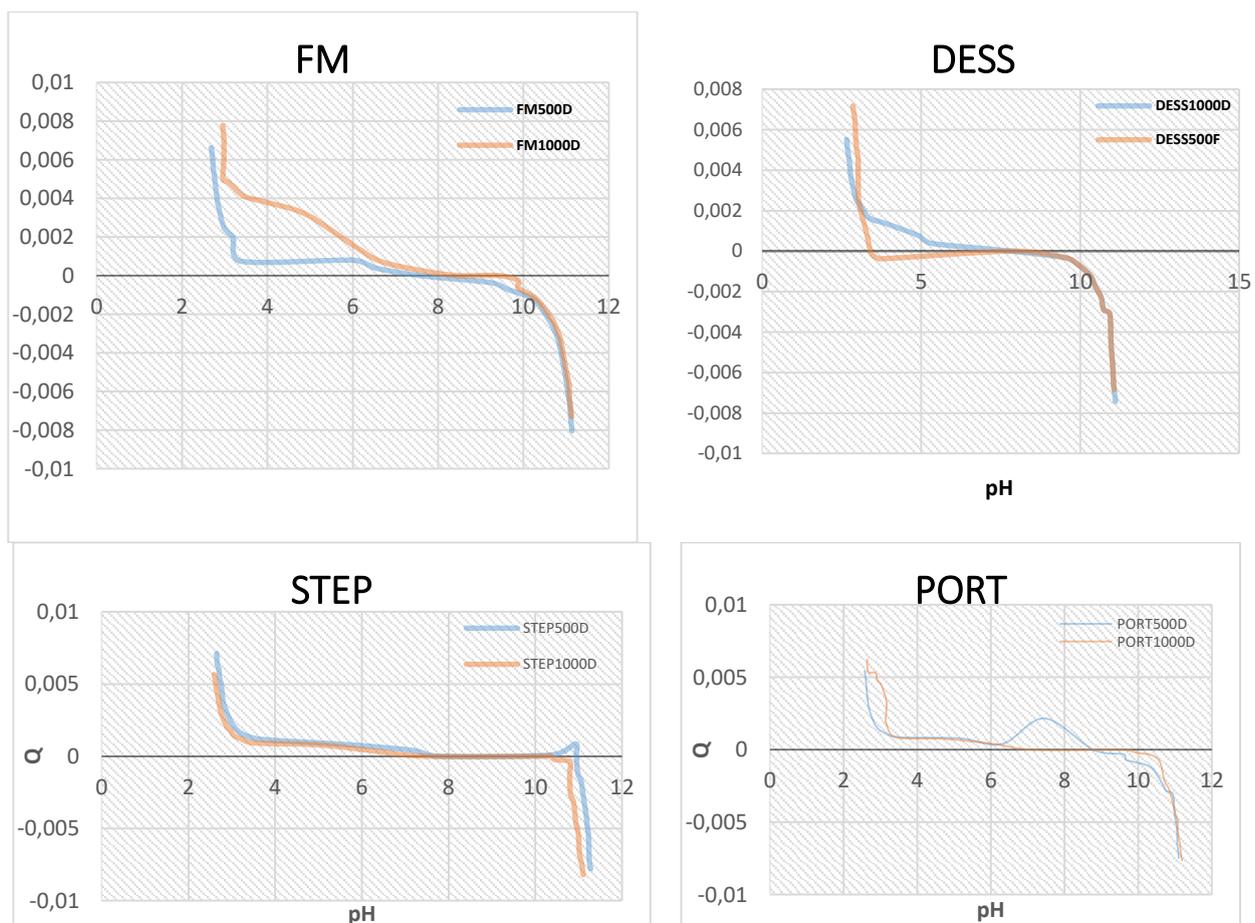
## IV.2. Détermination de la caractérisation des sédiments

Pour une caractérisation complète des sédiments des analyses chimiques approfondies sont souvent nécessaires notamment le point de charge nulle pH (pzc) et la spectroscopie infrarouge.

### IV.2.1 pH PZC des sédiments

La **Figure IV-2** montre la variation pH (PZC) des différents sédiments étudiés. Les résultats obtenus sont respectivement :

- La ferme marine : pH<sub>pzc</sub> de 7.4 pour (FM500D) et 8 pour FM1000D
- La STEP : pH<sub>pzc</sub> de 7.6 pour STEP500F et 7 pour STEP1000D
- La station de dessalement : pH<sub>pzc</sub> de 6.4 pour (DESS500F) et 6.8 pour (DESS 1000D)
- Le port de Tipaza : pH<sub>pzc</sub> de 8.8 pour PORT500D et 6.8 pour PORT1000D



**Figure IV-2 :** Courbe de la charge de surface en fonction de pH pour la détermination du pH<sub>pzc</sub> des sédiments étudiés

- **Ferme marine** : Le pH (PZC) est légèrement alcalin, avec des valeurs de 7,4 pour FM500D et 8 pour FM1000D. Cela suggère que la surface des sédiments a une affinité pour les anions.
- **STEP** : Le pH (PZC) est également légèrement alcalin, avec des valeurs de 7,6 pour STEP500F et 7 pour STEP1000D. Cela indique une surface similaire à celle de la ferme marine.
- **Station de dessalement** : Le pH (PZC) est le plus bas de tous les échantillons, avec une valeur de 6,4 pour DESS 500F et 6.8 pour (DESS 1000D). Ceci suggère une surface sédimentaire plus acide, avec une affinité potentielle pour les cations.
- **Port de Tipaza** : Le pH (PZC) présente une variation importante, avec des valeurs de 8,8 pour PORT500D et 6,8 pour PORT1000D. Cela indique une hétérogénéité possible dans la composition des sédiments du port.

#### IV.2.2 Analyse des sédiments par la spectroscopie Infrarouge

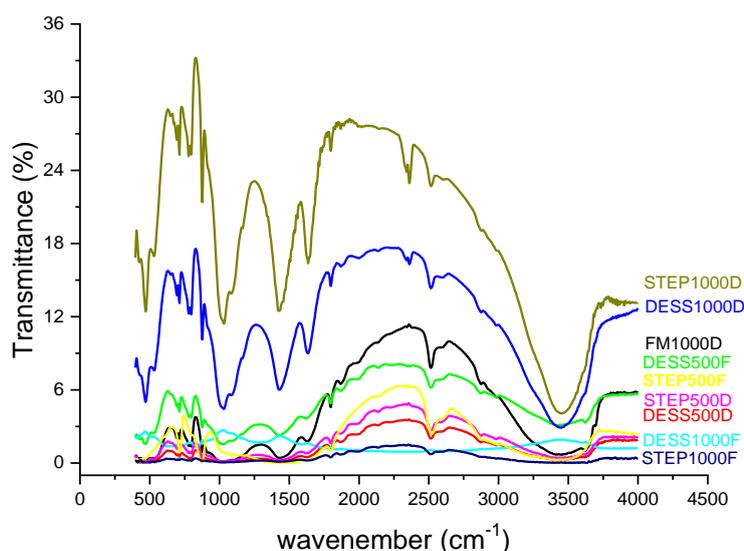
La spectroscopie infrarouge (IR) est une technique précieuse pour identifier les liaisons chimiques présentes dans les échantillons de sédiments. Les spectres de l'ensemble des échantillons semblent similaires avec une transmittance élevée dans la région infrarouge proche ( $4000-2500\text{ cm}^{-1}$ ) et une transmittance plus faible dans la région infrarouge moyenne ( $2500-1500\text{ cm}^{-1}$ ).

Le spectre DESS500F est très différent des autres spectres puisqu'il présente une transmittance élevée dans toute la gamme de longueurs d'onde étudiée.

La **Figure IV-3** présente l'identification minéralogique effectuée à partir de spectre infrarouge à l'aide d'un spectromètre IRTF Shimadzu8900.

Les résultats peuvent être expliqués comme suit :

- Les à pic  $1020.48\text{ cm}^{-1}$  sont associés aux liaisons Al-O des alumines
- Le pic  $1420-1428\text{ cm}^{-1}$  est associé à une liaison C-O.
- Les pics à  $600.700$  et  $800\text{ cm}^{-1}$  correspondent aux vibrations d'élongation typiques des liaisons Al-O qui montre la faible présence de kaolinite.
- Les pics à l'environ de  $3600\text{ cm}^{-1}$  sont associés au liaison O-H présentent dans l'eau. [71]



**Figure IV-3** : Spectres IFTR des échantillons analysés

### IV.2.3. Taux de matière organique dans les sédiments étudiés

Les résultats de l'analyse de la matière organique par la méthode de calcination sont montrés dans le **Tableau IV-1**.

Les différents résultats montrent que les teneurs en carbone organique oscillent entre 0.196 et 2.166 %. (Moyenne de 0.652% et Écart type de 0.564).

Les teneurs par zone varient en moyenne entre (0.42% pour le port 0.65% pour le dessalement, 0.82% pour la STEP et 0.64% pour la ferme marine. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la STEP 500D avec une valeur de 2.167.

Les faibles valeurs sont observées pour les échantillons à la granulométrie la plus grande et les plus fortes valeurs concernent à granulométrie très fine.

**Tableau IV-1** : Taux de matière organique dans les sédiments marins

ECH	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	M(MO)(g)	%MO	Moyenne par zone
PORT1000D	6.630	6.595	0.035	0.527	<b>0.48</b>
PORT500D	6.836	6.806	0.030	0.439	
PORT1000F	6.575	6.541	0.035	0.532	
PORT500F	7.205	7.174	0.030	0.416	
DESS1000D	11.109	11.078	0.030	0.270	<b>0.65</b>
DESS500D	5.927	5.886	0.041	0.687	
DESS1000F	15.389	15.338	0.051	0.331	
DESS500F	6.298	6.216	0.082	<b>1.302</b>	
STEP1000D	15.511	15.478	0.033	0.213	<b>0.83</b>
STEP500D	6.346	6.208	0.138	<b>2.175</b>	
STEP1000F	12.754	12.729	0.025	0.196	
STEP500F	12.463	12.373	0.090	0.722	
FERME500D	15.5444	14.4279	0.11654	0.750	<b>0.64</b>
FERME500F	16.164	16.0994	0.0647	0.400	
FERME1000D	15.229	15.1095	0.1195	0.761	
Moyenne	10.665	10.537	0.061	<b>0.684</b>	<b>0.65</b>
Ecart type	4.211	4.129	0.038	<b>0.565</b>	

### IV.3. Identification des micros plastiques MPs dans les sédiments

Les **Figures IV-4-5-6-7-8-9-10-11** montrent des histogrammes et des graphes en secteurs représentant la répartition des différents types de micro plastiques (MPs) dans les sédiments (FM, STEP, DESS, PORT).

Les données présentées permettent d'analyser la composition et la quantité des MPs présents dans l'environnement sédimentaire étudié.

### **IV.3.1. Identification des MPs dans la zone de la ferme marine FM**

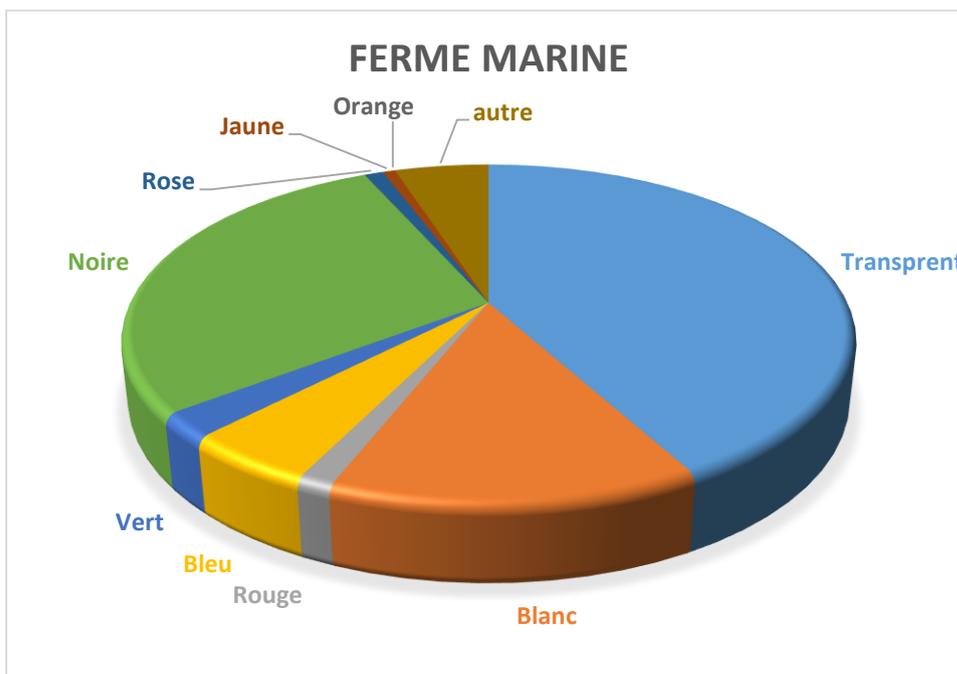
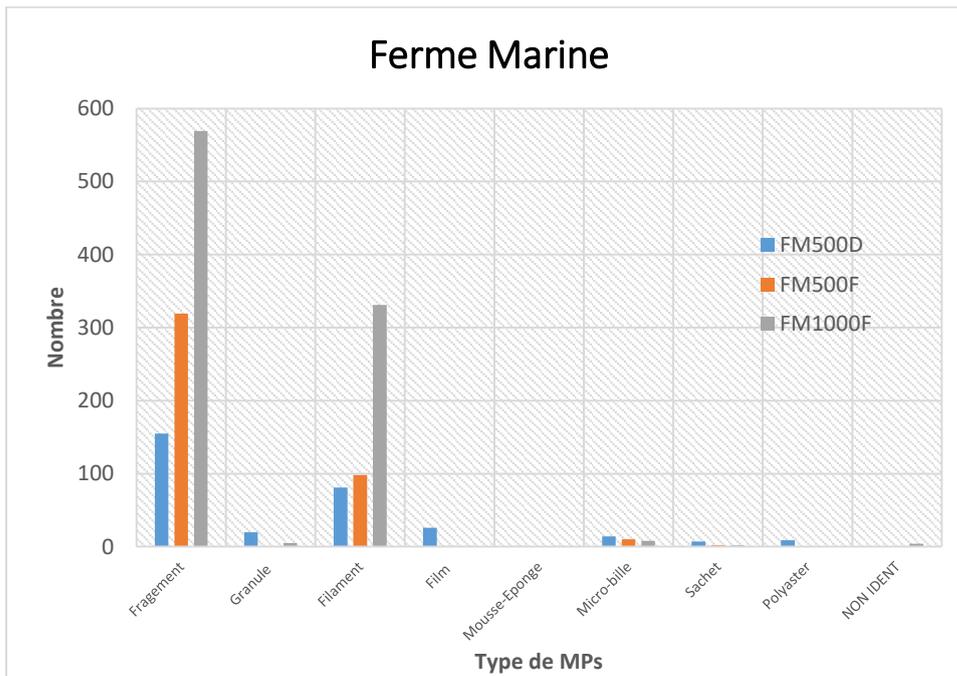
Dans cette partie, nous avons classé le micro plastique identifié dans les sédiments analysés par deux critères :

- **Classement par type de MPs**
- **Classement par couleur de MPs (voir figure IV-4).**
  - Les fragments constituent la catégorie de microplastiques la plus abondante dans la zone de la ferme marine, avec une moyenne cumulée de 350 fragments pour 50 grammes de sédiments analysés.
  - Les filaments (170/50g) et les films (30/50g) se classent respectivement en deuxième et troisième position en termes d'abondance.
  - Les microbilles, les sachets en polyester et la mousse éponge sont présents en quantités comparables.

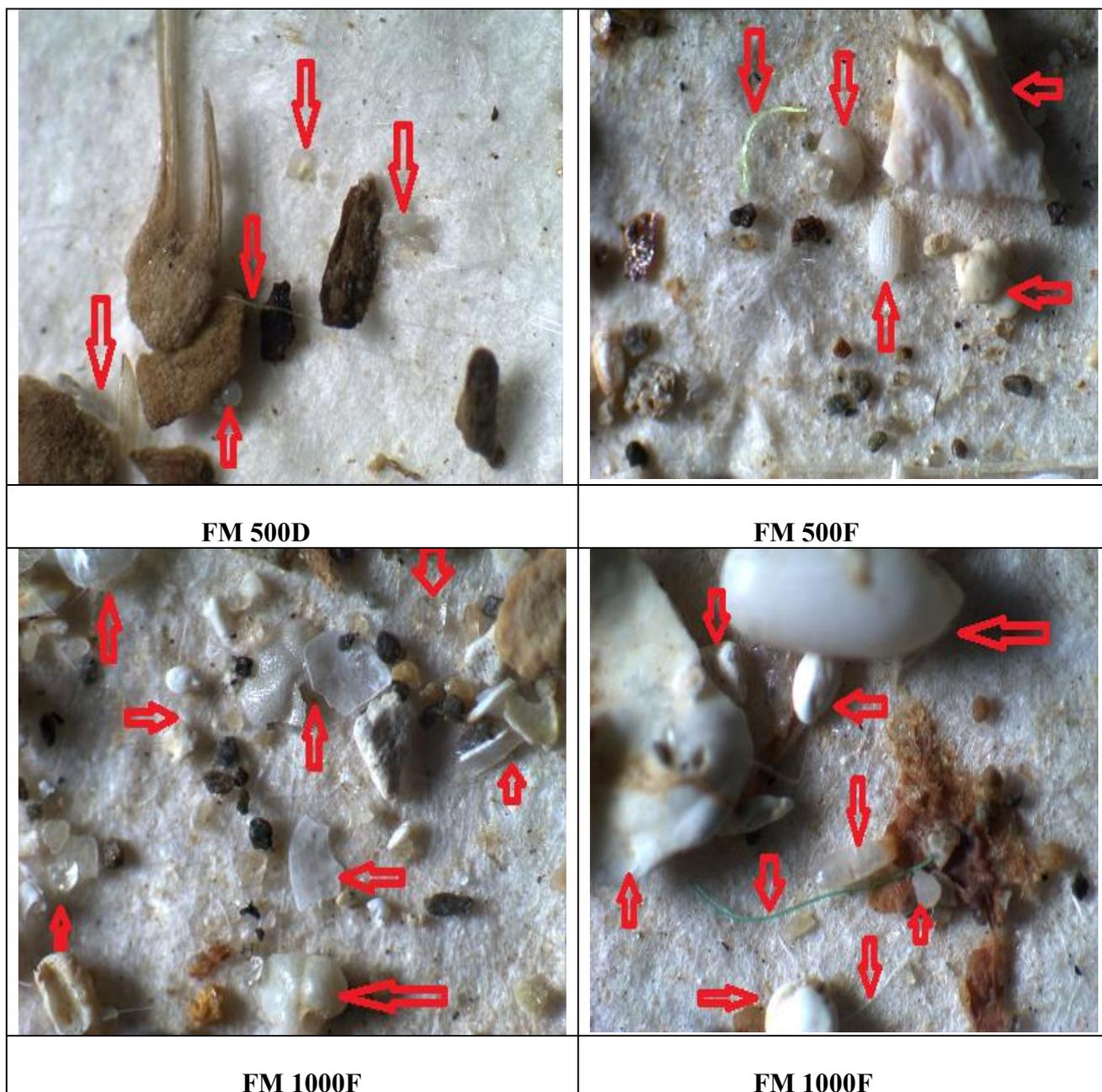
Par rapport au critère de la couleur, les résultats sont :

- ✓ Transparent, noire et blanc : Ces trois couleurs sont les plus dominantes, représentant ensemble environ 75 % de l'échantillon.
- ✓ Bleu : La couleur bleu est la quatrième couleur la plus présente, mais elle est nettement moins représentée que le noire et le blanc.
- ✓ Orange, verte, jaune, rouge ainsi que d'autres : Ces cinq couleurs sont peu présentes, représentant ensemble environ 15 % des couleurs observées.

Il est à signaler que pour la station FM 1000D la benne est montée vide ce qui suggère que cette zone est rocheuse (absence de sédiment).



**Figure IV-4 :** Identification des MPs par type et par couleur dans la zone de la ferme marine du CNRDPA



**Figure IV-5** : Phots des MPs par la loupe dans la zone de la ferme marine du CNRDP

### IV.3.2 Identification des MPs dans la zone de la STEP de Bou-Ismaïl

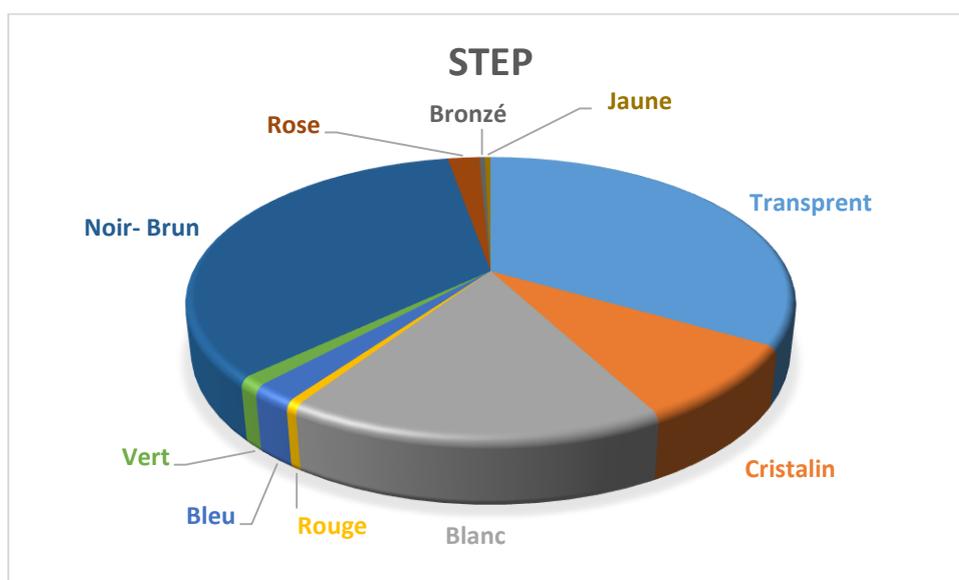
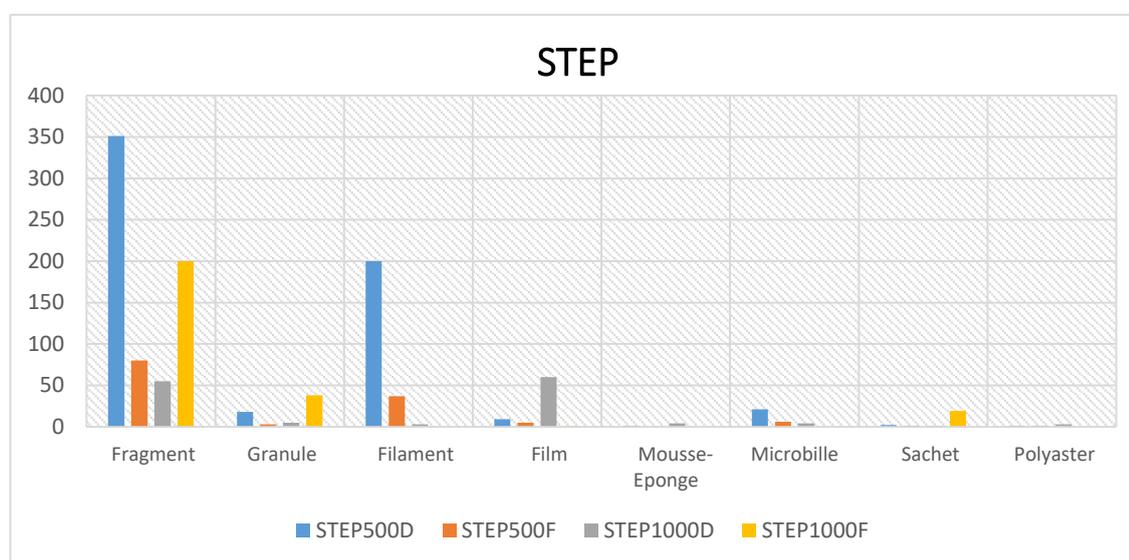
Cette section présente une analyse détaillée des microplastiques retrouvés dans les sédiments étudiés, en les classant selon deux critères principaux : le type de microplastique et sa couleur. (Voir la **Figure IV-6**)

L'analyse des résultats révèle que les fragments constituent la catégorie la plus abondante dans la zone de la ferme marine, avec une moyenne totale de 170 fragments pour 50 grammes de sédiments analysés. Viennent ensuite les filaments de quantité (70 Filament/50g), suivis par les films de quantité 30f film/50g, les microbilles, les sachets en polyester et la mousse éponge, tous présentant des quantités relativement similaires.

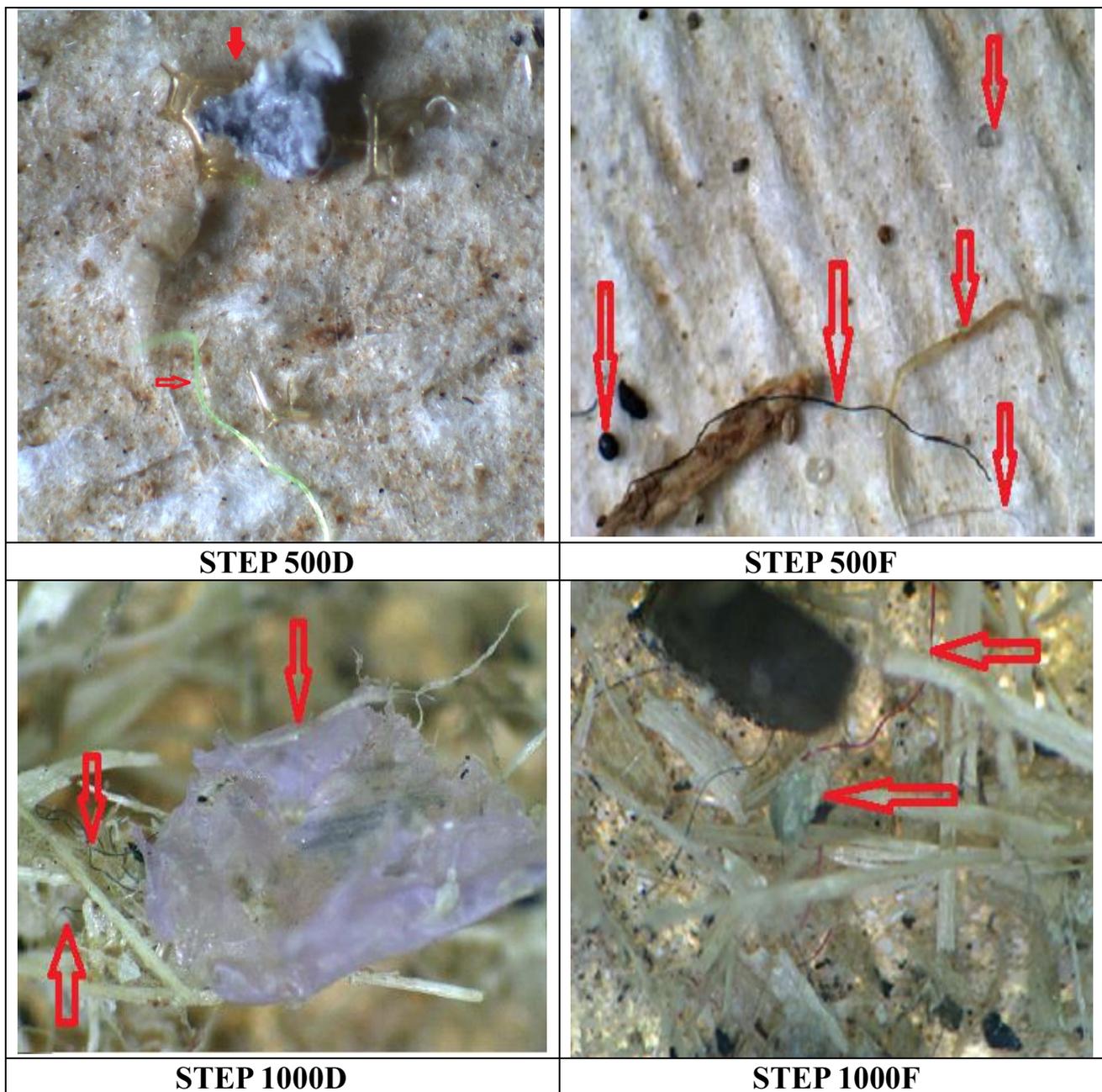
La **Figure IV-7** illustre des exemples de types de micro plastiques retrouvés dans cette zone

**Par rapport au critère de la couleur, les résultats sont :**

- ✓ Le trio transparent, noir et blanc domine la palette de couleurs, représentant 70 % de l'échantillon.
- ✓ Le binaire cristallin et bleu se classent après le trio premier en termes de présence, mais sa proportion est loin derrière le noir et le blanc. Il pourrait jouer le rôle d'une couleur secondaire ou d'un détail notable.
- ✓ Les cinq couleurs restantes, à savoir l'orange, le vert, le jaune, le rose et les autres, sont peu représentées, avec une proportion cumulée d'environ 15 %. Elles pourraient correspondre à des détails ou à des éléments mineurs.



**Figure IV-6 :** Identification des MPs par type et par couleur dans la zone de la STEP de Boulsmail



**Figure IV-7** : Phots des MPs par la loupe dans la zone de la STEP de BouIsmaïl

### **IV.3.3. Identification des MPs dans la zone de la station de Dessalement de Fouka**

Cette section s'attache à décrypter les caractéristiques des micros plastiques présents dans les sédiments étudiés, en les catégorisant selon deux critères majeurs : leur type et leur couleur. (**Figure IV-8**)

#### **Répartition selon le type de micro plastique :**

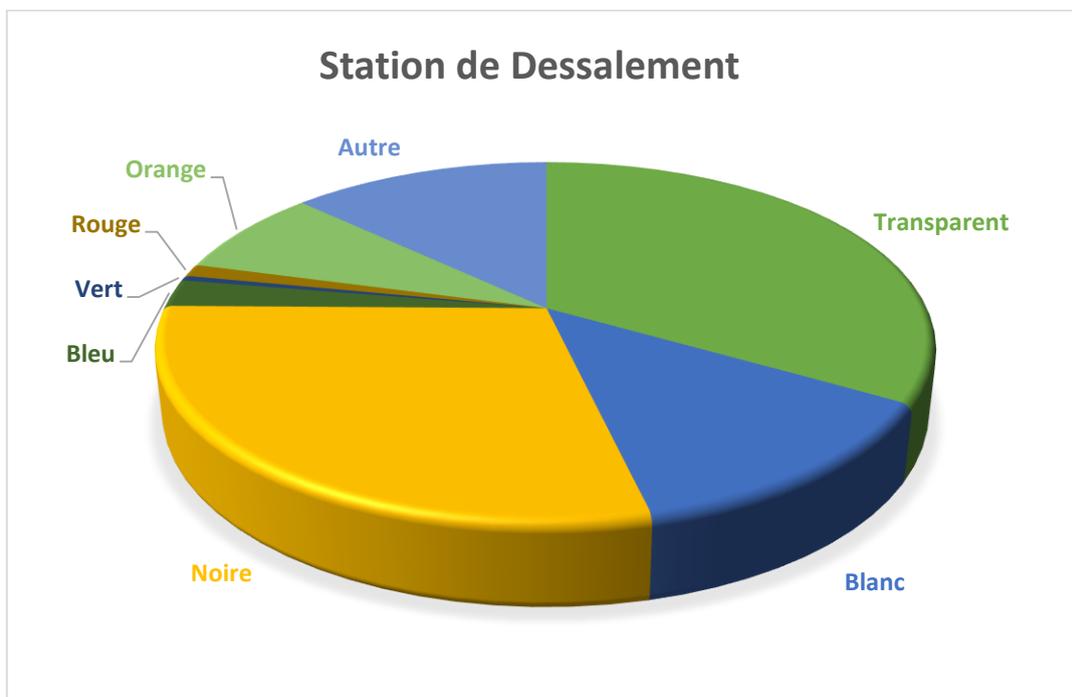
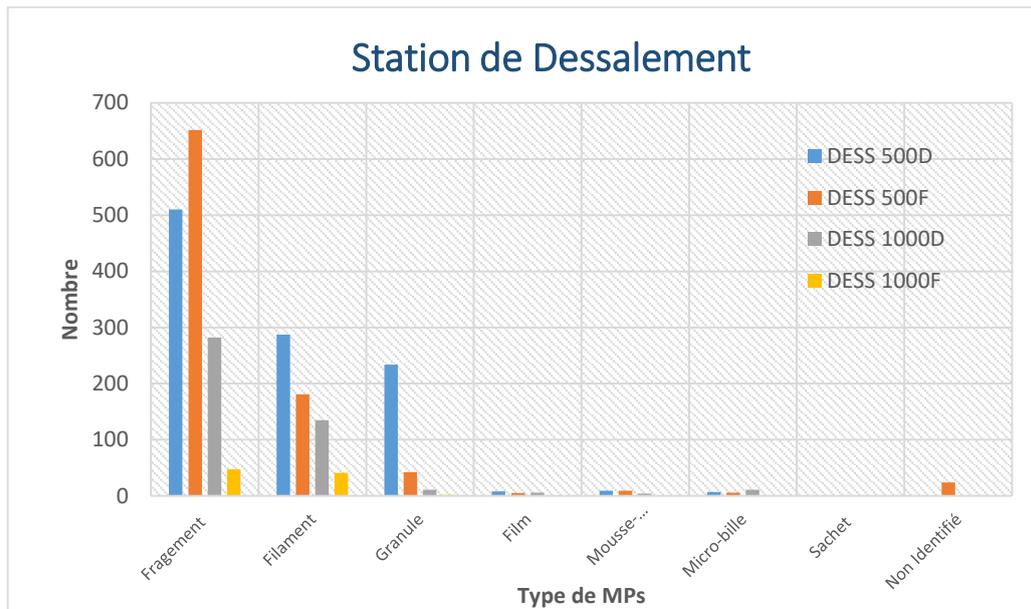
- Les fragments constituent la catégorie la plus répandue, avec une moyenne de 350 fragments par 50 grammes de sédiments analysés.
- Les filaments (200 filament /50g) et les granules (30 mousse /50g) suivent ensuite en termes d'abondance.
- Les microbilles, les sachets en polyester et la mousse éponge sont présents en quantités comparables.

La **Figure IV-9** montre les microplastiques retrouvés dans cette zone.

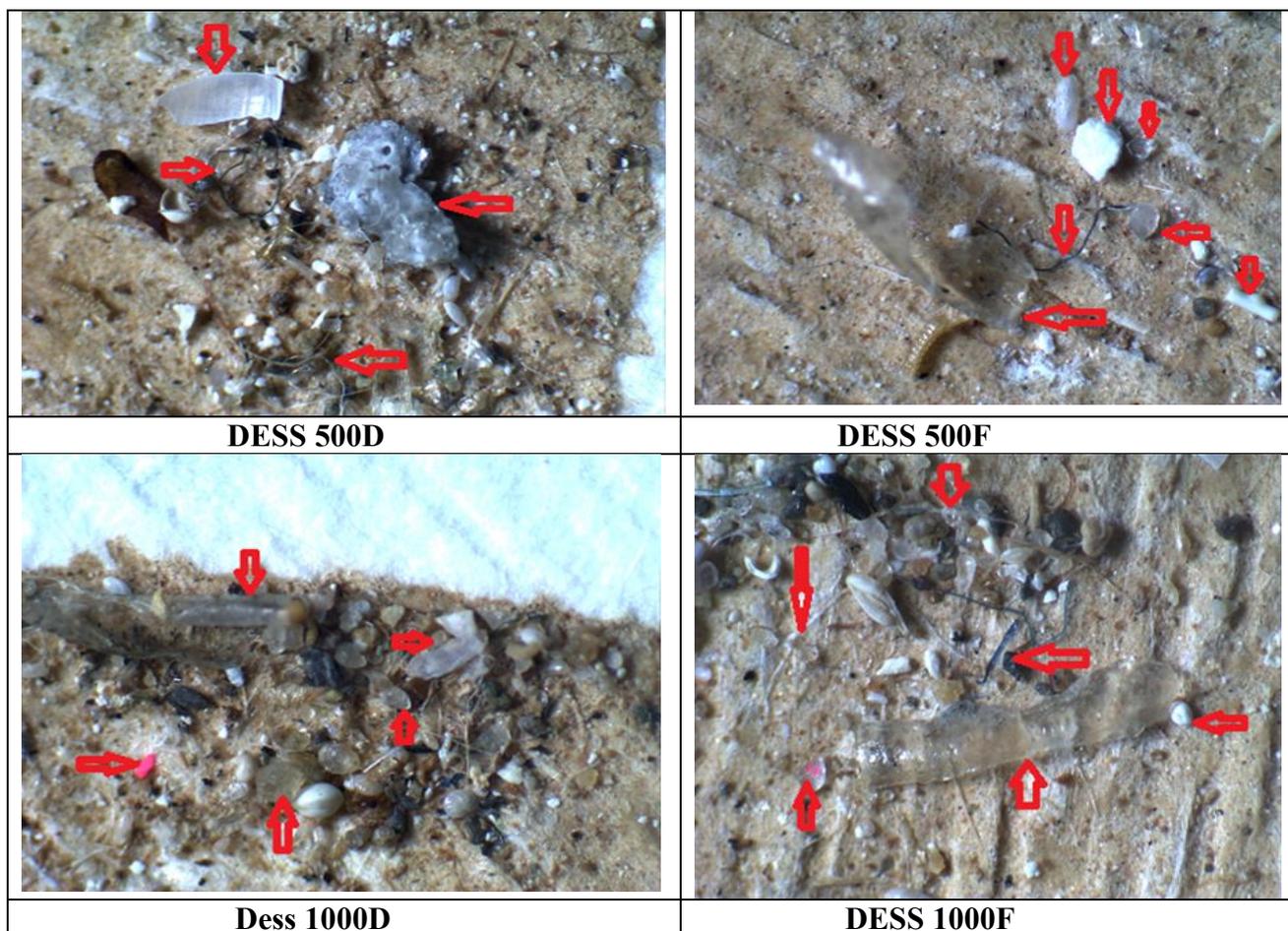
#### **Répartition selon la couleur des micros plastique :**

- ✓ Si l'on analyse la répartition des couleurs dans le secteur circulaire, on constate une prépondérance évidente des couleurs transparent, noir et blanc, qui occupent 70% de l'espace.
- ✓ A contrario, les couleurs bleu, orange, vert, jaune, rouge et autres affichent des proportions décroissantes, représentant ensemble 15% de l'échantillon.

Ces observations permettent de supposer que les trois premières couleurs constituent les éléments fondamentaux de plastique, tandis que les cinq dernières couleurs pourraient correspondre à des détails ou à des éléments peu significatifs



**Figure IV-8 :** Identification des MPs par type et par couleur dans la zone du dessalement



**Figure IV-9** : Phots des MPs par la loupe dans la zone du dessalement

#### IV.3.4. Identification des MPs dans le port de Tipaza

Analyse approfondie des micros plastiques dans les sédiments : une approche par type et par couleur

##### Répartition selon le type de micro plastique

- Les fragments constituent la catégorie de micro plastique la plus abondante dans le port de Tipaza, avec une moyenne cumulée de 150 fragments pour 50 grammes de sédiments analysés.
- Les filaments (70/50g) et les films (30/50g) se classent respectivement en deuxième et troisième position en termes d'abondance.
- Les microbilles, les sachets en polyester et la mousse éponge sont présents en quantités comparables.

La **Figure IV-10** montre les types de micro plastiques retrouvés dans le PORT.

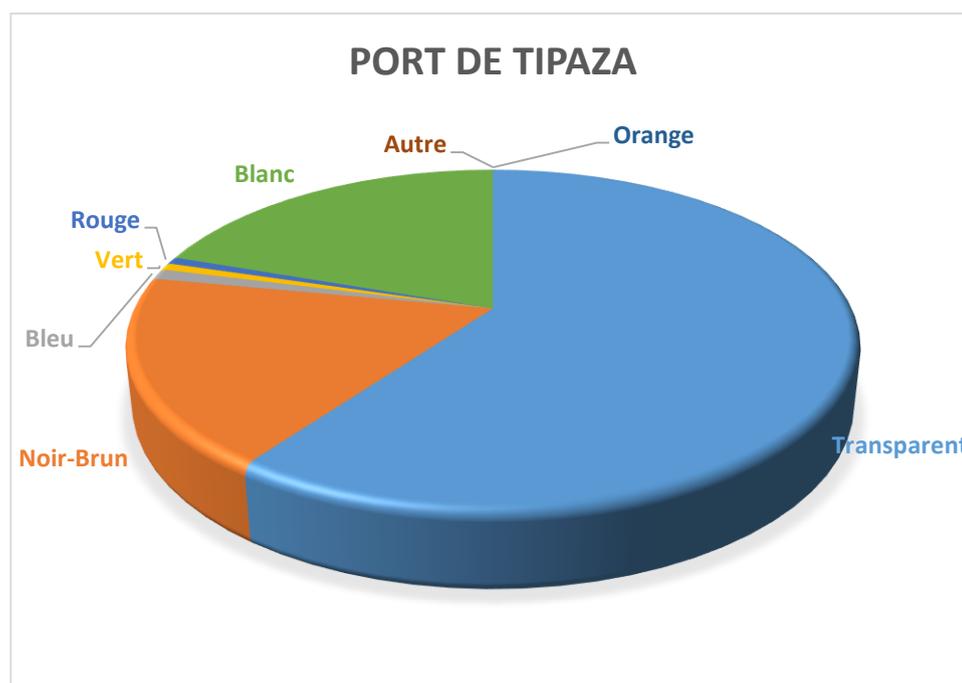
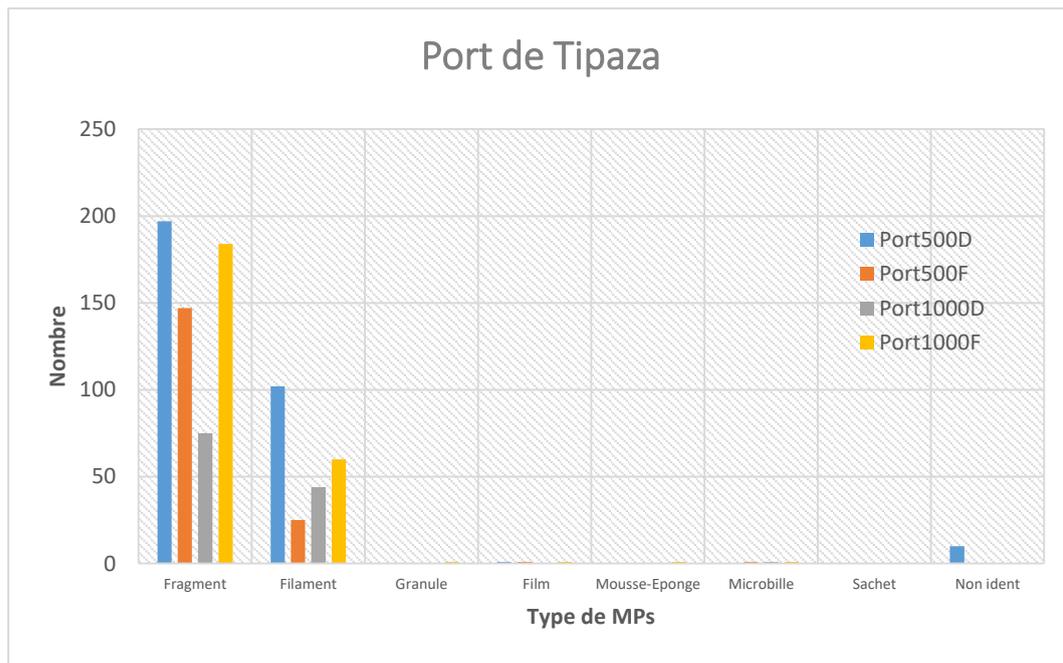
L'analyse des résultats obtenus montre que :

Le type de plastique le plus répondu dans le port de Tipaza est bien les fragments avec une quantité de 150/50g, suivi par les filaments avec de quantité 70 filaments/50g ensuite viendrons les films les granules, microbilles, sachet polyester, mousse éponge presque la même quantité.

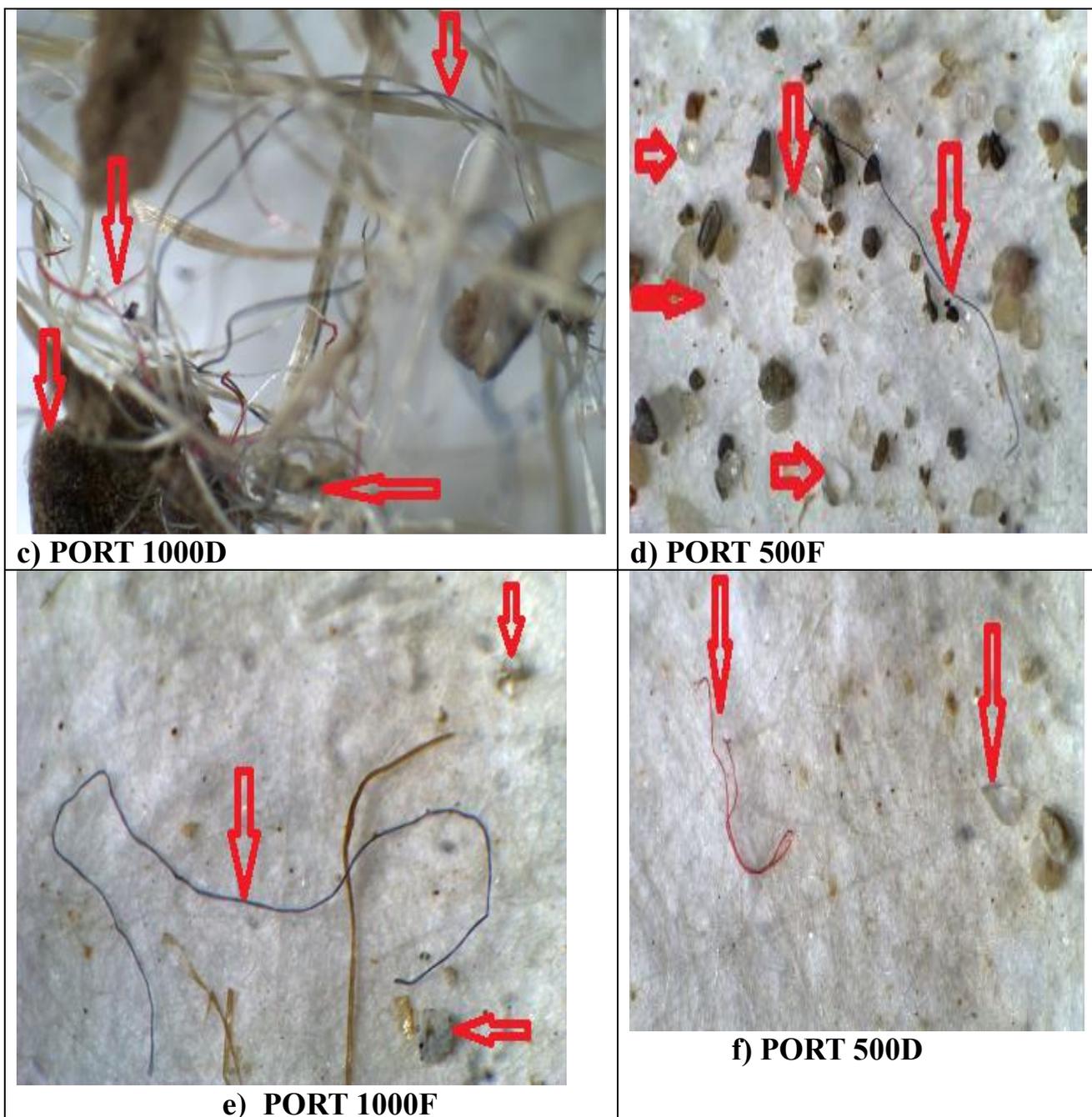
Un exemple de types de micro plastique retrouvés dans cette zone est montré sur la **Figure IV-11** (c-d-e-f).

### Répartition selon la couleur des microplastiques

- ✓ L'examen du secteur circulaire révèle une domination évidente des couleurs transparent, noir et blanc, qui occupent les deux tiers de l'espace.
- ✓ En revanche, les couleurs bleu, orange, vert, jaune, rouge et autres sont présentes en quantité bien moindre, représentant ensemble seulement 30% de l'échantillon.



**Figure IV-10:** Identification des MP par type et par couleur dans le port de Tipaza



**Figure IV-11** : Phots des MPs par la loupe dans le port de Tipaza

## Analyse des résultats des micropolluants plastiques (MPs)

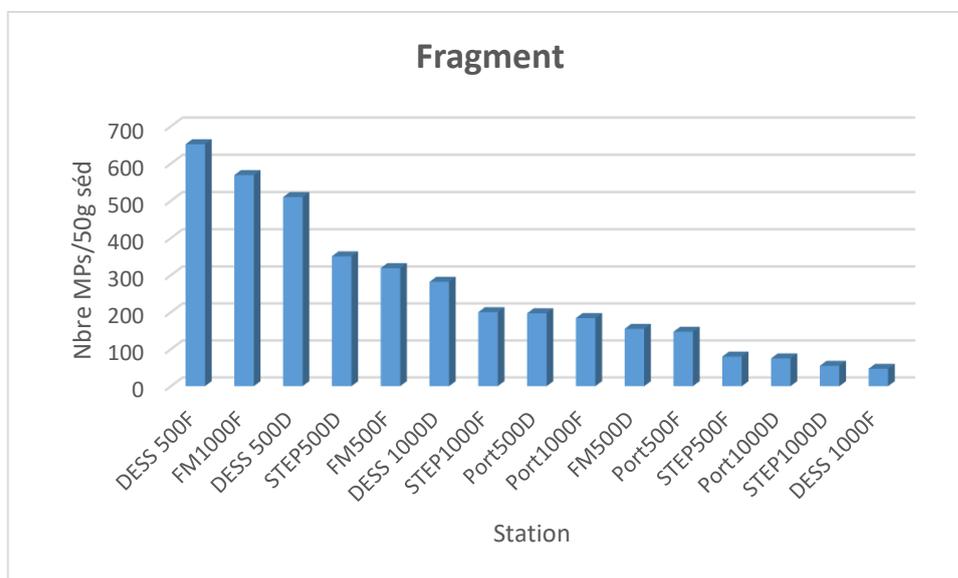
Afin de synthétiser les données recueillies, nous avons réalisé des histogrammes (figure non fournie). En complément, nous avons classé les concentrations de MPs par type et par couleur dans les différentes stations d'échantillonnage

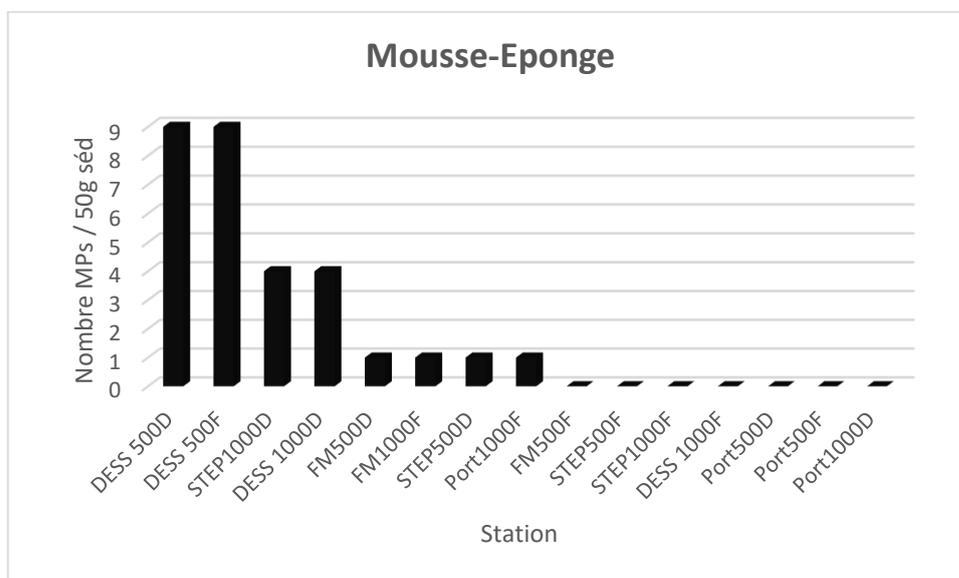
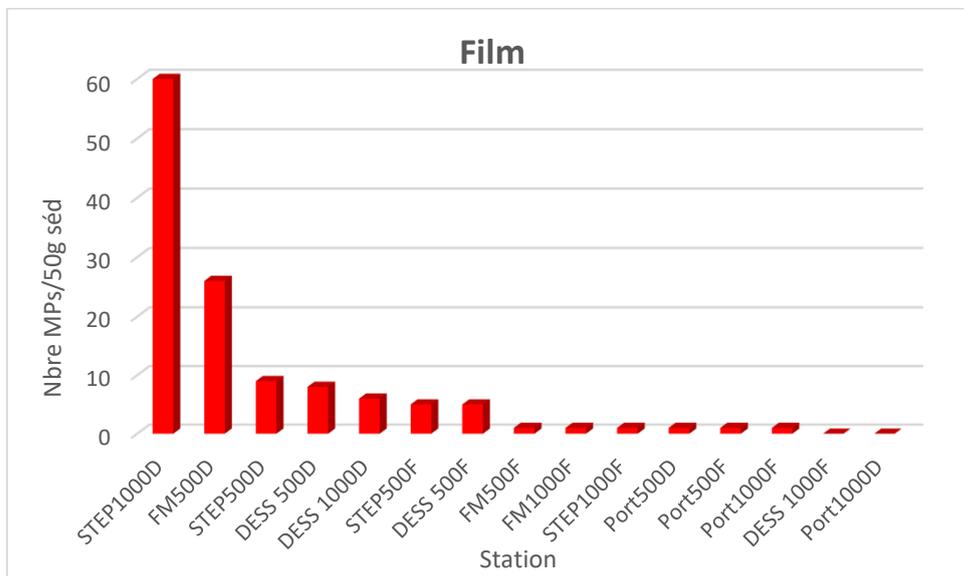
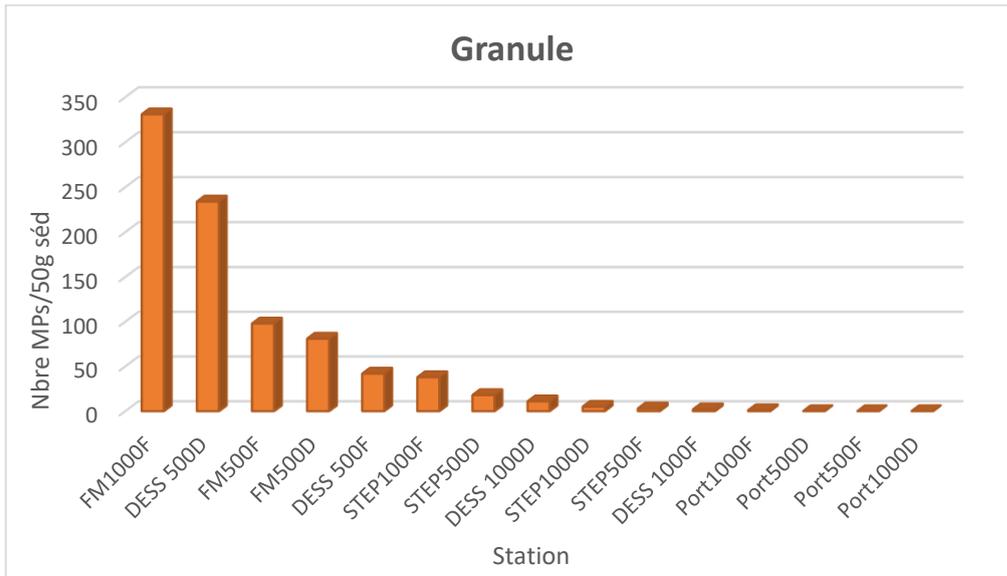
### ➤ Analyse par type de MP

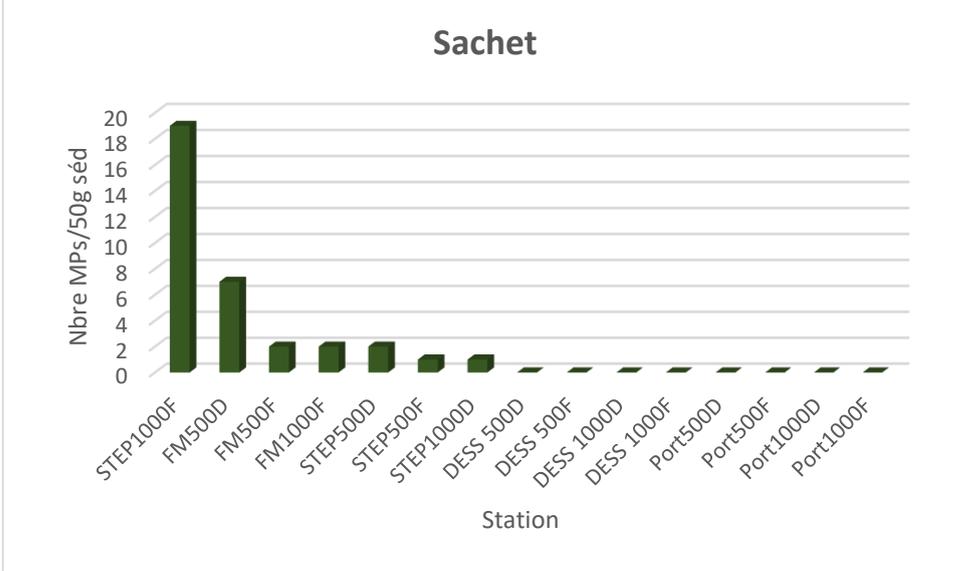
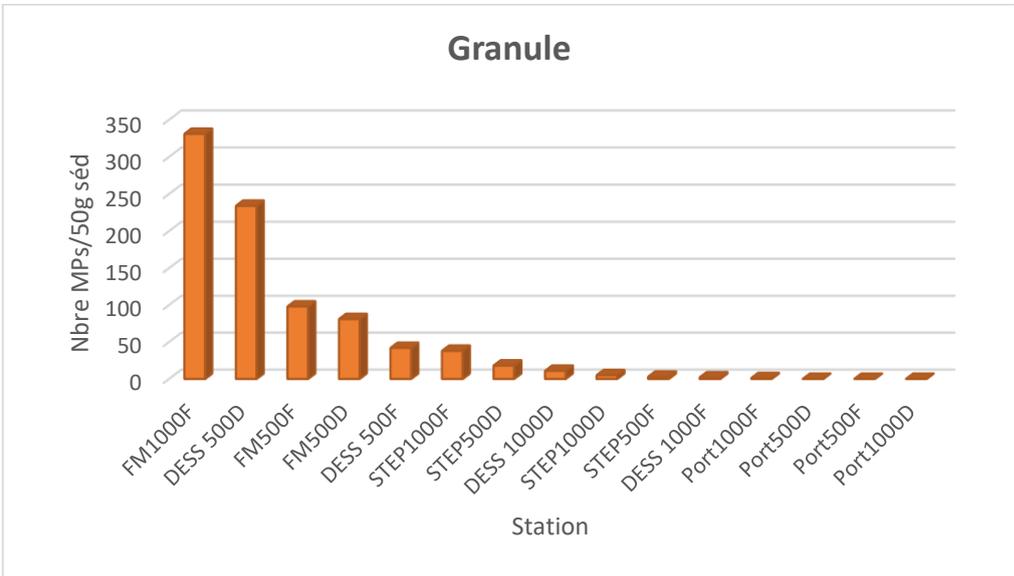
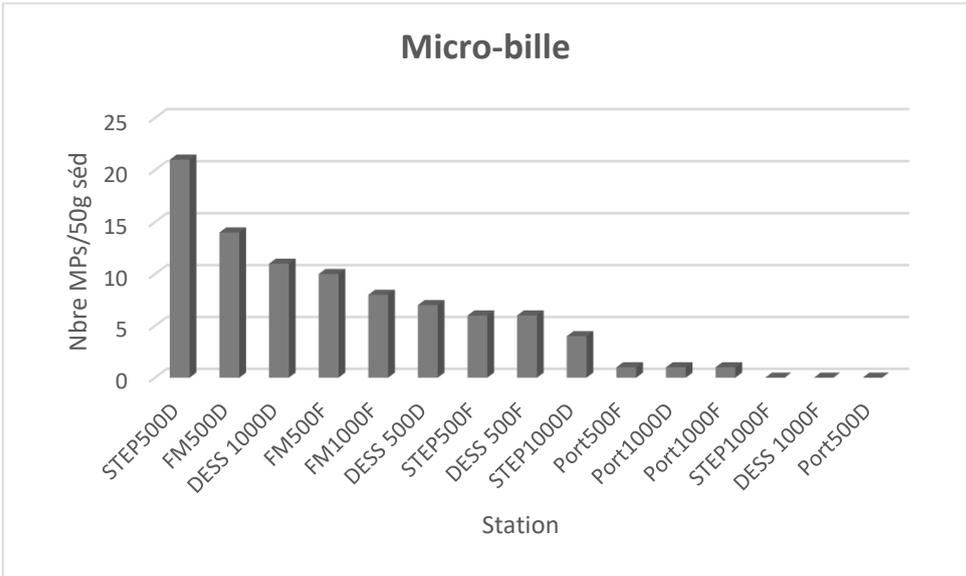
L'analyse par type de MP révèle que les fragments constituent la catégorie la plus fréquente, avec un nombre total de 650 fragments/50g sédiments enregistrés dans la station DESS 500F. À l'inverse, les mousses éponge représentent le type de MP le moins présent, avec un taux de 9 mousses/50g sédiments dans la station DESS 500D. **(Figure IV-11)**

### ➤ Analyse par couleur de MP

L'analyse par couleur de MP met en évidence la prédominance des couleurs transparentes, noires et blanches dans les échantillons étudiés. Ces couleurs affichent des pourcentages respectifs de 42%, 26% et 16%. Les couleurs les moins fréquentes sont le vert, le rose et l'orange, avec des pourcentages compris entre 1 et 3%. **(Figure IV-12)**







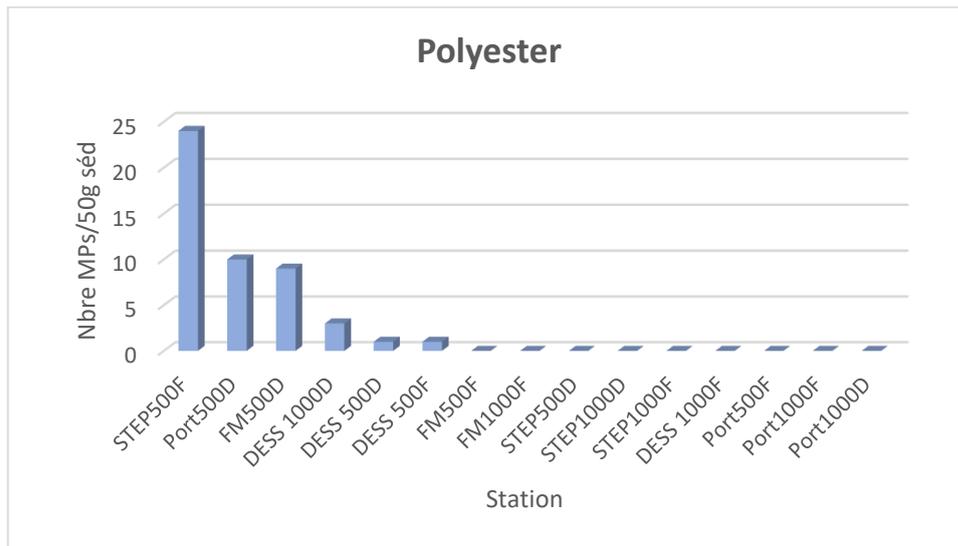


Figure IV-12 : Variation des MPs dans les différentes stations étudiées

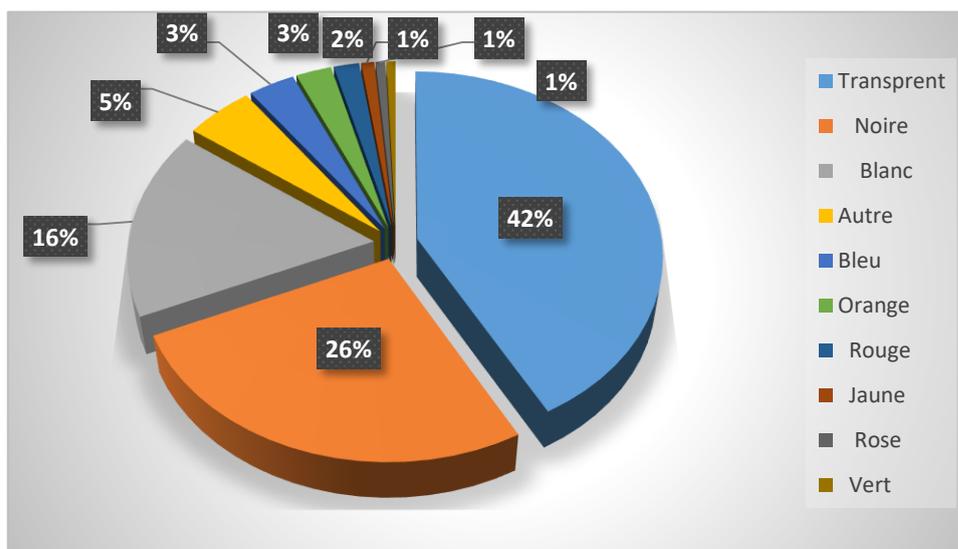
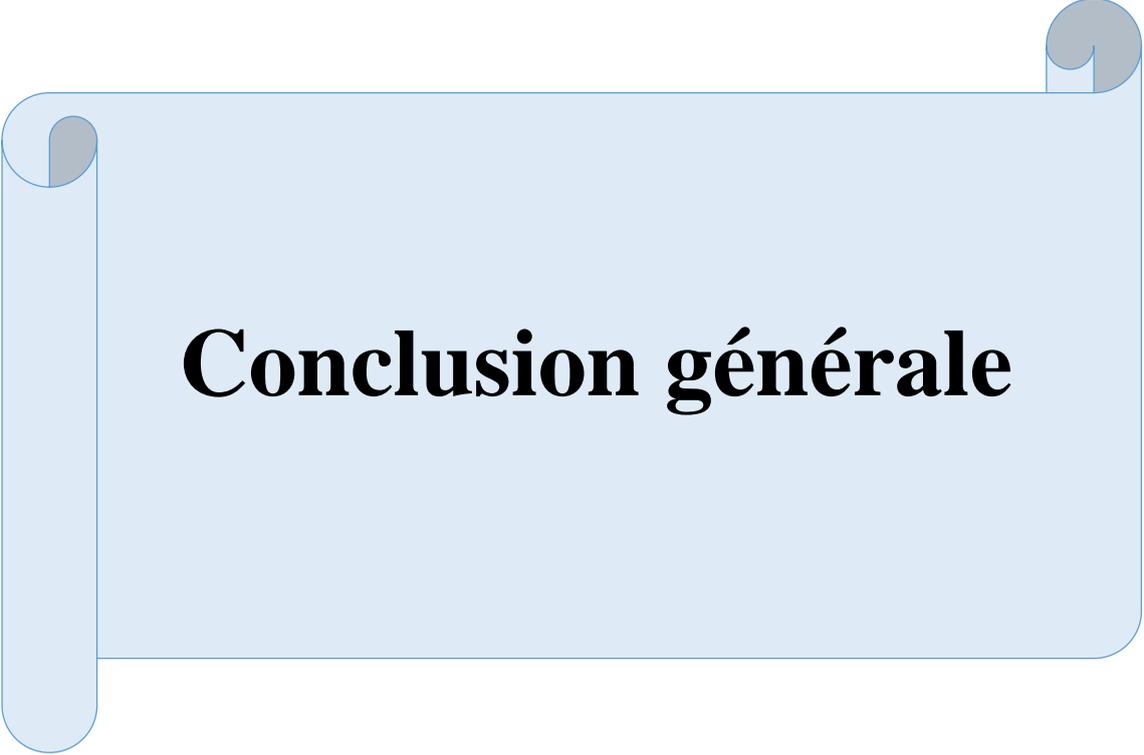


Figure IV-13 : Fréquence des couleurs observées dans les sédiments étudiés

### **Point de situation :**

Cette étude est une première en Algérie pour évaluer et quantifier les microplastiques dans le littoral algérien. Nos résultats montrent une quantification importante en MPs dans les sédiments marins. Nos résultats prouvent une relation directe avec l'activité humaine dans la zone avoisinante du littoral étudié. En effet, les sources principales des déchets plastiques littoraux sont les activités domestiques et industrielles. La pollution plastique se caractérise par la présence des déchets déposés directement ou indirectement dans la mer, les décharges côtières, les agglomérations, le réseau pluvial, le réseau d'assainissement, le réseau hydrographique, les bateaux qui souvent déposent leurs déchets directement dans la mer, par les vagues ou encore les courants marins jusqu'aux côtes. Les usagers des plages laissent de grandes quantités de déchets sur le rivage.

Nos résultats nous ont permis d'établir un diagnostic préliminaire de l'état de la pollution de cet écosystème côtier sensible. Nous avons prouvé une variation importante dans le nombre, le type et couleurs des MPs identifiés.



# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'objectif de cette étude est l'évaluation quantitative et qualitative des microplastiques dans les sédiments marins de la baie de Bou Ismail.

L'utilisation d'une benne Van-veen pour l'échantillonnage des sédiments suivie d'une lyophilisation a permis une extraction avec solution saturée de sel, une digestion de la matière organique ainsi qu'une identification du type et des couleurs des micro plastiques présents dans ces sédiments.

La pertinence des résultats de détermination des teneurs en micro plastiques dans une matrice environnementale comme les sédiments, dépend fortement des méthodes d'échantillonnage, du matériel d'échantillonnage et surtout le protocole d'extraction de ces MPs de cette matrice.

En effet, nous avons appliqué dans nos expérimentations

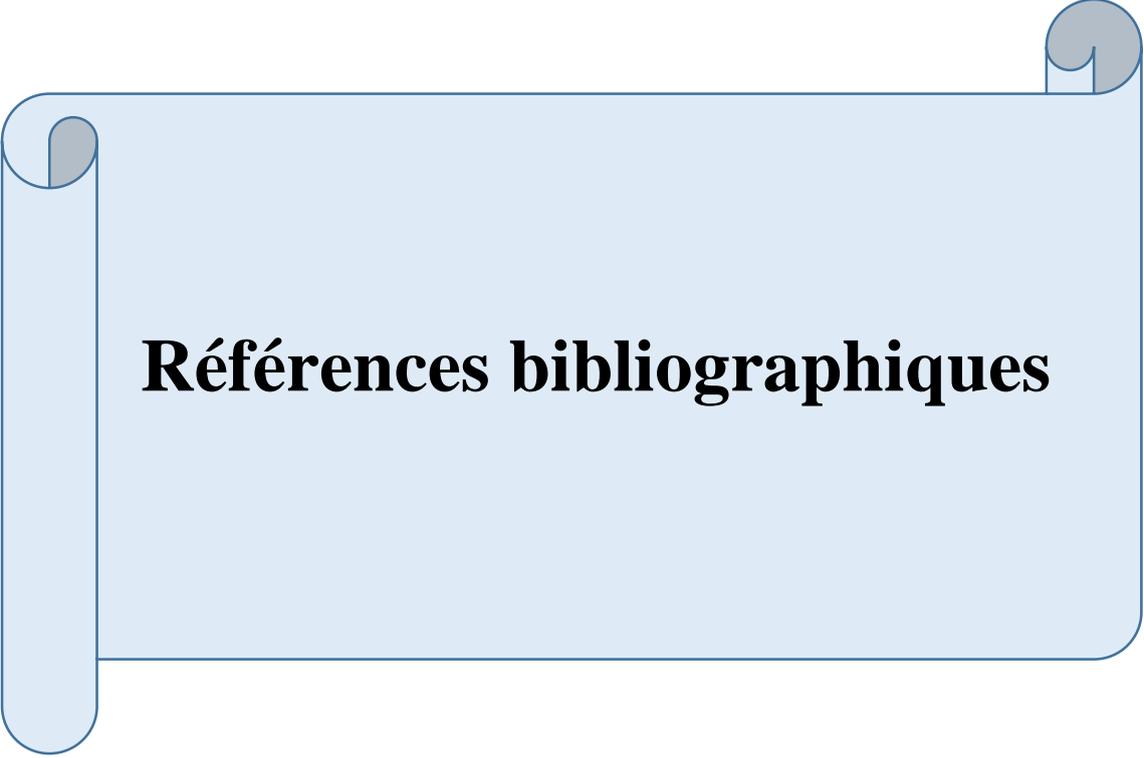
L'emploi de plusieurs protocoles notamment ceux utilisant le NaCl, le NaI et le ZnCl<sub>2</sub> a montré que le meilleur sel est le NaCl non seulement par rapport à sa disponibilité mais aussi par rapport à son prix et son non toxicité.

En suite et avant de passer à l'évaluation du taux de contamination des sédiments par le micro plastique nous avons d'abord.

- L'étude a été effectuée en examinant les effets de quelques paramètres physicochimiques et spectroscopiques nécessaires en termes de taux de la matière organique, du pH pzc et de l'infrarouge pour mieux interpréter nos résultats.
- Le taux moyen de la matière organique dans les sédiments marins est estimé à 0,82 % pour la station (STEP), 0,65% pour la station de dessalement, 0,64% pour la ferme marine et 0,42% pour station PORT.
- La valeur du pH (PZC) des sédiments fournit des informations précieuses sur leur capacité à interagir avec les contaminants et influence la gestion de la qualité de l'eau dans les environnements aquatiques. Les valeurs du pH pzc des échantillons analysés sont comprises entre 6,4 et 8,8.
- L'analyse des sédiments par spectroscopie infrarouge IFTR a donné des longueurs d'ondes à 1420-1428 cm<sup>-1</sup> qui sont associées aux liaisons C-O, et à 600- 700 cm<sup>-1</sup> correspondant aux vibrations aux liaisons Al-O et enfin aux liaisons OH dont les pics sont à 3600 cm<sup>-1</sup>.
- L'étude de la contamination des sédiments par les MPs montre une variation significative des concentrations de particules plastiques dans les échantillons prélevés dans les différentes stations étudiées.
- Le taux maximal est enregistré à 1056 dans la station dessalement 500 D alors que le taux minimal est à 90 pour dans station de dessalement 1000 F avec une moyenne générale de 410,26 particules MPS.

Concernant Les différents MPs identifiés dans les échantillons étudiés sont constitués majoritairement par des fragments dont le taux maximal est de 87,5 % dans la station de dessalement et 67,12% dans station Ferme Marine et minimal de 30,7% dans la station port et de 50,3% dans station STEP.

Les filaments sont aussi importants que les fragments avec un taux maximal de 65,34% dans la station FM et 50,1% dans la station de dessalement alors que le taux minimal est estimé à 50,1% au PORT et 45% dans la STEP. En revanche, les films pour la STEP ont un taux de l'ordre de 5,1 %, 0,5 pour la ferme 0,2% pour le dessalement 1 ,1% pour port en fin, présente les taux les plus faibles dans l'ensemble des stations.



## **Références bibliographiques**

## Références Bibliographiques

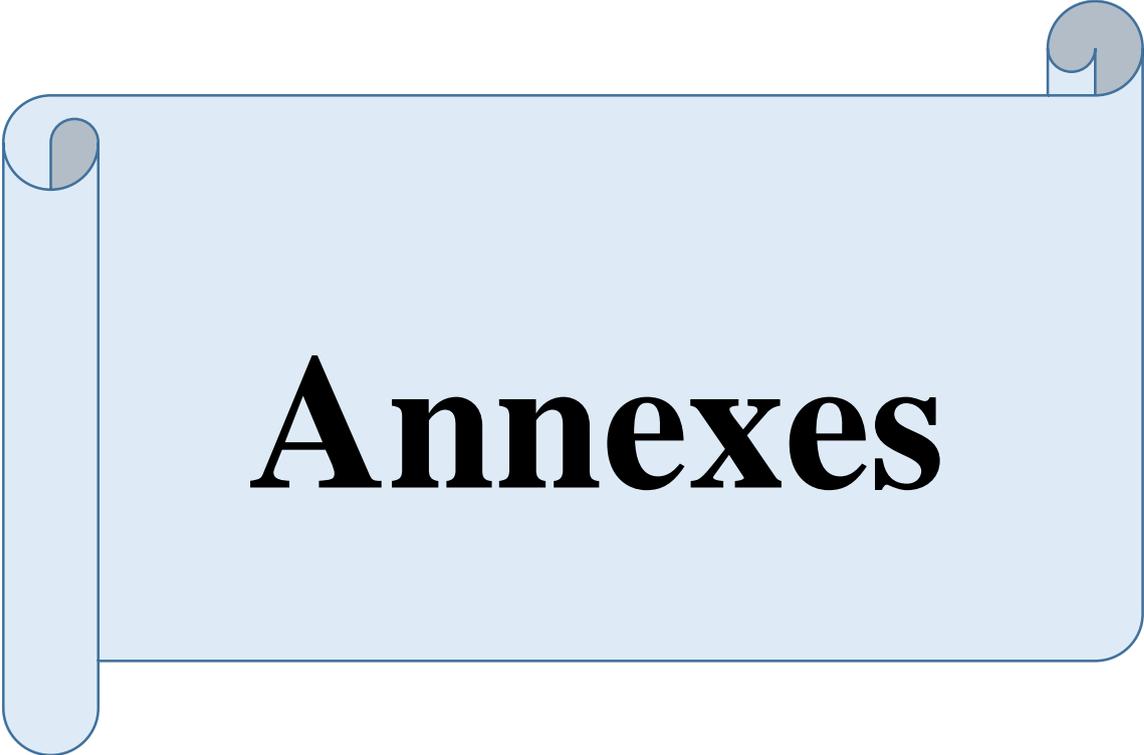
- [1] Beugelsduik, S, & Smolffers, S. (2003). Bridging and bonding social capital : which type is good for economic growth ?. In the cultural diversity of European unity (pp. 147-184). BRILL
- [2] Faure, Florian Et De Alencastro, Luiz Felipe. 2016. Microplastiques : situation dans les eaux de surface en Suisse. *Aqua & Gas*, 2016, no 4, p. 72-77.
- [3] Buchanan, 1971 in do sul et , 2014. DO SUL, Juliana A. Ivar et COSTA, Monica F, the present and future of microplastic pollution in the marine environment .Environmental pollution, VOL. 185, p. 352-352
- [4] <https://www.atlas.d-waste.com>
- [5] Gaetano L, Bruzard, Mancuso, A.C, Icardi J, M. Abdala, F, & Arcucci, A, B (2014) the Chanars Formation : a window to a Middle Triassic tetrapod community Lethaia, 475(2), 244-265
- [6] INERIS, 2018 /Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Microplastiques, DRC-18-158744-01541A, p.32)
- [7] BOUZIDI Nouredine « L'étude de la matière organique et son effet dans un milieu aquatique » Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, 2019
- [8] <https://www.eaufrance.fr>
- [9] Ramade, F. — Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale. McGraw-Hill, Paris, 1984 [compte-rendu]
- [10] Gilles souihac, 2013); NGUYEN, Chi Vuong, soulhac, Lionel, et SALIZZONI, Pietro. Source Apportionment and Data Assimilation in Urban Case study air Quality Modelling for 02: the Lyon. Recent Advances in Urban Ventilation Assessment and Flow Modelling, 2019, vol. 9, p. 418
- [11] NOEL, Esther. Obsolescence logicielle et environnement: une inefficacité juridique assumée? étude des législations françaises et européennes. Amplitude du droit, 2024, no 3
- [12] Mechat Fatiha « Etude du couplage entre diffusion et réaction de l'oxygène ou du dioxyde d'azote pendant la combustion d'un lit de suies » • Bennaga, 2006)
- [13] Leroy Bourgogne Rouge Burgundy, France, 1999 piétak, Jean-Pierre, Leroy Marc, CARLIER, Cécile LE, et al. Nouvelles données sur l'importance des vestiges de sidérurgie ancienne en Puisaye. Revue archéologique de l'Est 2012, no tome 61, p. 117-131
- [14] Kerspen, Y. "Les réseaux d'assainissement." Ouagadougou (Burkina Faso): Ecole Inter Etats des techniciens supérieurs de l'hydraulique et de l'équipement rural (1998).
- [15] Salhi Kalthoum/ Etude de la dégradation des milieux aquatiques par différents types de rejets, Université des Frères Mentouri Constantine, 2015)

- [16] Sordello, Romain. Pollution lumineuse et trame verte et bleue vers une trame noire en France ? Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement .territoire in movement journal of geography and planning, 2017 ,no 35
- [17] Plastics Europe, 2019. Plastics - The facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Retrieved from
- [18] Outils PFERD ,2012. Outils PFERD pour l'usage des matières plastiques :Catalogues 201.
- [19] P. WEISS (2009-2010), La chimie des polymères. Recueil inédit, Université Médicale Virtuelle Francophone)
- [20] Christopher Blair Crawford Brian Quinn (2017), Microplastic Pollutants. 1re édition: Published by Elsevier Inc. p 336
- [21] Kedzierski, Mark A., et al. "Viscosity, density, and thermal conductivity of aluminum oxide and zinc oxide nanolubricants." international journal of refrigeration 74 (2017): 3-11.
- [22] kedzierski Mikael. Thèse de doctorate n Sciences pour l'Ingénieur .....Sous la direction de Stéphane Bruzard et de Véronique le Tilly .Soutenue le 17-10-2017 à lorient Dans le cadre de Ecole doctorale Santé ,information-communication et mathématiques, Matière( Brest,Finistère),en partenariat avec Institut de Recherche Dupuy de (Laboratoire) .... Pollutions du milieu littoral par les microplastiques: Méthodes d'évaluation
- [23] Dassa, M., Kosmopoulos, C., & Pumain, D. (2010). Journal Base .Comparer les bases de données scientifiques internationales en sciences humaines et sociales (SHS). Cybergeographie: European Journal of Geography
- [24] Browne, M. A. (2015). Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. In Marine Anthropogenic Litter (pp. 229-244). Cham: Springer.
- [25] Andrady ,2011-2015 Microplastics in the marine Environment .Marine pollution Bulletin, 62, 1596-1605
- [26] BROWN, Edwin H. et GEHRELS, George E. Detrital zircon constraints on terrane ages and affinities and timing of orogenic events in the San Juan Islands and North Cascades, Washington. Canadian Journal of Earth Sciences, 2007, vol. 44, no 10, p. 1375-1396.
- [27] CLAESSENS, Michiel, DE MEESTER, Steven, VAN LANDUYT, Lieve, et al. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. Marine pollution bulletin, 2011, vol. 62, no 10, p. 2199-2204.)
- [28] GESAMP - Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. KERSHAW (P.), TURRA (A.) et GALGANI (F.) editors, Rep. Stud. GESAMP, n° 99, 130 p. (2019).
- [29] TER HALLE (A.) et al. Understanding the fragmentation pattern of marine plastic debris. Environ Sci Technol, 50(11), p. 5668- 5675 (2016).

- [30] Galgani, F., Bruzard, S., Duflos, G., Fabre, P., Gastaldi, E., Ghiglione, J... & Ter Halle, A. (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. *Techniques de l'Ingénieur*
- [31] ANDRADY (A.), The plastic in Microplastics. *Mar. Pollut. Bull.*, 119(1), p. 12-22 (2017)
- [32] BARNE D.K.A; GALGANI F; THOMPSON R.C; BALZAS M; 2009- Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1985-1998
- [33] O'BRINE, Tim et THOMPSON, Richard C. Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 2010, vol. 60, no 12, p. 2279-2283..
- [34] UNEP; 2011- Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities, p16
- [35] O'BRINE, Tim et THOMPSON, Richard C. Degradation of plastic carrier bags in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 2010, vol. 60, no 12, p. 2279-2283
- [36] AND. , 2020. Les déchets plastiques en Algérie. Regard croiseur sur les plastiques à usage unique. Quelle perspective pour les déchets à usage unique en Algérie. Rapport.
- [37] PARK, Dong-Uk, RYU, Seung-Hun, LIM, Heung-Kyu, et al. Types of household humidifier disinfectant and associated risk of lung injury (HDLI) in South Korea. *Science of the total environment*, 2017, vol. 596, p. 53-60.
- [38] Karen Duis Anja Coors, Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects, *Environmental Sciences Europe*, 28:2, 2016
- [39] Shivika Sharma et Subhankar Chatterjee, Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review, *Environment Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-017-9910-8, 2017
- [40] Aamer Ali Shah, Fariha Hasan, Abdul Hameed et Safia Ahmed, Biological degradation of plastics: A comprehensive review, *Biotechnology Advances*, DOI. org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005, 2008)
- [41] Anthony L Andradý Mike A Neal, Applications and societal benefits of plastics, *Philosophical Transactions of the Royal Society: B*, DOI: 10.1098/rstb.2008.0304, 2009
- [42] Richard C Thompson, Charles J Moore, Frederick S vom Saal et Shanna H Swan, Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends, *Philosophical Transactions of the Royal Society: B*, DOI: 10.1098/rstb.2009.0053, 2009
- [43] Plastics Europe, Plastics—the Facts 2014/2015: an analysis of European plastics production, demand and waste data. (Extrait)
- [44] David K A Barnes, Francois Galgani, Richard C Thompson et Morton Barlaz, Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of the Royal Society: B*, DOI: 10.1098/rstb.2008.0205, 2009

- [45] SIGHICELLI, Maria, PIETRELLI, Loris, LECCE, Francesca, et al. Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 236, p. 645-651.
- [46] FRIAS, João PGL et NASH, Roisin. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine pollution bulletin*, 2019, vol. 138, p. 145-147
- [47] FAO. 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture. *Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 615
- [48] Browne, Mark Anthony, et al. "Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks." *Environmental science & technology* 45.21 (2011): 9175-9179
- [49] OECD, Série sur les documents d'émissions, 2009.
- [50] <https://fr.oceancampus.eu/>
- [51] REDIN, Claire, GÉRARD, Bénédicte, LAUER, Julia, et al. Efficient strategy for the molecular diagnosis of intellectual disability using targeted high-throughput sequencing. *Journal of medical genetics*, 2014, vol. 51, no 11, p. 724-736.
- [52] <https://www.ocesancampus.com>
- [53] FARGE, Dominique, FRERE, Corinne, CONNORS, Jean M., et al. 2019 international clinical practice guidelines for the treatment and prophylaxis of venous thromboembolism in patients with cancer. *The Lancet Oncology*, 2019, vol. 20, no 10, p. e566-e581.
- [54] Prata, J.C., da Costa, J.P., Lopes, I., Duarte, A.C. and Rocha-Santos, T., 2020. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the total environment*, 702: 134455)
- [55] Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P. and Bucsics, T., 2019. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of internal medicine*, 171(7): 453-457.
- [56] Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F. and Juanes, F., 2019. Human consumption of microplastics. *Environmental science & technology*, 53(12): 7068- 7074.
- [57] EISSER (J.) et al Millimeter-sized marine plastics: a new pelagic habitat for microorganisms and invertebrates. *Plos One* 9, p. e100289 (2014 )
- [58] ZETTLER (E.) et al. Life in the plastisphere: microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.*, 47, p. 7137-7146 (2013)
- [59] Agamuthu, P., et al. "Marine debris: A review of impacts and global initiatives." *Waste Management & Research* 37.10 (2019): 987-1002.
- [60] Newman, S., Watkins, E., Farmer, A., Ten Brink, P. and Schweitzer, J.-P., 2015. The economics of marine litter, *Marine anthropogenic litter*. Springer, Cham, pp. 367-39

- [61] Mellgorm, A., Campbell, H.F. and Rule, M.J., 2011. The economic cost and control of marine debris damage in the Asia-Pacific region. *Ocean & Coastal Management*, 54(9): 643-651  
nateurefrance, le service public d'information sur la biodiversité / Article thématique et milieux , pollution / mise a jour le 31 jnvier 2024
- [62] Mcllgorm, A., Campbell, H. and Rule, M., 2008. Understanding the economic benefits and costs of controlling marine debris in the APEC region (MRC 02/2007). A report to the Asia-Pacific Economic Cooperation Marine Resource Conservation Working Group by the National Marine Science Centre (University of New 136 , England and Southern Cross University), Coffs Harbour, NSW, Australia, December.
- [63] Watkins, Mary. "Psychosocial accompaniment." *Journal of Social and Political Psychology* 3.1 (2015): 324-341.
- [64] KAMBE, Mitsuru et UOTANI, Masaki. Design and development of fast breeder reactor passive reactivity control systems: LEM and LIM. *Nuclear Technology*, 1998, vol. 122, no 2, p. 179-195.
- [65] DONG, Jinwei, XIAO, Xiangming, MENARGUEZ, Michael A., et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote sensing of environment*, 2016, vol. 185, p. 142-154.
- [66] Belhouchet Nssima Assessment of pollutants in coastal waters, sediments, and biota of marine ecosystems in Algeria, North Africa december 2023. *Regional Marine Science* 70 (1-2) 103355
- [67] Centre National de Recherche et de Développement de la peche et de l'aquaculture en 2005
- [68] Benyeerou.D.Boudjenane.N.E.&Belhadri.M.(2019).Influence chimique et minéralogique des sediments de dragage portuaire dans le cadre de leur valorization dans la fabrication des briques. *Environnement. Ingénierie & Développement*.
- [69] ISO, N. F. 11464 (2006) Soil quality. Pretreatment of samples for physico-chemical analysis. AFNOR, 2006.
- [70] ROMERO-SALAS, Dora, MIRA, Anabela, MOSQUEDA, Juan, et al. Molecular and serological detection of Babesia bovis-and Babesia bigemina-infection in bovines and water buffaloes raised jointly in an endemic field. *Veterinary Parasitology*, 2016, vol. 217, p. 101-107.
- [71] BENYEROU, Djamila, BOUDJENANE, Nasr-eddine, et BELHADRI, Mansour. Influence chimique et minéralogique des sédiments de dragage portuaire dans le cadre de leur valorisation dans la fabrication des briques. *Environnement, Ingénierie & Développement*, 2019.



# **Annexes**

# Annexes

## Annexe 1

Protocole d'analyse IRTF

**Préparation pour Analyse IR**

---

 Réduire en poudre 3 mg d'un échantillon avec 20 mg de KBr dans un mortier en Agathe.

---

 Mettre le mélange dans le moule pour obtenir une pastille translucide.

---

 Mettre le moule dans la presse à pastille et presser l'échantillon jusqu'à 5 tonnes maximum.

  
Pastille de KBr

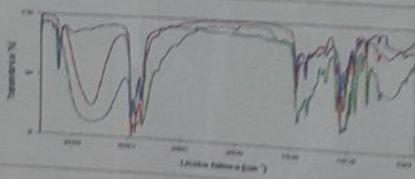
---

Démouler la pastille de KBr avec l'échantillon.

---

 Placer la pastille dans le support et analyser dans l'appareil IR.

---

## **Annexe 2**

### **Mise en marche de lyophilisateur**

- ✓ Eliminez tous les résidus d'eau dans la chambre du condensere
- ✓ Appuyez sur le commutateur d'alimentation de lyophilisateur
- ✓ Fermez les robinets de caoutchoucs
- ✓ Sélectionner d'abord la langue avec les touche et appuyer la touche suivant O
- ✓ Commencer le préchauffage pompe à vide on appuie sur touche sabent
- ✓ Fermez la vanne de purge et mestez la pompe en marche
- ✓ Apres 20 min appuie sur dessiccation primaire.
- ✓ Fermer la pompe et ouvrir la vanne de purge.
- ✓ Menez l'échantillon dans la chambre de dessiccation
- ✓ fermez la vanne de purge et Alliomez la pompe.
- ✓ Après la dessiccation de l'échantillon appuyez sur mode standby
- ✓ Fermez la pompe et ouvrir la vanne de parge lentemem
- ✓ Récupérez l'échantillon.

## Annexe 3

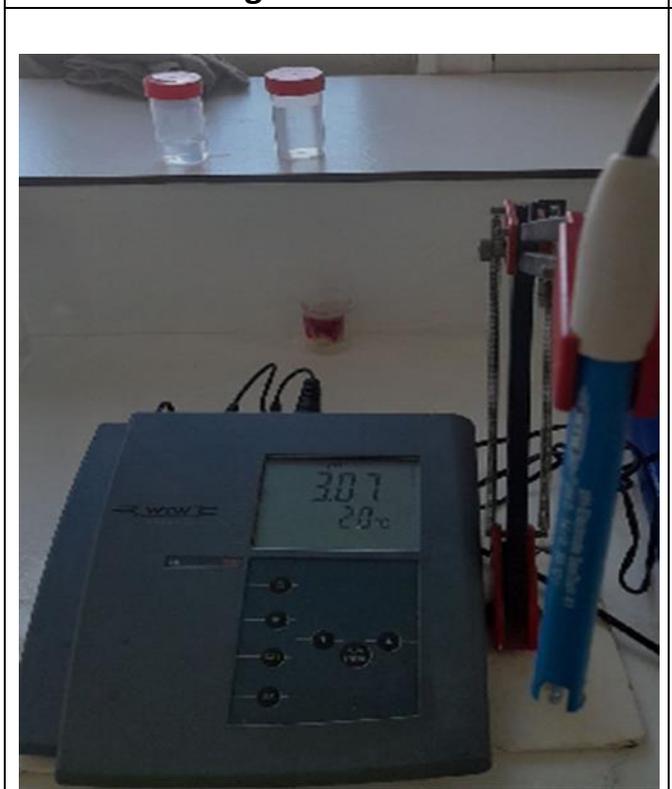
### D'autres matériels utilisés



**Agitateur**



**Four a moufle**



**PH mètre**



**L'étuve**

## *Abréviation*

**CNRDPA** : Centre National de Recherche et de développement

**DESS** : dessalement

**FM** : ferme marine

**ISO** : Organisation internationale de normalisation.

**IR** : infrarouge

**MO** : matière organique

**MPs** : Micro plastiques

**PZC** : point zéro charge

**500D** : Prélèvement a début d'une distance 500 mètre

**1000F** : Prélèvement à fin d'une distance de 1000 mètre