



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID --TLEMCEN-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Département d'Ecologie Et Environnement
Laboratoire : Valorisation des actions de l'homme pour la protection de l'environnement et
application en santé publique

Mémoire présenté par

Mr. LIAZID Mohammed Anouar

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER

Filière : Hydrobiologie marine et continentale
Spécialité : Sciences de la Mer

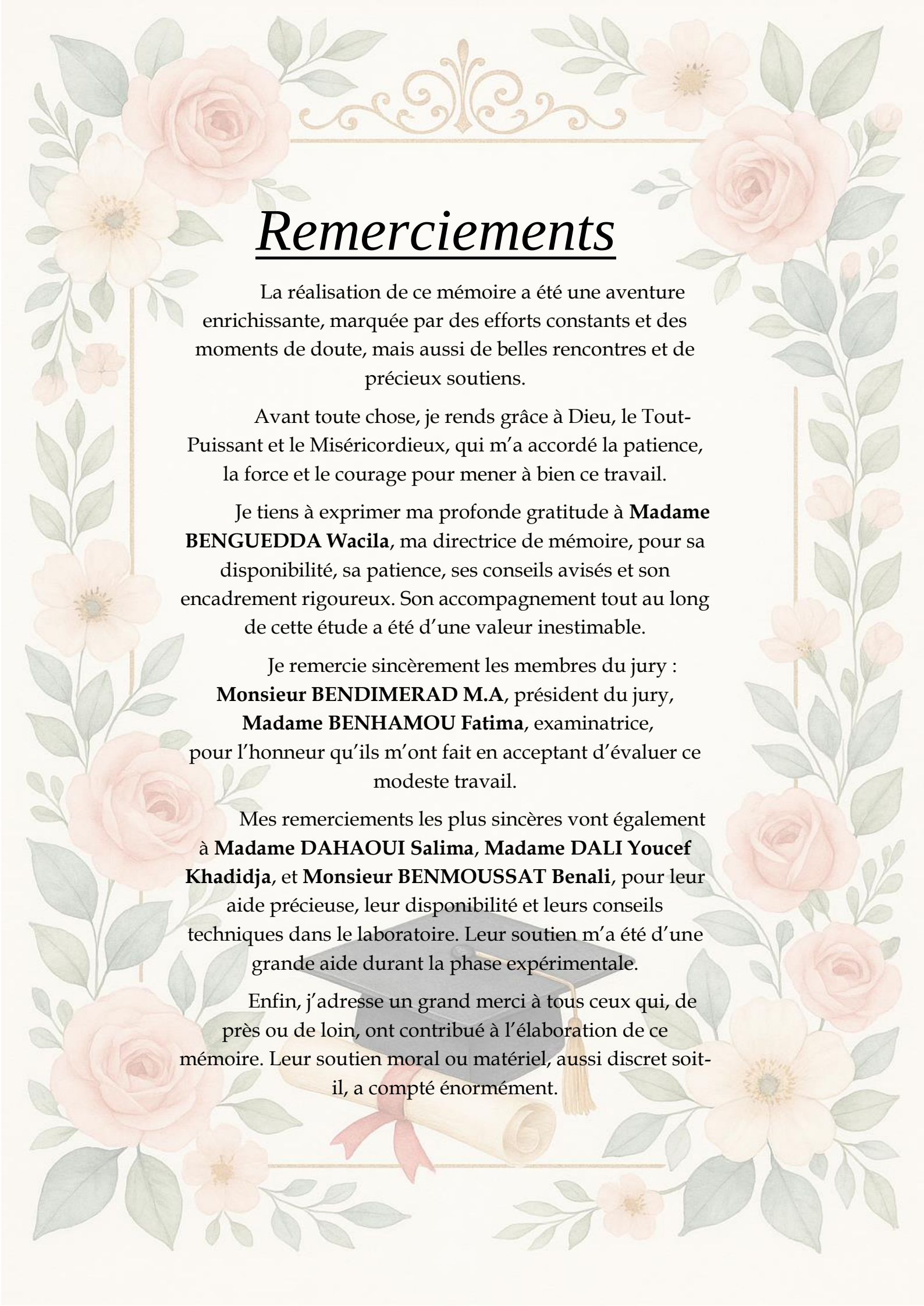
Thème :

Étude actualisée des microplastiques sur le littoral d'Annaba : reprise analytique et évaluation comparative

Soutenu le : ... Juin 2025, devant le jury composé de :

Président : BENDIMMERAD Mohamed El Amine	M.C.A	Université de Tlemcen
Encadrant : BENGUEDDA Wacila	M.C.A	Université de Tlemcen
Examinatrice : BENHAMOU Fatima	M.C.B	Université de Tlemcen

Année Universitaire : 2024-2025



Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été une aventure enrichissante, marquée par des efforts constants et des moments de doute, mais aussi de belles rencontres et de précieux soutiens.

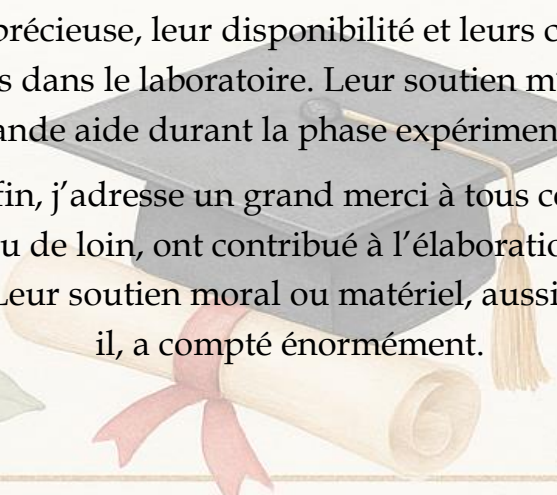
Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant et le Miséricordieux, qui m'a accordé la patience, la force et le courage pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Madame BENGUEDDA Wacila**, ma directrice de mémoire, pour sa disponibilité, sa patience, ses conseils avisés et son encadrement rigoureux. Son accompagnement tout au long de cette étude a été d'une valeur inestimable.

Je remercie sincèrement les membres du jury :
Monsieur BENDIMERAD M.A, président du jury,
Madame BENHAMOU Fatima, examinatrice,
pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce modeste travail.

Mes remerciements les plus sincères vont également à **Madame DAHAOUI Salima**, **Madame DALI Youcef Khadidja**, et **Monsieur BENMOUSSAT Benali**, pour leur aide précieuse, leur disponibilité et leurs conseils techniques dans le laboratoire. Leur soutien m'a été d'une grande aide durant la phase expérimentale.

Enfin, j'adresse un grand merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. Leur soutien moral ou matériel, aussi discret soit-il, a compté énormément.





Dédicace :

Je dédie ce travail, avec tout mon respect et ma reconnaissance :

À mes parents bien-aimés, pour leur amour inconditionnel, leur patience, leurs prières et leur présence constante dans ma vie.

Ils sont ceux qui ont contribué à bâtir chaque fondement de ma vie, bien au-delà de ce simple travail.

À mes grands-parents, dont les paroles douces, la sagesse et les invocations m'ont toujours réconforté, même à distance.

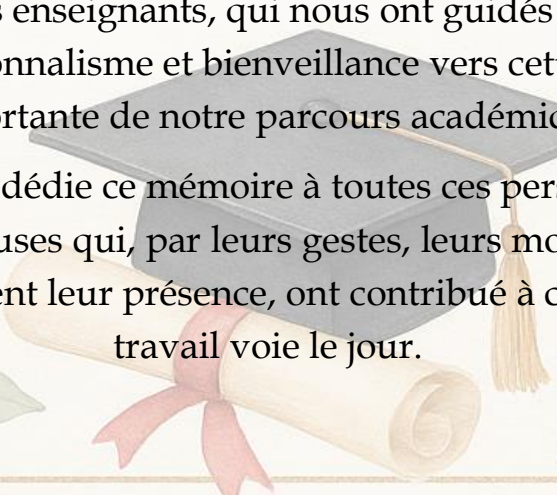
À mes deux petites sœurs, sources de joie et d'innocence, pour leur affection sincère et leurs encouragements spontanés.

À tous les membres de ma famille, qui m'ont soutenue moralement, demandé de mes nouvelles, et cru en moi à chaque moment.

À mes véritables amis, qui ont su me motiver, m'écouter, et partager avec moi les hauts et les bas de cette aventure.

À mes enseignants, qui nous ont guidés avec professionnalisme et bienveillance vers cette étape importante de notre parcours académique.

Je dédie ce mémoire à toutes ces personnes précieuses qui, par leurs gestes, leurs mots ou simplement leur présence, ont contribué à ce que ce travail voie le jour.



ملخص:

تعتمد هذه الدراسة على إعادة تحليل عينات تم جمعها سنة 2024 في إطار عمل سابق، بهدف إعادة تقييم تلوث الطبقة السطحية من المياه الساحلية لولاية عنابة بالجزيئات البلاستيكية الدقيقة. وقد تمت معالجة هذه العينات من جديد سنة 2025 وفق بروتوكول صارم، من أجل تصحيح عدة أخطاء منهجية تم تحديدها مسبقاً. تم تصنيف الجزيئات المكتشفة إلى خمس فئات: الألياف/الخيوط، الشظايا، الأغشية، الحبيبات، والرغوات. أظهرت المعدلات المحسوبة عبر عشر محطات سيادة واضحة لفئة الألياف/الخيوط (356,8 جزيئة في كل محطة)، تليها الشظايا (21,6)، الأغشية (20,2)، الرغوات (9,6)، ثم الحبيبات (7,2). سُجّلت أعلى التراكيز في المحطات الواقعة بالموانئ ومصبات الأودية، مما يدل على مصادر بشرية مباشرة. وثمّكن هذه النتائج المصححة من فهم أفضل لمستوى التلوث بالبلاستيك الدقيق (الميكروبلستيك) على الساحل الشمالي الشرقي الجزائري، كما تشكل قاعدة موثوقة لرصد طويل المدى واقتراح تدابير تسيير فعالة.

الكلمات المفتاحية: الميكروبلستيك، النفايات البلاستيكية، التنوع البيولوجي المائي، الطبقة السطحية من المياه، الساحل الشرقي الجزائري، عنابة.

Abstract:

This study is based on a reanalysis of samples collected in 2024 as part of a previous research project, with the aim of reassessing microplastic contamination in the surface layer of coastal waters in the wilaya of Annaba. These samples were reprocessed and analyzed in 2025 using a rigorous protocol to correct several identified methodological errors.

The detected particles were classified into five categories: fibres/lines, fragments, films, pellets/granules, and foams. The average values calculated across ten sampling stations revealed a clear predominance of fibres/lines (356.8 particles per station), followed by fragments (21.6), films (20.2), foams (9.6), and pellets/granules (7.2).

The highest concentrations were recorded in port and estuary stations, indicating direct anthropogenic inputs. These corrected results enhance the understanding of microplastic pollution along the northeastern Algerian coastline and provide a reliable basis for long-term monitoring and the development of targeted management strategies.

Keywords: Microplastics, plastic waste, aquatic biodiversity, surface water layer, Algerian east coast, Annaba.

Résumé :

Cette étude repose sur une reprise analytique d'échantillons collectés en 2024 dans le cadre d'un travail antérieur, afin de réévaluer la contamination microplastique dans la couche superficielle des eaux côtières de la wilaya d'Annaba. En 2025, ces échantillons ont été retraités et analysés selon un protocole rigoureux, visant à corriger plusieurs erreurs méthodologiques identifiées.

Les particules détectées ont été classées en cinq catégories : fibres/lines, fragments, films, granulés/pellets et mousses. Les moyennes calculées sur dix stations montrent une nette prédominance des fibres/lines (356,8 particules par station), suivies des fragments (21,6), des films (20,2), des mousses (9,6) et des granulés/pellets (7,2).

Les stations portuaires et d'embouchure présentaient les concentrations les plus élevées, suggérant des apports anthropiques directs. Ces résultats corrigés permettent une meilleure compréhension de la pollution microplastique sur le littoral nord-est algérien, et offrent une base fiable pour le suivi environnemental et l'élaboration de mesures de gestion ciblées.

Mots clés : Microplastiques, déchets plastiques, biodiversité aquatique, couche superficielle de l'eau, littoral Est algérien, Annaba

Sommaire :

Introduction :.....	1
Chapitre 1 : Cadre conceptuel et revue de la littérature.	
1. La pollution marine :.....	4
1.1. Pollution plastique en Méditerranée :	4
2. Le littoral :.....	5
3. Les polluants marins :.....	7
a. Les macropolluants :.....	7
b. Les micropolluants :	7
4. Transport des polluants dans les systèmes aquatiques :.....	8
a. Dépôts atmosphériques :.....	9
b. Ruissellement :	9
c. Rejet des eaux usées :	9
d. Décharge directe :.....	9
Chapitre 2 : Le plastique et les microplastiques	
1. Définition et histoire du plastique :	10
1.1. Que signifie le terme « plastique » ?.....	10
1.2. Histoire du plastique :	11
2. Types et propriétés des plastiques :	12
3. Impact environnemental des plastiques en milieu marin : transport, dispersion et dégradation.....	15
3.1. Transport et dispersion des plastiques en mer :	15
3.2. Dégradation du plastique :	15
4. Classification des déchets plastiques en milieu marin :	18
5. Les microplastiques : une menace invisible.....	20
5.1. Apparition et reconnaissance des microplastiques :	20
5.2. Sources des microplastiques :	21
5.3. Types de microplastiques	22
5.3.1. Les microplastiques primaires :	22
5.3.2. Les microplastiques secondaires :	23
6. classification des microplastiques :	23
6.1 Modèle de classification d'Eriksen (2013) :	23
a) Fibres/lines :	24
b) Films :	24
c) Mousses :	24
d) Fragments et granulés/pellets :	25

7. Distribution des microplastiques dans les océans, la Méditerranée et l'Algérie : données et enjeux actuels :	26
7.1. Distribution des microplastiques dans les eaux côtières algériennes :	28
8. Impact des microplastiques sur la vie aquatique :	31
8.1. Impact écologique des microplastiques :	32
8.2. Perturbations physiologiques chez les organismes marins :	33
8.3. Bioaccumulation et transfert trophique :	33
Chapitre 3 : Matériel et méthodes.....	
1.Présentation de la wilaya d'Annaba :	36
Zone d'étude : Cadre géographique, environnemental et anthropique.....	36
1. Localisation et superficie :	36
1.2. Relief et hydrographie :	36
1.3. Climat et dynamique marine :	37
1.4. Occupation des sols et urbanisation :	37
1.5. Activités industrielles et pression environnementale :	37
1.6. La pollution plastique sur le littoral de la wilaya d'Annaba :	37
2. Méthode et protocole d'échantillonnage des microplastiques en surface :	38
3. Matériel et méthodes de tri au laboratoire :	39
3.2. Protocole de traitement des échantillons :	39
3.2.2. Prétraitement par digestion chimique :	40
3.2.4. Décantation :	42
3.2.5. Récupération des microplastiques :	43
3.2.6. Observation et identification :	43
3.2.7. Conservation des fractions triées :	43
Chapitre 4 : résultats et discussion	
1. Introduction aux résultats :	44
1.1. Résultats :	46
2. Interprétation générale des résultats :	47
3. Comparaison des données :	49
3.1. Analyse par type de microplastique :	49
3.1.1. Fibres/lines :	49
3.1.2. Fragments :	50
3.1.3. Films :	50
3.1.4. Granulés/pellets (y compris microbilles) :	50
3.1.5. Mousses :	51
3.1.6. Autres :	51
4. Discussion générale :	51
Conclusion générale Perspectives et recommandations.....	38

1. Conclusion :	54
2. Perspectives et recommandations :	55
2.1. Sensibilisation du public et changement de comportement :	55
2.2. Installation de stations d'épuration au niveau des oueds et des exutoires côtiers :	55
2.3. Traitement des eaux industrielles avant leur rejet :	56
2.4. Intégration de filtres à microfibres dans les machines à laver :	56
2.5. Remplacement des plastiques conventionnels par des alternatives biodégradables :	56
2.6. Surveillance environnementale et soutien à la recherche scientifique :	57
2.7. Vers une collecte plus intelligente et citoyenne des déchets plastiques :	57
Synthèse des solutions proposées :	58
Références bibliographiques :	59

Liste des figures:

Figure 1: Répartition spatiale des apports de déchets flottants dans le bassin méditerranéen (Liubartseva et al., 2018).....	5
Figure 2 : Structure moléculaire générale d'un polymère plastique (polyéthylène).....	10
Figure 3: structures chimiques des polymères (Conception par Liazid,2025)	11
Figure 4: Illustration d'un produit de thermoplastique (Plastics Europe, 2020).....	13
Figure 5: Illustration d'un produit de thermosets (Plastics Europe, 2020)	13
Figure 6: les principaux types de resines plastiques et leurs applications dans le domaine de l'emballage (IFPEN,2025)	14
Figure 7: Nombre estimé d'années que les objets suivants mettent à se biodégrader en mer (Gaudiaut, 2018).....	16
Figure 8 : types de dégradation dans les écosystèmes (Liazid,2025).....	17
Figure 9: : Différentes échelles de la dégradation des plastiques dans l'environnement (Galgani et al.,2021).....	18
Figure 10: Échantillon de microplastiques sous loupe binoculaire grossissement ×2 (futura,2017).	20
Figure 11: types et sources des microplastiques et leurs caractéristiques (rochman et al., 2019)	21
Figure 12:sources de microplastiques dans l'environnement (Auta et al.,2017).....	22
Figure 13: structures microscopiques avec échelle de référence (Liu et al., 2022).	25
Figure 14: films (a), granulés/pellets (b,c) (Viršek et al., 2016).....	26
Figure 15: Concentrations de débris plastiques en surface de la mer Méditerranée comparées aux zones d'accumulation de l'océan mondial (Cózar et al., 2015).....	27
Figure 16: Composition des microplastiques dans le Golfe de Bou-Ismaïl (Setiti et al., 2021)...29	
Figure 17: Composition des microplastiques dans le golfe d'Annaba (Tata et al., 2020). (représentation graphique effectuée par Liazid,2025).....	30
Figure 18: Accumulation de microplastiques sur les côtes algériennes : urgence d'une surveillance et gestion ciblée (Liazid,2025).....	31
Figure 19:Exposition des espèces animales marines aux MPs (Lusher, 2015)	35
Figure 20:Carte de situation géographique de la wilaya de ANNABA (Elhachmi, 2014, modifié par Liazid, 2025)	36
Figure 21: : Mise en œuvre du protocole d'échantillonnage à l'aide d'un filet Manta (Setiti et al ,2022) : (1) Traction du filet à la surface de l'eau, fixé à l'arrière de l'embarcation pour minimiser les turbulences ; (2) Vue du filet en surface, stabilisé par deux ailes flottantes jaunes ; (3) Transfert du contenu du collecteur après rinçage du filet ; (4) Stockage de l'échantillon dans un flacon pour conservation avant analyse	38
Figure 22: Préparation pour la digestion chimique (Originale, 2025)	39
Figure 23: Début de la digestion – repos de 5 minutes (Originale, 2025)	40
Figure 24: Processus de digestion – apparition des bulles (Originale,2025).....	41
Figure 25: A) Fin de la digestion. B) Ajout du sel pour la séparation (Originale, 2025)	41
Figure 26: A) Versement dans l'ampoule ; B) Ampoule couverte avec aluminium (Originale, 2025)	42

Figure 27: : Échantillons observés sous loupe binoculaire (×2) avant la digestion (Originale, 2025)	44
Figure 28: Microplastiques observés après digestion chimique (exemple 1) (Originale, 2025) ..	45
Figure 29: Microplastiques observés après digestion chimique (exemple 2) (Originale, 2025) ..	45
Figure 30: : Histogramme groupé représentant la répartition typologique des microplastiques par station (originale, 2025)	47

Liste des tableaux:

Tableau 1: Macropolluants et micropolluants dans certains compartiments de la biosphère : exemples et sources principales. (Conception du tableau par Liazid, 2025)	8
Tableau 2: Classification des déchets plastiques en milieu marin selon leur taille (Conception du tableau par Liazid, 2025).....	19
Tableau 3: présentation détaillée de la répartition des types des microplastiques (originale, 2025)	46
Tableau 4: Présentation de la répartition des types de microplastiques (données de 2024, version initiale non corrigée).....	49

Liste des abréviations

Institutions, programmes et organisations :

AND : Agence Nationale des Déchets

AQUAREF : Réseau national de référence pour la surveillance de la qualité de l'eau

CNL : Centre National de Lutte contre la Pollution

GESAMP : Groupe Mixte d'Experts chargé d'Étudier les Aspects Scientifiques de la Protection de l'Environnement Marin

IFPEN : Institut Français du Pétrole et des Énergies Nouvelles

MAP : Plan d'Action pour la Méditerranée (PNUE)

MED : Méditerranée en danger

MEER : Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables

OMI : Organisation Maritime Internationale

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PDVA : Plan Directeur de Valorisation du Littoral Algérien

UNEP : United Nations Environment Programme (Programme des Nations Unies pour l'Environnement)

Matériaux, paramètres et concepts techniques :

EPS: Polystyrène expansé (Expanded Polystyrene)

GSD: Ground Sampling Distance

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HDPE : Polyéthylène haute densité (High-Density Polyethylene)

LDPE: Polyéthylène basse densité (Low-Density Polyethylene)

MP : Microplastique

PE : Polyéthylène

PET : Polyéthylène téréphtalate

PHB : Polyhydroxybutyrate

PLA : Acide polylactique (Polylactic Acid)

PP : Polypropylène

PS : Polystyrène

PVC : Polychlorure de vinyle

UV : Ultraviolet

Introduction :

Les océans couvrent plus de 70 % de la surface terrestre et jouent un rôle crucial dans l'équilibre écologique de la planète. Ils abritent une biodiversité riche et variée, fournissent des ressources essentielles pour l'humanité et influencent directement le climat mondial. Cependant, la pollution marine, en particulier celle liée aux microplastiques, constitue aujourd'hui une menace majeure pour ces écosystèmes fragiles (OMI, 2023).

La conscience de la pollution plastique dans les océans n'est pas nouvelle. Effectivement, ce problème a commencé à être mentionné dans des rapports scientifiques dès le début des années 1970. Cependant, même après plus de quatre décennies, il n'y a pas d'estimation précise concernant le volume et l'origine des déchets plastiques qui entrent dans l'écosystème marin. En 1975, on estimait que le volume annuel de déchets de toute sorte déversée dans l'océan s'élevait à 6,4 millions de tonnes (l'équivalent de 5,8 millions de tonnes métriques), uniquement basé sur les rejets provenant des navires, des opérations militaires et des incidents en mer (National Research Council, 1975).

La production mondiale de plastique a atteint 359 millions de tonnes en 2018, avec une croissance annuelle estimée à 3,7 % (Plastics Europe, 2019). La Chine, l'Amérique du Nord et l'Union européenne en sont les principaux producteurs, contribuant respectivement à 30 %, 18 % et 17 % de la production mondiale. En Europe, six pays concentrent près de 70 % de la demande, dont l'Allemagne, l'Italie et la France. La tendance actuelle laisse présager un doublement de la production plastique d'ici 2025 et un triplement d'ici 2050 (World Economic Forum, 2016).

Selon Assoumani et al. (2019), « La mer Méditerranée, caractérisée par son bassin semi-fermé, est particulièrement vulnérable à l'accumulation de polluants plastiques, atteignant parfois des concentrations supérieures à 100 000 particules/km². L'essor de l'industrie plastique repose sur des propriétés qui ont favorisé son adoption massive : légèreté, résistance mécanique et chimique, flexibilité, imperméabilité et faible coût de production. Ces caractéristiques ont permis son utilisation dans de nombreux secteurs, des emballages aux textiles en passant par l'automobile et le bâtiment. »

En Algérie, la pollution plastique est un enjeu préoccupant. Le pays figure parmi les plus grands consommateurs de plastique en Afrique, et sa gestion des déchets reste insuffisante.

Selon l'Agence Nationale des Déchets (AND), le plastique représente 87 % des déchets collectés sur les plages algériennes, selon leur rapport de 2020. Cette pollution est principalement due aux mauvaises pratiques des estivants et à une gestion inadéquate des déchets. Les articles en plastique à usage unique constituent une part significative des déchets retrouvés sur les plages. (AND,2021).

L'accumulation de ces matériaux dans l'environnement, notamment sous forme de microplastiques, est aujourd'hui une préoccupation majeure.

Parmi les formes les plus préoccupantes de cette pollution figure celle des microplastiques. Ces derniers sont définis comme des particules de plastique de moins de 5 mm, proviennent principalement de la dégradation des déchets plastiques, des rejets industriels et des produits cosmétiques. Ces particules s'accumulent dans l'environnement marin, perturbant la faune aquatique et représentant un risque pour la santé humaine via la chaîne alimentaire (GESAMP, 2015). Selon l'Organisation maritime internationale (OMI), la pollution plastique marine provient à 80 % d'activités terrestres, notamment en raison de la mauvaise gestion des déchets (OMI, 2023).

Selon AQUAREF (2019), ces particules sont omniprésentes dans les eaux de surface, affectant les écosystèmes aquatiques et présentant un risque pour les organismes vivants.

L'Algérie, en tant que cinquième plus grand consommateur de sacs plastiques au monde (Bougherara, 2020), est confrontée à un défi majeur en matière de gestion des déchets plastiques. L'absence de politiques efficaces de recyclage et de limitation de l'usage du plastique contribue à une pollution accrue, notamment sur les côtes méditerranéennes.

Ce travail constitue une reprise méthodique axée sur la gestion des échantillons collectés à Annaba, visant principalement à rectifier les lacunes observées dans une étude antérieure. Cette dernière, réalisée l'année précédente, comportait des insuffisances marquées en ce qui concerne le protocole de traitement des échantillons, le classement et la quantité de microplastiques, entraînant ainsi des conclusions peu fiables.

La présente étude, effectuée en respectant strictement les normes scientifiques, vise à fournir des informations corrigées, comparables et utilisables concernant la pollution par les microplastiques dans la zone étudiée. Cela implique notamment la mise en œuvre d'une digestion chimique stricte, suivie d'un tri et d'un comptage précis des microplastiques, dans le but d'acquérir des résultats fiables et comparables.

Les objectifs recherchés dans cette étude sont donc :

- Réévaluer la contamination microplastique dans la couche superficielle des eaux côtières d'Annaba
- Apporter une correction scientifique aux données précédemment publiées
- Renforcer la compréhension de la pollution plastique sur le littoral nord-est algérien.

Chapitre 1 :

Cadre conceptuel

et revue de la

littérature.

1. La pollution marine :

Les océans, essentiels à la vie sur Terre en offrant des services comme la régulation climatique et l'approvisionnement de ressources, sont sous pression en raison d'une mauvaise gestion des déchets humains et du déversement de produits toxiques par les industries. Engrais, pesticides, sacs plastiques, divers objets abandonnés finiront tôt ou tard par se retrouver dans les océans, les cours d'eau, les eaux de ruissellement, la pluie...

Selon la définition du Gesamp (Groupe Mixte d'Experts chargé d'étudier les Aspects Scientifiques de la Protection de l'environnement Marin, 2010), la pollution marine se réfère à : « l'introduction, par des actions humaines, directes ou indirectes, de matières ou d'énergie dans le milieu marin (incluant les estuaires), provoquant des effets néfastes tels que des nuisances sur les ressources biologiques, des menaces pour la santé humaine, des obstacles aux activités maritimes (y compris la pêche), une altération de la qualité de l'eau de mer en termes d'usage et une dégradation des valeurs récréatives ».

1.1. Pollution plastique en Méditerranée :

Pour illustrer concrètement cette définition et l'ampleur du phénomène, il est pertinent d'examiner la situation en Méditerranée. Selon The Mediterranean Action Plan of the United Nations Environment Programme (UNEP/MAP,2015) la mer Méditerranée a été décrite comme l'une des zones les plus touchées par les déchets marins dans le monde. Les activités humaines y génèrent des quantités considérables de déchets, qui sont en augmentation malgré des variations selon les pays. Certaines des plus grandes quantités de déchets solides municipaux par an et par personne (208–760 kg/an, <http://www.atlas.d-waste.com/>) y sont relevées (Figure 1). Le plastique représentant jusqu'à 95 % des débris accumulés sur les rivages, en surface ou sur le fond de la mer. La majorité de ces matériaux se décompose très lentement, ce qui se constate également sur le fond marin où 90 % des déchets relevés dans les chaluts benthiques sont en plastique, et ce chiffre peut atteindre 100% pour les déchets à la surface de la mer (Galgani et al.,2020).

Cette situation illustre parfaitement la nature multidimensionnelle de la pollution marine et ses effets néfastes sur les ressources biologiques, la santé humaine et les activités maritimes. En effet, les taux d'accumulation varient considérablement en fonction de nombreux facteurs tels que l'implantation de grandes villes, l'utilisation du rivage, l'hydrodynamisme et les activités maritimes, entraînant des points noirs de concentration

même éloignés des sources initiales. Par ailleurs, la collecte d'informations sur ces déchets – réalisée par des institutions scientifiques, autorités locales et ONG – révèle une complexité de suivi et une diversité des méthodes de mesure, ce qui complique la mise en place de stratégies de gestion coordonnées. Ces constats montrent que, malgré leur apparente inertie, les déchets plastiques posent un défi majeur en raison de leur persistance, de leur capacité à concentrer des polluants et de leur impact direct sur la biodiversité et les services écosystémiques essentiels. (Goeury, 2014)

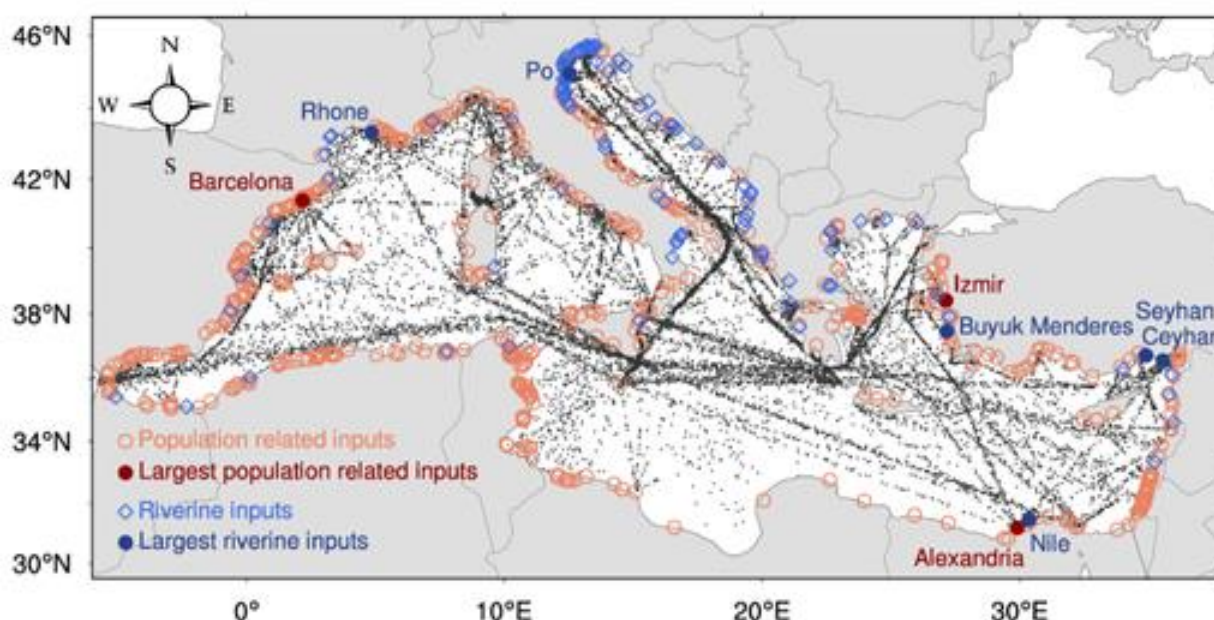


Figure 1: Répartition spatiale des apports de déchets flottants dans le bassin méditerranéen (Liubartseva et al., 2018)

Incluant les routes maritimes (points gris), les fleuves (losanges bleus ouverts), les plus grands fleuves (cercles bleus pleins), les villes côtières (cercles rouges ouverts) et les grandes agglomérations urbaines (cercles rouges pleins)

2. Le littoral :

Dans le cadre de cette étude, il est également essentiel de définir le terme « littoral ». Le mot « littoral » tire son origine du latin. Il est formé à partir de deux éléments : le nom « litus, oris », qui signifie « rivage », et le suffixe « -alis », devenu « -al » en français, servant à former des adjectifs. Ainsi, étymologiquement, « littoral » signifie « qui appartient au bord de la mer ».

Le littoral est la zone de contact entre la terre et la mer. Il désigne l'ensemble des formes de relief qui délimitent les continents et les îles, dont le modelage est directement influencé par les actions marines telles que les marées, le vent, les vagues, les tempêtes et la houle (Adda Madani et al., 2018).

Le littoral aussi correspond à la bande de terre située entre une étendue maritime et la terre ferme ou l'arrière-pays. Cependant, sa définition précise est complexe et varie selon différents domaines conceptuels (géographique, géomorphologique, océanographique, biologique, juridique, ou encore selon l'usage courant). (Adda Madani et al., 2018).

Selon le Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables (MEER, 2024), Le littoral algérien s'étend sur une distance d'environ 2 147,48 km. Cette mise à jour de l'estimation découle de la numérisation exacte du trait de côte grâce à des orthophotoplans PDVA (Plan Directeur de Valorisation du Littoral Algérien), ayant une résolution spatiale de 50 cm (GSD). La limite ouest du littoral est définie par l'oued Kiss, situé dans la wilaya de Tlemcen, tandis que sa limite est est définie par l'oued Souani Es Sebaa, qui se trouve dans la wilaya d'El Tarf. Ces deux rivières déterminent les frontières géographiques de cette zone côtière (CNL, 2017 ; MEER, 2024). Voici quelques données chiffrées le concernant :

- Linéaire côtier : 2147,48 km
- Linéaire terrestre : 2 198.44 km
- Superficie terrestre : 3929.41 km²
- Superficie marine : 27 998 km²
- Superficie totale : 31 927.41 km²

Nombre de communes du domaine littoral : 161, dont 136 communes côtières et 25 communes non côtières.

En Algérie, environ deux tiers de la population se concentrent sur le littoral, qui ne représente pourtant que 4% du territoire national.

Ces données peuvent varier en fonction des méthodes de mesure et des mises à jour des bases de données géographiques.

3. Les polluants marins :

On définit comme polluant tout agent physique, chimique ou biologique présent dans un milieu aquatique, qui, par sa concentration dans l'eau, engendre des perturbations nuisibles à l'écosystème et réduit les usages possibles de l'eau.

Il est complexe de comprendre le comportement d'une substance dans un environnement donné car cela dépend de ses caractéristiques et des propriétés du milieu dans lequel elle se trouve. Par exemple, sa présence dans l'atmosphère est conditionnée par son niveau de volatilité et sa capacité à se dissoudre dans l'eau. (Rouane Hacène, O. 2007). On relève :

a. Les macropolluants :

Il s'agit de substances naturelles présentes dans l'environnement, mais dont les concentrations diffèrent de celles habituellement observées, ce qui provoque une accélération des réactions biochimiques (Tableau 1).

b. Les micropolluants :

Un micropolluant est une substance active, d'origine minérale ou organique, susceptible d'engendrer des effets toxiques même à des concentrations extrêmement faibles, (de l'ordre du $\mu\text{g/l}$ ou moins).

Ils se répartissent dans l'environnement (eau, air, sol) et, en fonction de leur persistance, représentent un risque pour la biodiversité et la santé humaine. Il est difficile de les détecter en raison de leur diversité importante et de leur concentration très faible (Tableau 1)

Tableau 1: Macropolluants et micropolluants dans certains compartiments de la biosphère : exemples et sources principales. (Conception du tableau par Liazid, 2025)

Catégorie	Exemples	Principales sources de pollution
Macropolluants (présents à des concentrations significatives, mg/L ou g/L)	- Matières organiques (décomposition de matières vivantes) - Matières azotées (nitrates, nitrites, ammoniac) - Matières phosphorées (phosphates) - Matières en suspension (MES)	- Agriculture : épandage d'engrais chimiques et naturels (lisiers, fumiers), rejets de bâtiments d'élevage. - Eaux usées : traitées (station d'épuration) et non traitées (déversements par temps de pluie, raccordement des eaux usées aux eaux pluviales). - Origine naturelle : déjections animales, végétaux en décomposition, entraînement de particules par la pluie.
Micropolluants (présents à des concentrations très faibles, µg/L ou ng/L)	- Molécules organiques (résidus de médicaments, pesticides, détergents, retardateurs de flamme) - Éléments traces métalliques (cadmium, mercure)	- Eaux usées domestiques et industrielles - Agriculture : épandage de pesticides - Eaux de ruissellement - Dépôts atmosphériques - Fractionnement des macropolluants

4. Transport des polluants dans les systèmes aquatiques :

Dans les environnements aquatiques, certains polluants se décomposent vite par des réactions chimiques, l'exposition à la lumière ou à l'action de micro-organismes, tandis que d'autres, plus persistants, s'accumulent dans l'eau, les sédiments et les êtres vivants (bioaccumulation). La capacité d'auto-épuration d'un écosystème est liée à sa structure physique et à la diversité de ses espèces (Boukhenaf et Bourouaini, 2017).

On distingue quatre modes principaux de transport des polluants vers la mer :

a. Dépôts atmosphériques :

Certaines substances peuvent être transportées dans l'atmosphère sur des distances considérables. Ces polluants se déposent ensuite sur la terre et la mer par les précipitations, telles que la pluie et la neige (Boukhenaf et Bourouaini, 2017).

b. Ruissellement :

Toutes les substances déposées sur la terre, qu'elles soient naturelles ou synthétiques, sont emportées par l'eau de pluie. Ces eaux de ruissellement sont ensuite canalisées dans les rivières et les ruisseaux, libérant finalement ces substances dans l'environnement marin (Boukhenaf et Bourouaini, 2017).

c. Rejet des eaux usées :

Les eaux usées domestiques et industrielles sont collectées et traitées dans des stations d'épuration. Malgré le traitement, l'effluent est toujours déversé dans les rivières et les mers. Ces procédés de traitement, bien que bénéfiques, ne sont pas entièrement efficaces et ne permettent pas d'éliminer toutes les substances toxiques (Boukhenaf et Bourouaini, 2017).

d. Décharge directe :

Les polluants ont une forte probabilité d'atteindre l'environnement marin, directement ou indirectement par les systèmes fluviaux. De plus, une fois que les polluants atteignent l'océan, ils ont très peu de chances d'être éliminés. En effet, les mers et les océans agissent comme le puits universel de toutes les substances polluantes (Boukhenaf et Bourouaini, 2017).

Chapitre 2 : Le plastique et les microplastiques

1. Définition et histoire du plastique :

1.1. Que signifie le terme « plastique » ?

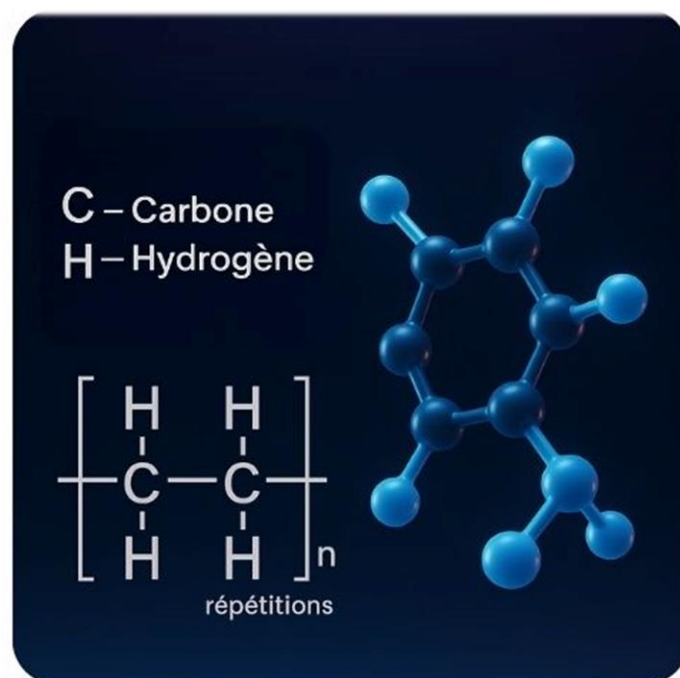


Figure 2 : Structure moléculaire générale d'un polymère plastique (polyéthylène)

Échelle : < 1 nm

Le terme « plastique » recouvre un large ensemble de matières chimiques synthétiques qui peuvent être moulées ou formées en produits utiles. La fabrication de plastique commence par de petites molécules, appelées « monomères », qui sont répétées des milliers ou des millions de fois et assemblées en longs brins, appelés « polymères » (figure 2) Ce processus de polymérisation est essentiel pour créer les divers types de plastiques que nous utilisons dans notre vie quotidienne. (Health and Environment Alliance, 2020)

Les plastiques sont employés dans une vaste gamme d'applications, allant des emballages ménagers à l'agriculture, en passant par l'automobile et la construction, notamment en raison de leur légèreté, de leur grande stabilité chimique, de leur polyvalence et de leur coût faible.

Cependant, ces mêmes plastiques sont à l'origine de préoccupations environnementales majeures. En cause : l'accumulation constante de leurs déchets depuis leur création. La dégradation extrêmement lente de ces déchets fait qu'ils s'accumulent dans les décharges pour des centaines d'années, posant un problème d'espace considérable.

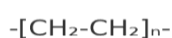
1.2. Histoire du plastique :

L'histoire du plastique est étroitement liée à celle de l'industrie pétrochimique. Le raffinage du pétrole produit un liquide, le naphta qui une fois chauffé à plus de 800°C se décompose en monomères. Ces molécules sont ensuite réunies par polyaddition ou polycondensation pour former des polymères. En y ajoutant des adjuvants et des additifs, on obtient une vaste gamme de matières plastiques adaptées à divers usages (figure 3).

Au XXe siècle, le plastique s'est imposé comme une alternative aux matières premières rares et coûteuses. L'invention de la bakélite par Leo Baekeland en 1907 a marqué un tournant, introduisant le premier plastique entièrement synthétique. Dans les décennies suivantes, des avancées majeures ont été réalisées :

- **1926** : Découverte du PVC (polychlorure de vinyle)
- **1933** : Apparition du PE (polyéthylène)
- **1935** : Invention du Nylon
- **1941** : Introduction du PET (polyéthylène téréphtalate)

Polyéthylène (PE)



Polychlorure de vinyle (PVC)



Nylon (PA6)



Polyéthylène téréphtalate (PET)



Figure 3: structures chimiques des polymères (Conception par Liazid,2025)

La Seconde Guerre mondiale accélère la production et l'utilisation des matières plastiques, en raison de leurs applications militaires (parachutes, verrières d'avion, isolation des câbles). Dès les années 1950, ils se généralisent dans le secteur civil : emballages, jouets

et articles ménagers. La découverte de la bouteille en PET en 1973 par DuPont a renforcé l'importance du plastique dans l'industrie.

Cela étant dit, à partir des années 1980, la pollution plastique devient une préoccupation croissante. Les stratégies de recyclage et les recherches sur les bioplastiques se développent pour atténuer leur impact environnemental. Aujourd'hui, le plastique se trouve à un tournant, entre son utilité et ses effets écologiques. (Liu et al., 2021 ; Barrère-Tricca et al., 2021)

2. Types et propriétés des plastiques :

On distingue plusieurs types de résines parmi les plastiques, Sur le plan chimique, on peut diviser ces plastiques en deux principaux groupes (Plastics Europe, 2020) (figure 6) :

• Thermoplastiques

Ce sont des polymères qui se ramollissent sous l'effet de la chaleur et durcissent en refroidissant, ce qui permet leur recyclage et leur réutilisation (Plastics Europe, 2020).

➤ Exemples :

- Polyéthylène (PE)
- Polypropylène (PP)
- Polychlorure de vinyle (PVC)
- Polyéthylène téréphtalate (PET)
- Polystyrène (PS) – ou EPS pour le polystyrène expansé
- ABS (ABS – Acrylonitrile Butadiène Styrene)
- Polyamides (PA)
- Polycarbonate (PC)
- Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)
- Élastomères thermoplastiques (TPE)



Figure 4: Illustration d'un produit de thermoplastique (Plastics Europe, 2020)

• Thermodurcissables(thermosets)

Contrairement aux thermoplastiques, ces polymères se solidifient de façon irréversible lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, ce qui augmente la difficulté leur recyclage (Plastics Europe, 2020).

➤ Exemples :

- Polyuréthanes (PUR)
- Résines polyester
- Résines époxy (EP)
- Résines phénoliques (PF)
- Résines mélamine-formaldéhyde (MF)
- Résines urée-formaldéhyde (UF)
- Silicone



Figure 5: Illustration d'un produit de thermosets (Plastics Europe, 2020)

 PET	  	BOUEILLES D'EAU ET DE BOISSONS, EMBALLAGES ALIMENTAIRES , RÉCIPIENTS PLASTIQUES (PAQUETS DE BISCUITS, SAUCES ETC.)
 HDPE	  	BOUEILLES DE LAIT, SACS DE CONGÉLATION, RÉCIPIENTS POUR GLACES, BOUEILLES DE JUS FRUITS, BOUEILLES DE SHAMPOING, DE PRODUITS CHIMIQUES ET DE DÉTERGENTS
 PVC	 	RÉCIPIENTS POUR PRODUITS COSMÉTIQUES, FILMS ÉTIRABLES A USAGE DOMESTIQUE
 LDPE	 	BOUEILLES SOUPLES, FILMS ÉTIRABLES, FILMS RÉTRACTABLES, SACS-POUBELLE
 PP	 	PLATS POUR MICRO-ONDES, SACS DE CHIPS, TUBES DE SAUCES
 PS	 	BOÎTES DE CD, Gobelets des distributeurs d'eau, COUVERTS EN PLASTIQUE, VERRES EN PLASTIQUE « IMITATION CRISTAL »
 EPS	  	Gobelets en polystyrène expansé pour boissons chaudes, COQUES pour restauration rapide, PLATEAUX EN MOUSSE pour viande pré-emballée, PROTECTION pour objets fragiles
 OTHERS	 	BOUEILLES pour fontaines, FILMS SOUPLES, EMBALLAGES MULTI-MATÉRIAUX

Figure 6: les principaux types de resines plastiques et leurs applications dans le domaine de l'emballage (IFPEN,2025)

3. Impact environnemental des plastiques en milieu marin : transport, dispersion et dégradation

L'impact des déchets plastiques en milieu marin est une préoccupation croissante pour les scientifiques et les écologistes.

3.1. Transport et dispersion des plastiques en mer :

Dans l'océan, les plastiques sont emportés par les courants marins, eux-mêmes modelés par des forces majeures comme la force de Coriolis, la circulation atmosphérique et les conditions météorologiques. Ces courants, notamment les courants géostrophiques, transportent les particules plastiques sur de vastes distances, déterminant ainsi leur distribution à l'échelle planétaire. (Galgani et al., 2020)

3.2. Dégradation du plastique :

En raison de sa nature non biodégradable, le plastique persiste dans l'environnement pendant des millénaires (figure 7). Cette longue durée de vie entraîne une accumulation dangereuse, notamment parce que sa dégradation même partielle libère du dioxyde de carbone, un polluant climatique majeur. Cependant, le degré de cette dégradation demeure fortement conditionné par les conditions environnementales et la composition chimique spécifique du plastique (Eubeler et al., 2009).

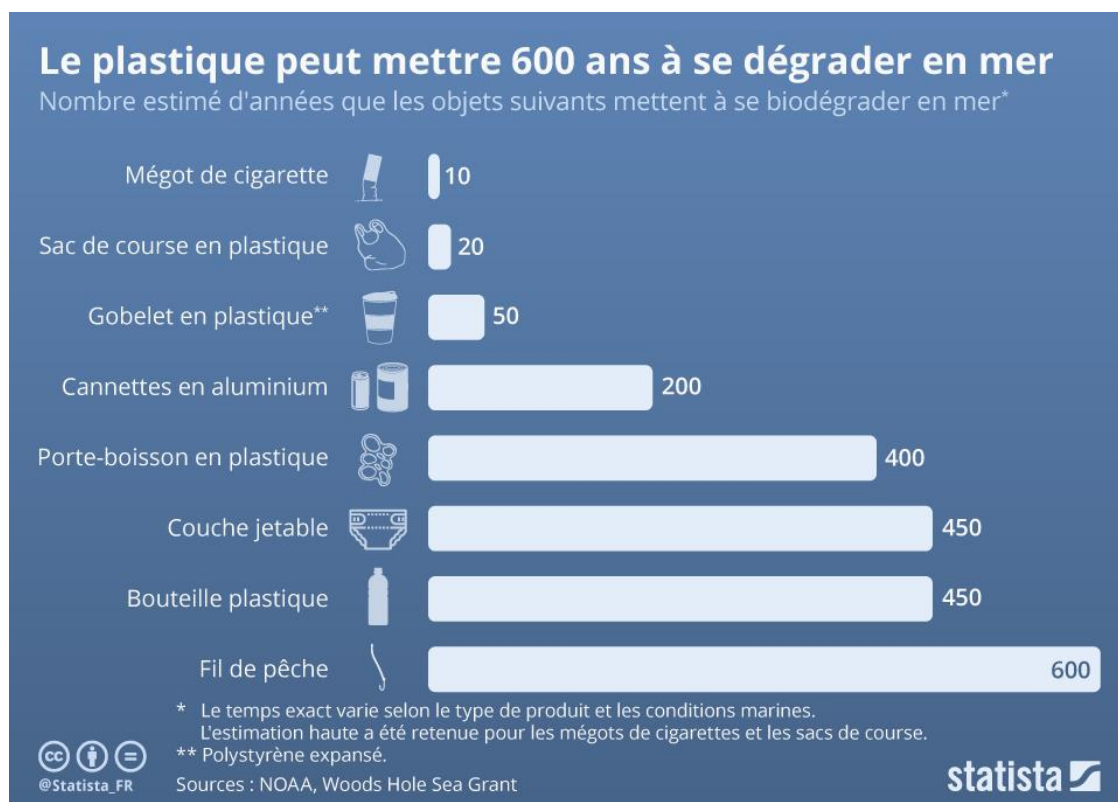


Figure 7: Nombre estimé d'années que les objets suivants mettent à se biodégrader en mer (Gaudiaut, 2018)

De façon générale, la dégradation est classée en fonction de l'agent qui la provoque (figure 8) :

- (a) Biodégradation - action des organismes vivants, généralement des microbes.
- (b) Photodégradation - action de la lumière (généralement du soleil dans les extérieurs).
- (c) Thermooxydation - dégradation oxydative lente à température modérée.
- (d) Dégradation thermique - action par températures élevées.
- (e) Hydrolyse - réaction par l'eau.

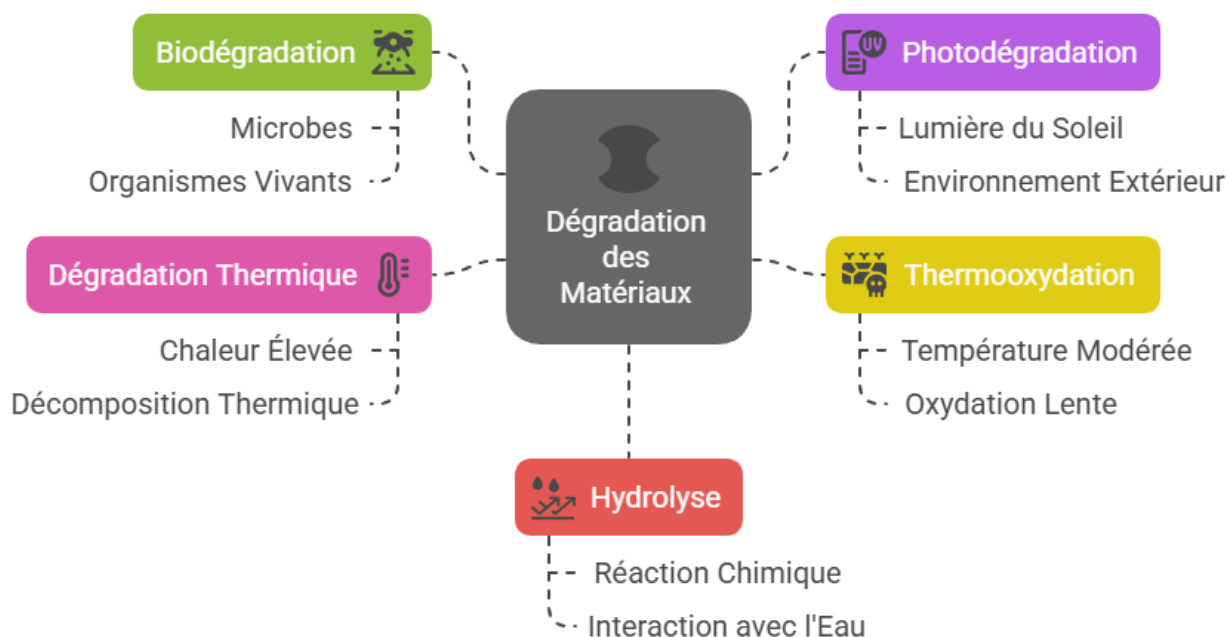


Figure 8 : types de dégradation dans les écosystèmes (Liazid,2025)

De tous les polymères comme le LDPE, HDPE, PP et nylon exposés à l’environnement marin, c’est principalement le rayonnement UV-B qui initie leur dégradation. (Andrady, 2011)

Selon Galgani et al. (2020), quelle que soit la nature des processus en jeu, la dégradation se manifestera à trois niveaux différents (figure 9) :

- **À l'échelle macroscopique** : les propriétés du matériau changent (mécaniques et optiques), mais le matériau reste intact.
- **À l'échelle microscopique** : le matériau se fissure en microplastiques en raison de la propagation des fissures.
- **À l'échelle moléculaire** : des particules très fines et différentes molécules (telles que des macromolécules, des oligomères, des additifs, etc.) se détachent les unes des autres en raison de phénomènes tels que la rupture de liaisons, la diffusion, le désenchevêtrement ou la désorption.

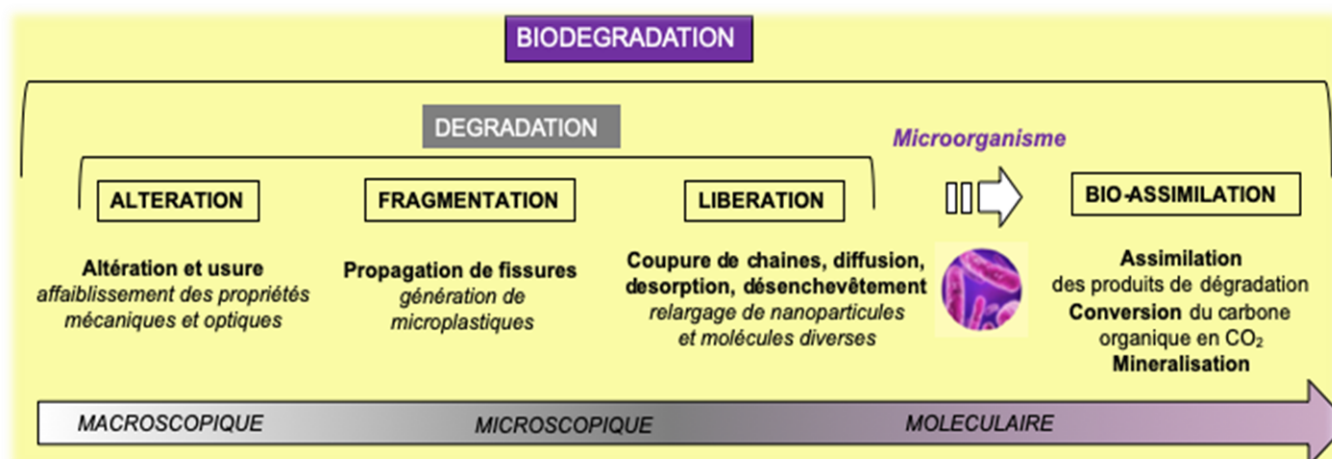


Figure 9: : Différentes échelles de la dégradation des plastiques dans l'environnement (Galgani et al.,2021)

4. Classification des déchets plastiques en milieu marin :

La classification des déchets plastiques en fonction de leur taille permet de définir leur origine, leur dynamique dans l'océan et leurs effets sur la faune. Par exemple, les mégaplastiques (>100mm) sont généralement d'origine anthropique directe (filets de pêche, conteneurs), tandis que les microparticules (<5 mm) sont dues à la fragmentation de déchets plus volumineux (tableau 2).

Barnes et al. (2009) affirment que le comportement et la distribution des plastiques dans l'océan dépendent largement de la densité, ainsi que des courants marins. Les plastiques flottants (par exemple, les polyéthylènes, les polypropylènes) se déplacent sur de grandes distances, tandis que les plastiques plus denses (par exemple, le PVC) coulent et sont piégés dans les sédiments.

**Tableau 2: Classification des déchets plastiques en milieu marin selon leur taille
(Conception du tableau par Liazid, 2025)**

Catégorie	Taille	Exemples et Impact
Méga-débris	> 100 mm	Filets de pêche, bouées, équipements marins – Risque d’enchevêtrement pour la faune.
Macro-débris	> 20 mm	Bouteilles, sacs plastiques – Ingestion par les cétacés et tortues.
Méso-débris	5–20 mm	Fragments visibles – Ingestion possible par les poissons.
Micro-débris	< 5 mm	Microbilles cosmétiques, dégradation de plastiques – Bioaccumulation dans la chaîne alimentaire.

5. Les microplastiques : une menace invisible

5.1. Apparition et reconnaissance des microplastiques :

En Amérique du Nord, les microplastiques ont été remarqués pour la première fois dans les années 1970 sous la forme de particules sphériques présentes dans les échantillons de plancton le long de la côte de la Nouvelle-Angleterre (Carpenter et al. 1972), et à partir de ce moment, des microplastiques ont été découverts dans la plupart des grandes masses d'eau du monde (océans, mers, lacs et rivières) (figure 10). Cette étape marque le début de l'étude des microplastiques, qui ont par la suite prouvé leur omniprésence et leur diversification en termes de taille dans l'environnement marin. La diversité des définitions reflète la complexité de l'analyse des microplastiques, qui sont soumis à divers enjeux liés à leur origine et à leur dégradation.

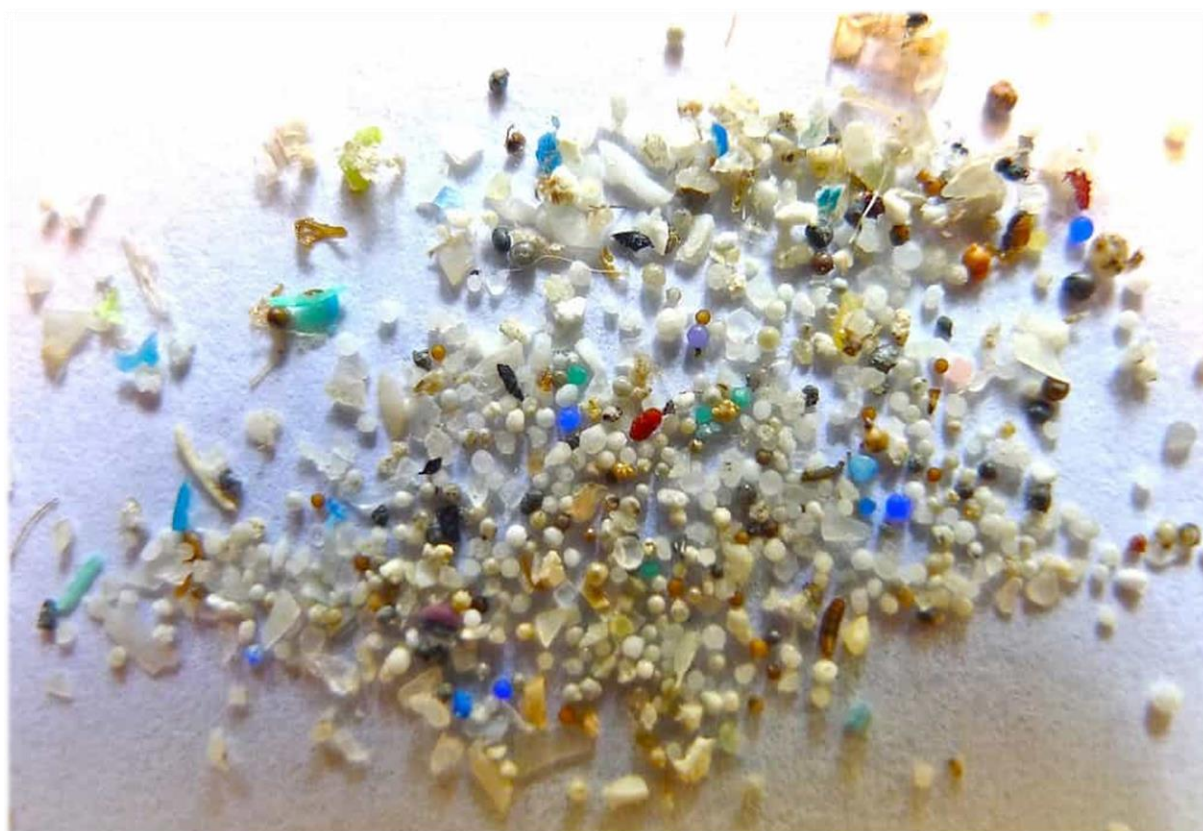


Figure 10: Échantillon de microplastiques sous loupe binoculaire grossissement $\times 2$ (futura,2017).

Les scientifiques ne s'accordent pas toujours sur la définition exacte de la taille des microplastiques. Certains chercheurs choisissent de définir les microplastiques comme toutes les particules de plastique inférieures à 5 mm, par exemple, Arthur et al., (2009), Rochman et al., (2019) ont défini les microplastiques comme des tailles comprises entre 0,333 et 5 mm, alors que d'autres préfèrent une définition plus précise, comme celle du Groupe mixte d'experts chargé d'étudier les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin (GESAMP), qui les définit en tant que particules de taille comprise entre 1×10^{-6} mm et 5 mm.

Ces choix ont principalement été motivés par les techniques d'échantillonnage, de préparation et d'analyse des MPs.

5.2. Sources des microplastiques :

La source essentielle des microplastiques sont les produits cosmétiques et de nettoyage jeté dans l'égout domestique (Fendall et Sewell, 2009) (figure 12). Lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement, les microplastiques se classifient désormais en deux catégories : microplastiques primaires et secondaires. Différentes définitions de ces classifications sont disponibles dans la littérature scientifique, soulignant la variété des sources et des mécanismes de formation de ces particules (figure 11) (Lassen et al., 2015).

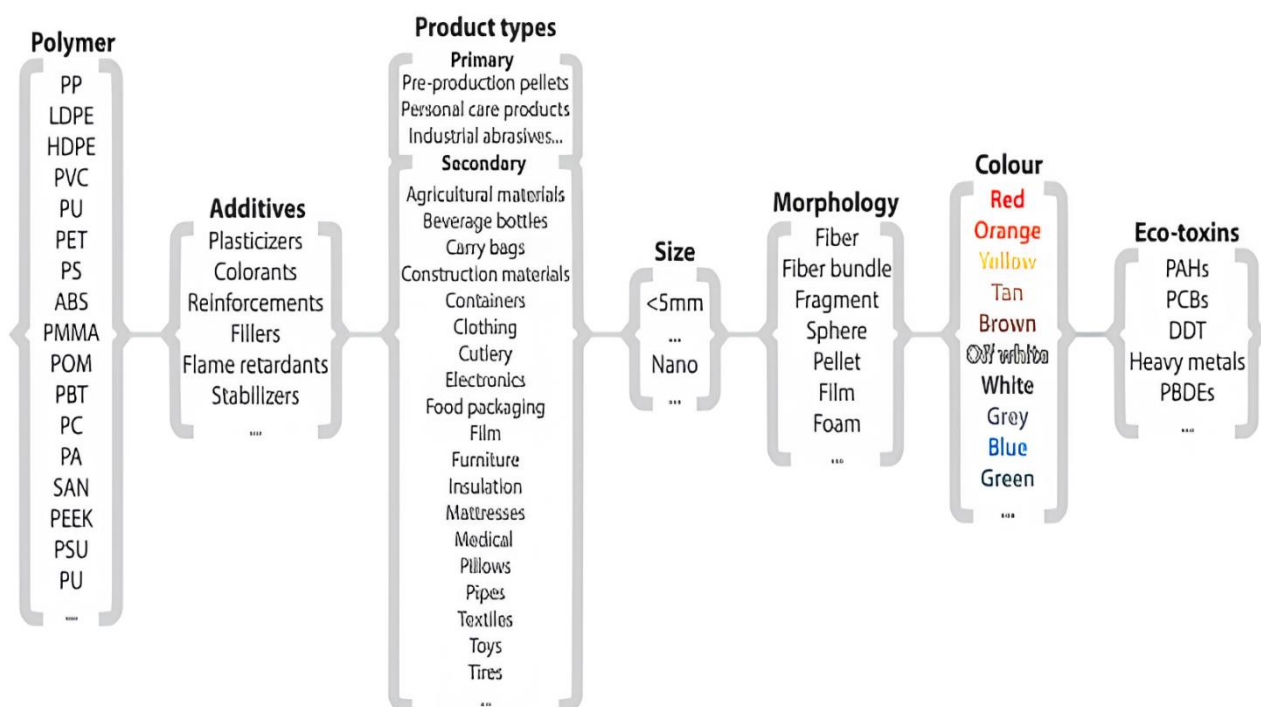


Figure 11: types et sources des microplastiques et leurs caractéristiques (rochman et al., 2019)

La figure 11 illustre les différents types de microplastiques en fonction de leur polymère primaire, des additifs ajoutés, des produits d'origine, des dimensions, des morphologies, des couleurs et des écotoxiques associés. Les microplastiques peuvent être d'origine primaire (cosmétiques, textiles, etc.) ou secondaire (décomposition des matières plastiques). Ils diffèrent par leur taille (<5 mm), leur forme (fibre, fragment, sphère, etc.), leur couleur et peuvent transporter des substances toxiques telles que des métaux lourds et des polluants organiques persistants.

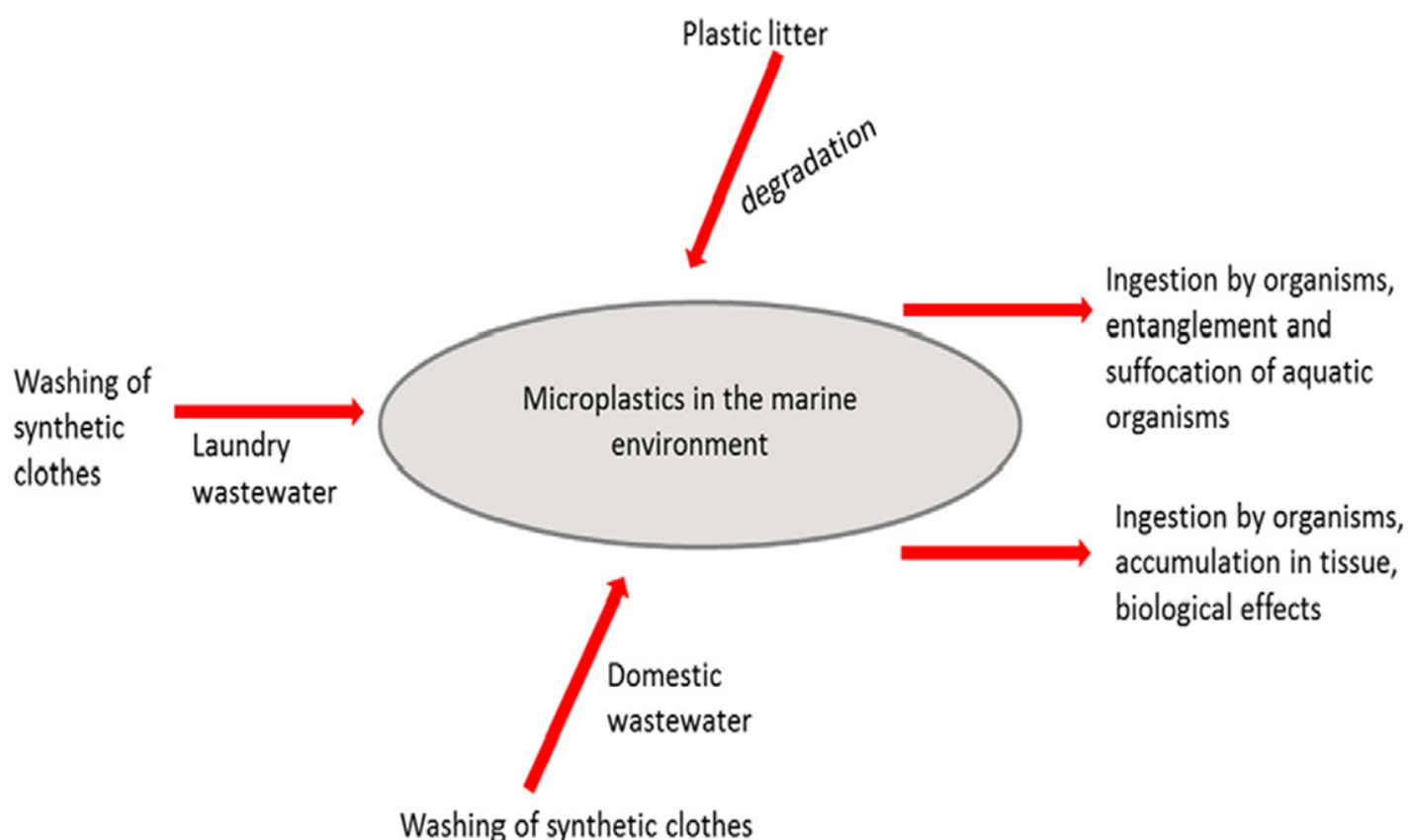


Figure 12: sources de microplastiques dans l'environnement (Auta et al., 2017)

5.3. Types de microplastiques

5.3.1. Les microplastiques primaires :

Les microplastiques primaires sont de très petites particules créées précisément pour être incorporées dans divers produits industriels ou ménagers. Ces microplastiques sont en fait fabriqués sous forme de particules de petite taille, généralement inférieures à 5 mm. Cependant, on les trouve principalement dans les cosmétiques, les produits de soins personnels, certains nettoyants ménagers et des processus industriels spécifiques tels que le sablage. Ces microplastiques sont utilisés en raison de leurs propriétés abrasives ou de leur

texture et sont généralement conçus pour être éliminés par lavage après usage. Cela signifie qu'ils passent rapidement dans les réseaux des eaux usées, avec peu ou pas de filtration, ce qui conduit à leur distribution à grande échelle dans les environnements aquatiques (Cole et al., 2011 ; Fendall & Sewell, 2009 ; Gregory, 1996).

L'utilisation de ces particules dans le processus de sablage industriel, où elles remplacent le sable ordinaire en raison de leur durabilité, constitue une autre source importante. Pendant ces procédures, les particules sont divisées et peuvent être contaminées par des métaux lourds. Une fois rejetées dans l'environnement, elles se déplacent par le vent ou l'eau jusqu'aux milieux d'eau douce ou marine. Leur dimension réduite, leur légèreté et leur persistance extensive dans l'environnement rendent leur élimination extrêmement difficile, constituant ainsi un enjeu majeur dans la gestion de la pollution plastique. (Cole et al., 2011 ; Fendall & Sewell, 2009 ; Gregory, 1996).

5.3.2. Les microplastiques secondaires :

Les microplastiques secondaires sont de très petits fragments de plastique résultant de la décomposition de macroplastique (bouteilles, sacs, emballages alimentaires, etc.) sous l'effet des facteurs environnementaux dans les océans et sur terre (Ryan et al., 2009 ; Thompson et al., 2004). Au fil du temps, une combinaison de processus physiques, biologiques et chimiques peut réduire l'intégrité structurelle des déchets plastiques, ainsi qu'une exposition prolongée au soleil peut provoquer la photodégradation des plastiques ; Le rayonnement ultraviolet (UV) de la lumière du soleil provoque l'oxydation de la matrice polymère ainsi que l'abrasion mécanique des vagues et du sable, entraîne la rupture des liaisons et conduit à leur fragmentation (Browne et al., 2007 ; Cole et al., 2011).

En 2015, il était prévu que plus de 150 millions de tonnes métriques de plastique été déposées dans les environnements marins, avec une augmentation annuelle d'environ 4,6 à 12,7 millions de tonnes métriques (Jambeck et al., 2015). Cette importante accumulation de déchets contribue de manière significative à la production de microplastiques secondaires.

6. classification des microplastiques :

6.1 Modèle de classification d'Eriksen (2013) :

Dans leur étude empirique concernant les Grands Lacs, Eriksen et al. (2013) présentent une typologie initiale des microplastiques, classant les particules en cinq classifications structurelles distinctes (fibres, films, mousses, fragments et granules) (figures 13 et 14),

fondée sur des prélèvements par filets de surface et observations visuelles détaillées (Eriksen et al., 2013).

a) Fibres/lines :

Principalement d'origine textile, elles ressemblent à des filaments fins, comme des cheveux, dont la longueur dépasse largement l'épaisseur, et leur surface lisse ou légèrement striée. Elles sont majoritairement composées de polyesters ou de polyamides (nylon). Leur surface rugueuse favorise l'adsorption des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Andrady, 2011 ; Hidalgo-Ruz et al., 2012 ; Cole et al., 2011)

b) Films :

Les films sont produits à partir de minces et flexibles lamelles, résultant du broyage ou de la découpe de sacs plastiques et d'emballages légers. Ces derniers présentent une épaisseur typique qui varie entre 5 et 50 μm , ce qui leur confère une déformabilité facile et complique leur séparation lors du processus de tamisage. Ils sont généralement fabriqués en polyéthylène de basse densité (LDPE) ou en polypropylène (PP) (Hidalgo-Ruz et al., 2012 ; Cole et al., 2011 ; Andrady, 2011).

c) Mousses :

Les mousses qui sont des fragments expansés présentant une structure poreuse, proviennent principalement de la décomposition du polystyrène expansé (EPS). Leur densité apparente ($\approx 0,05\text{--}0,1 \text{ g/cm}^3$) facilite leur dispersion à la surface, où elles ont la possibilité de se fragmenter en particules spongieuses microscopiques de 0,5 à 3 mm de diamètre (De Alencastro, 2014 ; Faure & De Alencastro, 2016).

d) Fragments et granulés/pellets :

Les fragments sont des éléments angulaires et irréguliers, provenant, de la décomposition mécanique de pièces plastiques plus grandes. Les granulés (ou pellets) sont ronds, homogènes et fabriqués intentionnellement. Leur catégorisation est basée sur des critères de dimension et de forme, néanmoins, leur provenance (granulés ou fragments) ouvre la voie à des actions préventives spécifiques (Barnes et al., 2009 ; Cole et al., 2011 ; Hidalgo-Ruz et al., 2012).

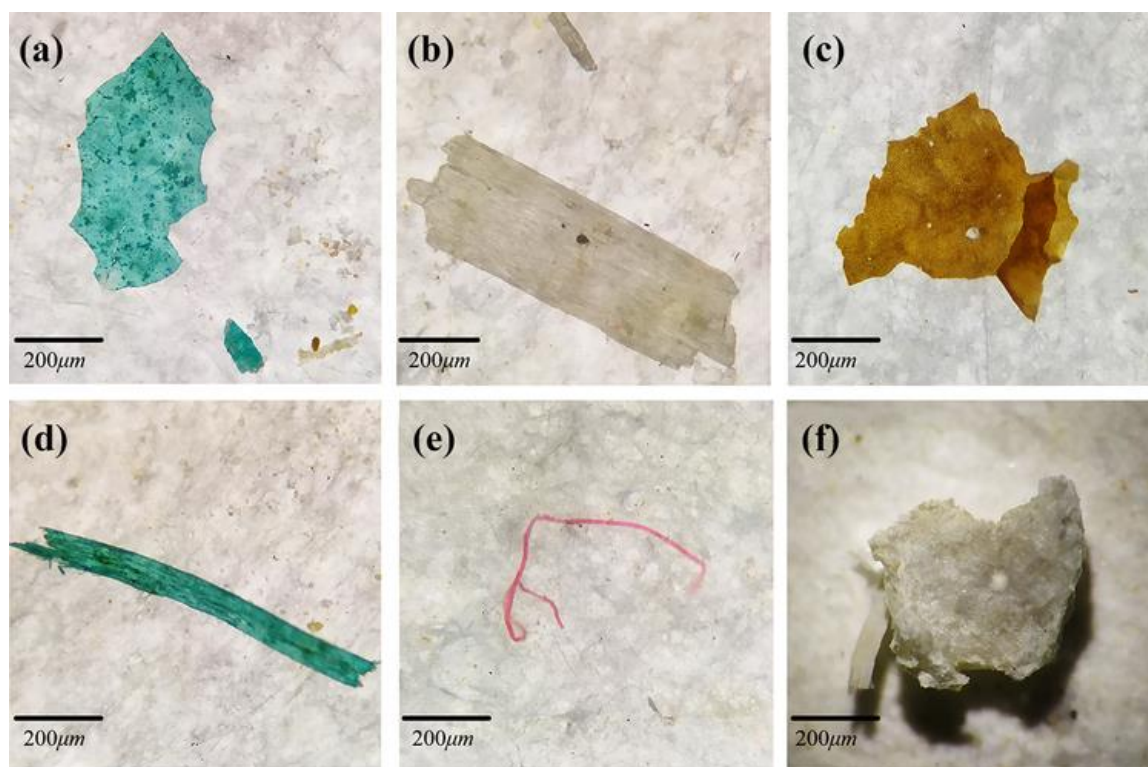


Figure 13: structures microscopiques avec échelle de référence (Liu et al., 2022).

Fragment (a–c), fibre/lines (d, e) et mousse (f)

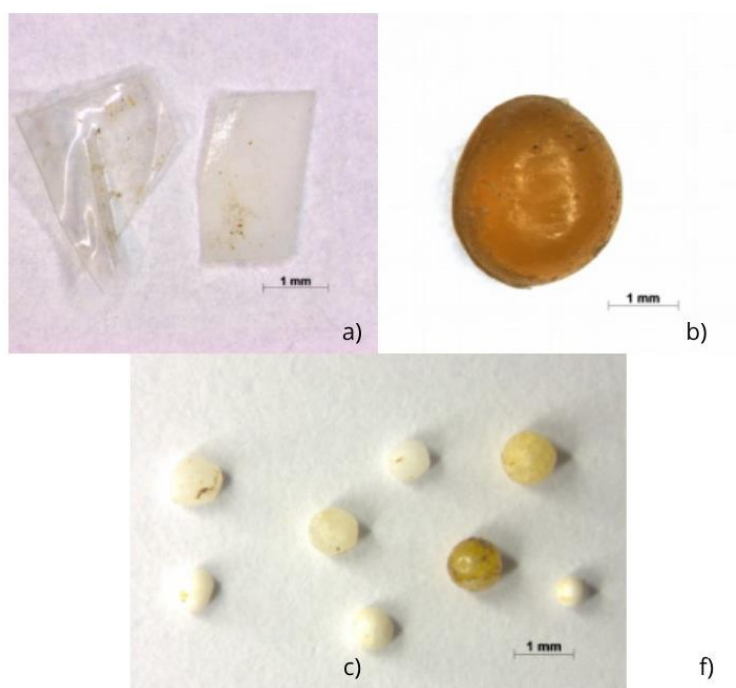


Figure 14: fims (a), granulés/pellets (b,c) (Viršek et al., 2016)

7. Distribution des microplastiques dans les océans, la Méditerranée et l'Algérie : données et enjeux actuels :

La pollution par les microplastiques dans les écosystèmes marins atteint des niveaux critiques, avec une dynamique spatiale et une concentration qui varient selon les régions. Des estimations récentes indiquent que les océans de déchets contiennent entre 75 et 200 millions de tonnes de plastique dont un nombre croissant est issu de la décomposition de macro-déchets (Jobimpact, 2025).

On considère la Méditerranée comme une mer semi-fermée, le renouvellement des eaux est très lent et se déroule principalement à travers le détroit de Gibraltar et les courants marins qui sont relativement faibles. Cette caractéristique fait de la Méditerranée un lieu particulièrement sensible à la pollution par les substances plastiques. Dès une recherche effectuée par Expédition MED, des concentrations record de microplastiques ont été détectés en Méditerranée avec des densités atteignant 2 millions de particules par kilomètre carré dans certaines zones, notamment au large de la Corse et de l'Italie. Ces niveaux se situent presque au double de ceux enregistrés en 2018-2019. (Burnouf & Mandard, 2024 ; UP' Magazine 2024).

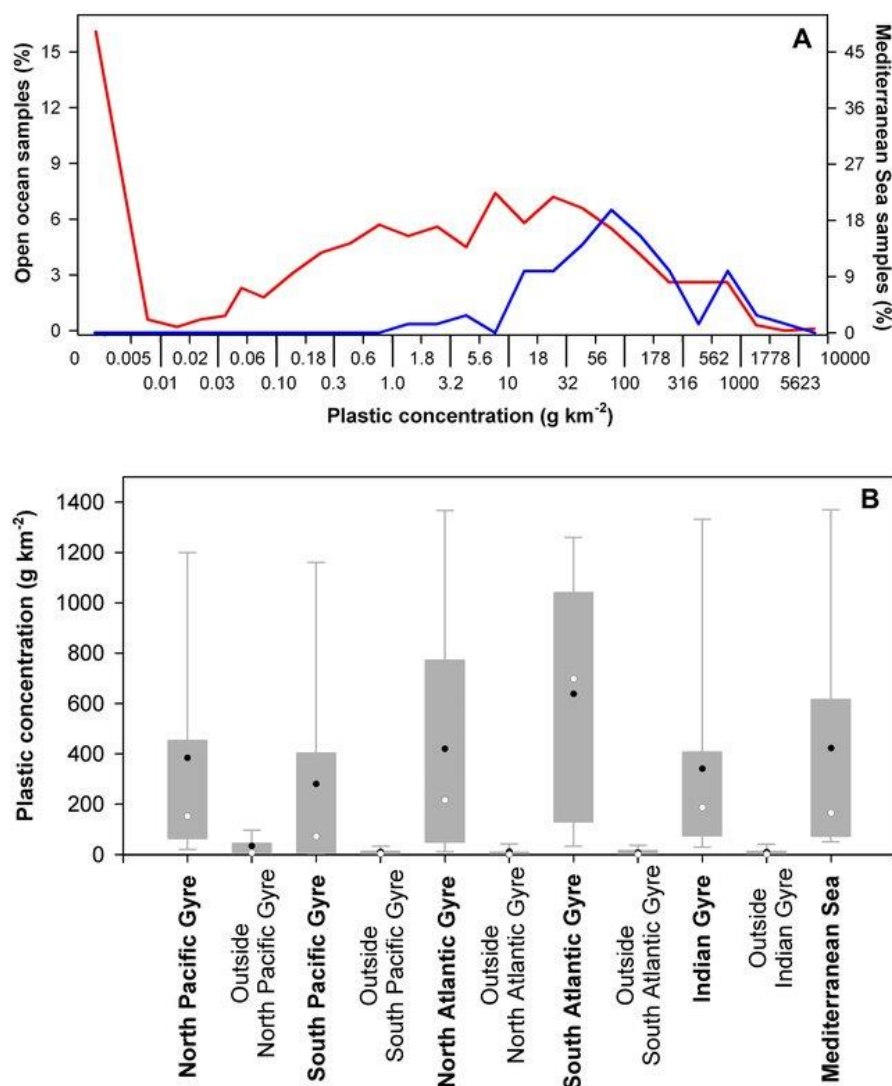


Figure 15: Concentrations de débris plastiques en surface de la mer Méditerranée comparées aux zones d'accumulation de l'océan mondial (Cózar et al., 2015).

- A) Distribution de fréquence des mesures des concentrations de plastique dans la mer Méditerranée et dans l'océan mondial. Les mesures en Méditerranée (ligne bleue) et les mesures océaniques (ligne rouge)
- B) Concentrations de plastique en surface mesurées en mer Méditerranée et rapportées pour la zone d'accumulation intérieure des cinq gyres subtropicaux

Comme le montre la Figure 15, les concentrations de plastiques en surface dans la mer Méditerranée sont comparables, voire supérieures à celles des zones d'accumulation des gyres subtropical en haute mer. Cela souligne le rôle de la Méditerranée comme un point chaud de pollution plastique marine malgré sa taille relativement petite. Des études ont montré qu'une variété de facteurs notamment la densité de population côtière, les activités maritimes

intensives et la circulation semi-fermée de la Méditerranée contribue à cette accumulation significative de plastiques en surface (Cózar et al., 2015).

Une autre étude a identifié des niveaux extrêmement élevés de microplastiques dans le sédiment marin de la mer Tyrrhénienne atteignant jusqu'à 1,9 million d'unités par mètre carré. Ces microplastiques sont majoritairement des fibres provenant de textiles qui sont véhiculées par les courants océaniques vers des régions d'accumulation (Kane et al., 2020).

7.1. Distribution des microplastiques dans les eaux côtières algériennes :

En 2017, l'Algérie a procédé à des importations de matières plastiques s'élevant à 2,03 milliards de dollars, ce qui a fortement stimulé la consommation personnelle. En effet, la consommation par habitant est passée de 10 à 25,8 kg entre 2007 et 2020, traduisant un accroissement notable de l'utilisation de ces produits dans la vie quotidienne. Cette augmentation se reflète aussi dans la composition des ordures ménagères, où les plastiques représentent environ 15,31% du total équivalant à 2,1 millions de tonnes par an avec une prédominance du polyéthylène basse densité (8,14%) suivi du polyéthylène téréphtalate (PET). De plus, près de 87 % des déchets collectés sur les plages algériennes sont d'origine polymère. La majorité de ces débris étant constituée de microplastiques issus de la fragmentation des déchets urbains, industriels et domestiques. Ces éléments illustrent non seulement l'ampleur de la consommation et de la production de ces matières, mais également la faible proportion (seulement 5 %) de ces matériaux qui sont recyclés, le reste étant soit enterré, brûlé ou directement rejeté dans l'environnement (AND, 2020).

Ces données indiquent que l'Algérie fait face à un défi majeur en termes de gestion des déchets plastiques avec des implications importantes pour la pollution côtière et la santé des écosystèmes marins.

Des études récentes ont montré que les microplastiques sont omniprésents le long du littoral algérien aussi bien dans les eaux de surface que dans les sédiments. Dans le Golfe de Bou-Ismaïl (wilaya de Tipaza), une étude saisonnière a relevé des densités moyennes de $0,86 \pm 0,35$ particules/m³, avec un pic de concentration printanier à 1,26 particules/m³. Les types de microplastiques identifiés (figure 16) comprenaient des fibres (32 %), des fragments (27 %), des films (16 %), des mousses (13 %) et des particules (12 %), principalement composées de polyéthylène (68,2 %) et de polypropylène (24,7 %) (Setiti et al., 2021).

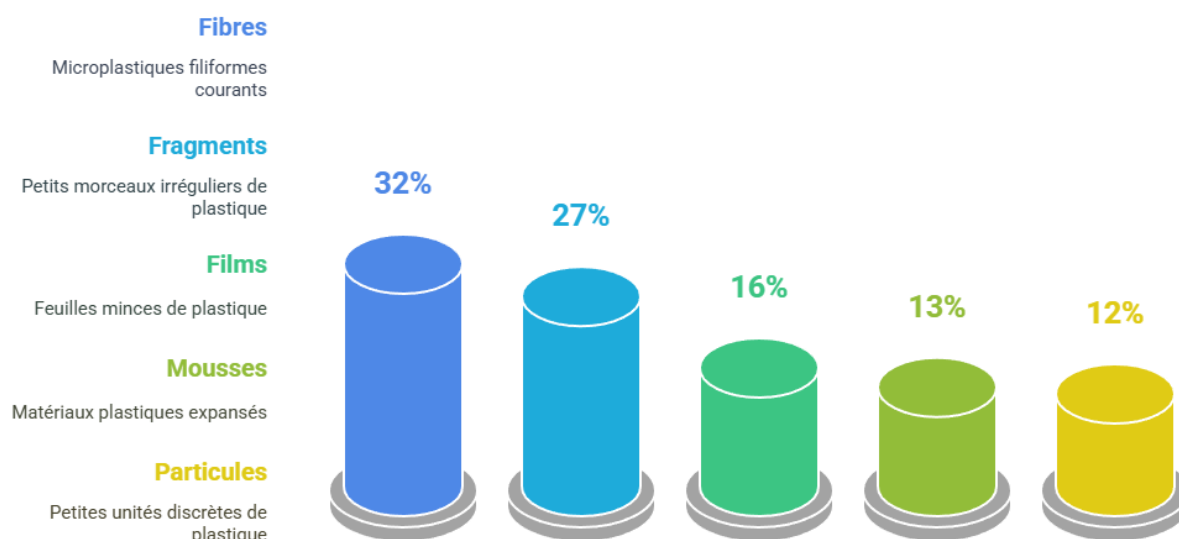


Figure 16: Composition des microplastiques dans le Golfe de Bou-Ismaïl (Setiti et al., 2021).

(représentation graphique effectuée par Liazid,2025)

Sur la côte est, dans le golfe de Skikda, des concentrations atteignant 1067 ± 625 particules/m² et 107 ± 62 particules/kg de sédiment sec ont été enregistrées, mettant en évidence une pollution significative liée à l'activité industrielle et portuaire (Grini et al., 2022).

Des analyses effectuées dans le golfe d'Annaba ont confirmé cette tendance avec des niveaux allant jusqu'à 649 particules/kg, dont 70 % étaient des fibres principalement issues des textiles synthétiques. La composition chimique des polymères y était dominée par le PE (48 %), suivi du PP (16 %), du PET (14 %) et du PS (9 %) (figure 17) (Tata et al., 2020).

Dans les régions côtières de l'ouest de l'Algérie une étude approfondie réalisée par Taïbi et al. (2021) a révélé une présence significative de microplastiques (MP) dans les sédiments des plages. Sur l'ensemble des plages échantillonnées, celles situées dans la région de Mostaganem, notamment Benabdelmalek Ramdane, Sablettes et Sidi Abdelkader, ont présenté les plus fortes densités en plastiques.

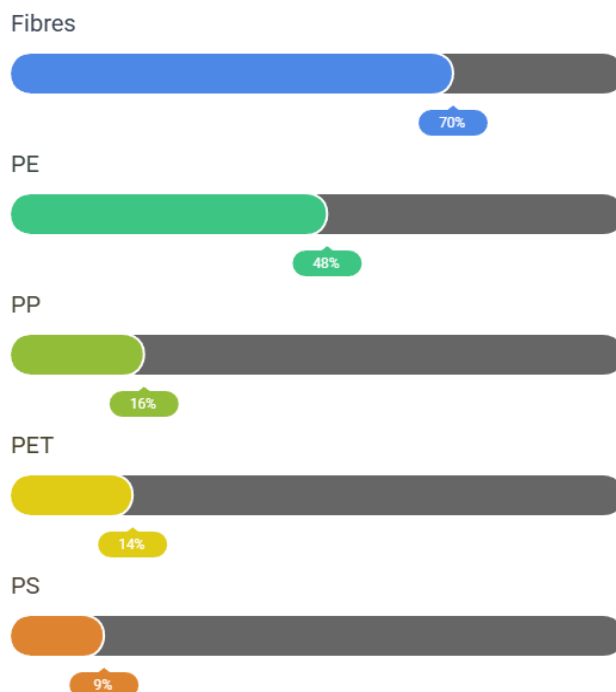


Figure 17: Composition des microplastiques dans le golfe d'Annaba (Tata et al., 2020). (représentation graphique effectuée par Liazid,2025)

La proportion de microplastiques parmi l'ensemble des déchets plastiques collectés varie fortement selon les sites échantillonnés. Elle atteint 27,8 % à Sablettes, 23,31 % à Benabdelmalek Ramdane, tandis qu'à Sidi Abdelkader elle reste limitée à seulement 2,37 %.

Les auteurs expliquent ces différences par la proximité des plages par rapport aux zones urbaines, la pression touristique saisonnière, le manque d'infrastructures de gestion des déchets solides, ainsi que la morphologie semi-fermée de cette partie du littoral. Pendant la saison estivale, les plages comme Petit Port Est et Sablettes reçoivent un afflux massif de visiteurs, ce qui pourrait expliquer une accumulation plus importante de plastiques issus d'activités humaines, et qui aggrave l'accumulation des débris plastiques en particulier les microplastiques issus de la fragmentation des déchets (Grini et al., 2022 ; Setiti et al., 2021 ; Taïbi et al., 2021 ; Tata et al., 2020).

Enfin, l'étude souligne que même si certains plastiques présentent des formes et des couleurs variées, la majorité est constituée de particules blanches (45 %) et bleues (10 %), souvent issues des sacs et emballages ménagers majoritairement en polyéthylène et polypropylène.

Les observations renforcent l'idée de la prédominance des polymères légers (PE, PP), leur abondance accrue dans les zones semi-fermées ou urbanisées, et la diversité morphologique des particules. Ils indiquent que les zones côtières algériennes jouent le rôle de véritables pièges à microplastiques, particulièrement là où la dynamique hydrologique est faible et les apports anthropiques élevés. Cela souligne l'urgence de mettre en œuvre une surveillance environnementale rigoureuse combinée à des mesures de gestion ciblée des déchets plastiques (figure 18).

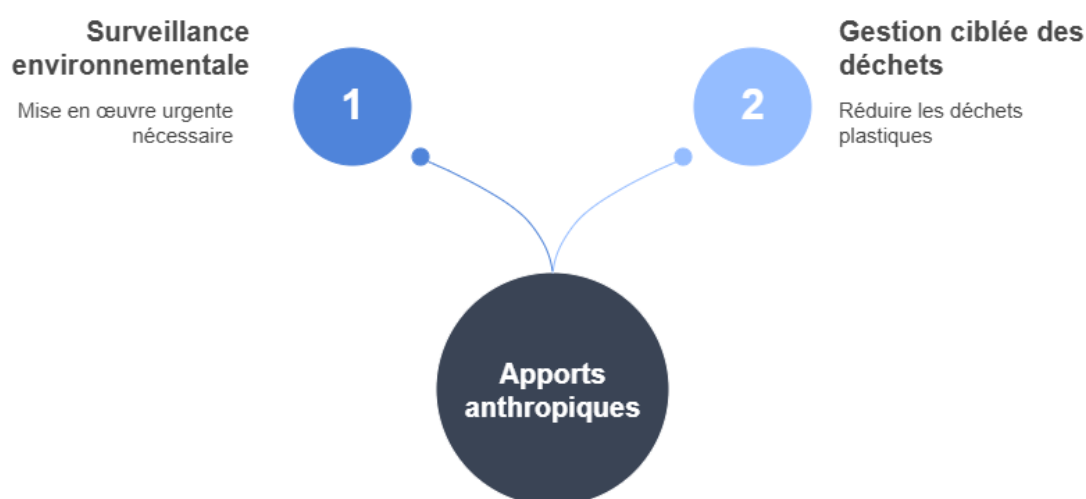


Figure 18: Accumulation de microplastiques sur les côtes algériennes : urgence d'une surveillance et gestion ciblée (Liazid,2025)

8. Impact des microplastiques sur la vie aquatique :

La pollution par les microplastiques est désormais omniprésente dans tous les compartiments aquatiques de la surface océanique aux sédiments profonds. L'évaluation du taux de mortalité des organismes marins due aux déchets plastiques reste incertaine et sujette à de multiples contraintes méthodologiques. Effectivement, la plupart des données disponibles sont issues d'observations réalisées sur des animaux qui se sont échoués et ont été découverts sur les rivages avant leur décomposition. Cependant, une part significative des individus périssant en mer échappe à la détection ce qui conduit à une sous-estimation des données globales. (Kühn et al., 2015)

8.1. Impact écologique des microplastiques :

Selon Zettler et al. (2013), l'étude des microplastiques se concentre essentiellement sur leur aspect microbiologique. Les auteurs soulignent que les débris plastiques à la surface de l'eau offrent un substrat durable pour la colonisation par les microorganismes. Cette surface hydrophobe favorise rapidement la création de biofilms donnant ainsi lieu à un écosystème particulier désigné sous le nom de Plastisphère. On peut retrouver au sein de ces communautés microbiennes des bactéries susceptibles d'être pathogènes, des espèces de microalgues nuisibles et aussi des organismes participant à la dégradation de polluants organiques persistants, ainsi les microplastiques se transforment en habitat, en moyen de propagation d'espèces et en support pour des substances toxiques.

Les auteurs notent également que la colonisation microbienne peut moduler la flottabilité des plastiques pouvant éventuellement les faire couler, ce qui a un impact sur leur répartition verticale et leur sort dans le milieu marin. Cela rend plus difficile leur détection et leur quantification et prolonge leur persistance dans l'écosystème. En fin de compte, la recherche révèle une influence indirecte mais significative des microplastiques sur les dynamiques microbiennes marines, en altérant la composition des communautés en facilitant la diffusion de pathogènes et en perturbant les cycles biogéochimiques de l'océan (Zettler et al., 2013).

Au-delà de leur rôle de support pour les communautés microbiennes, les microplastiques ont un impact considérable sur les habitats benthiques et les écosystèmes côtiers. Les particules de microplastiques se déposent sur le fond de la mer ou s'accumulent dans les zones côtières, elles créent une couche qui bloque les transferts d'oxygène et de nutriments entre les sédiments et l'eau avoisinante, perturbant ainsi la photosynthèse et les fonctions respiratoires des organismes fixés tels que certaines algues, éponges et coraux. Des sédiments anoxiques, appauvris en matière organique, ont été observés sous des zones recouvertes expérimentalement par des films plastiques, Cela entraîne une diminution de la biodiversité des petits organismes qui vivent à l'intérieur des sédiments marins (Kühn et al., 2015 ; Mordecai et al., 2011).

Les organismes filtreurs subissent également des modifications dans leur dynamique alimentaire par la présence de microplastiques. En entravant le flux d'eau et des nutriments, ils diminuent la performance de leur nutrition. Ces perturbations même de faible degré peuvent avoir des conséquences significatives sur les réseaux trophiques. Leur présence sur les plages perturbe la nidification de certaines espèces telles que les tortues, et dans les zones

intertidales, elle provoque des modifications comportementales chez certains invertébrés, y compris un prolongement du temps consacré à la recherche de nourriture et une réduction de la densité des populations locales. Ces modifications reflètent une détérioration générale de la qualité écologique des habitats (Kühn et al., 2015).

8.2. Perturbations physiologiques chez les organismes marins :

L'ingestion de microplastiques de moins de 5 mm par les poissons provoque des dommages à l'épithélium intestinal, une inflammation chronique, un stress oxydatif et des déséquilibres métaboliques. Ces effets ont des répercussions directes sur la croissance et la reproduction qui varient en fonction de la taille des particules et du temps d'exposition (Hirt & Body-Malapel, 2020).

Selon Zhang et al. (2022), chez les crustacés l'exposition aux micropolluants entraîne une stimulation des voies de signalisation entraînant un stress oxydatif accru, une diminution de la croissance larvaire et une baisse de la fertilité.

Les huîtres (*Crassostrea gigas*) exposées aux microplastiques montrent également des troubles endocriniens causés par les additifs plastiques, ce qui perturbe l'équilibre énergétique et réduit la production d'ovocytes (Sussarellu et al., 2016).

En ce qui concerne les végétaux marins tels que les phanérogames marines (comme *Posidonia oceanica*), des recherches récentes indiquent que les microplastiques contenus dans les sédiments diminuent la résistance des racines, altèrent la qualité du substrat et encouragent l'émission de substances nocives. Cela affecte la capacité de ces plantes à fixer les fonds marins, ce qui contribue à l'érosion côtière et à la disparition d'habitats vitaux pour de nombreuses espèces (Goss et al., 2018).

8.3. Bioaccumulation et transfert trophique :

Les microplastiques fragiles spectrales, se déplacent initialement par agrégation passive sur la surface des cellules planctoniques. Les charges opposées des membranes aident leur liaison et préparent ainsi leur intégration dans la chaîne alimentaire primaire. Par la suite, ils sont confondus par le zooplancton (copépodes et cladocères) avec leurs proies naturelles, puis ingérés par filtration ou phagocytose, ce qui permet un transfert discret vers les niveaux supérieurs (figure 19). Finalement, ces particules atteignent les récifs coralliens où après moins de dix jours d'exposition elles entraînent une interruption presque totale de la nutrition

des polypes et l'activation de gènes liés au stress oxydatif et à la chaleur dégradant ainsi la structure du récif (Besseling et al., 2014 ; Cole et al., 2011 ; Corinaldesi et al., 2021).

Une recherche portant sur les anchois du nord (*Engraulis mordax*) de la baie de Monterey a démontré que 58 % des sujets possédaient des microplastiques dans leur système digestif, tandis que 100 % des mures communs (*Uria aalge*) les accumulaient également, mettant en évidence le transfert de polluants vers les prédateurs de niveau supérieur (Michishita et al., 2022).

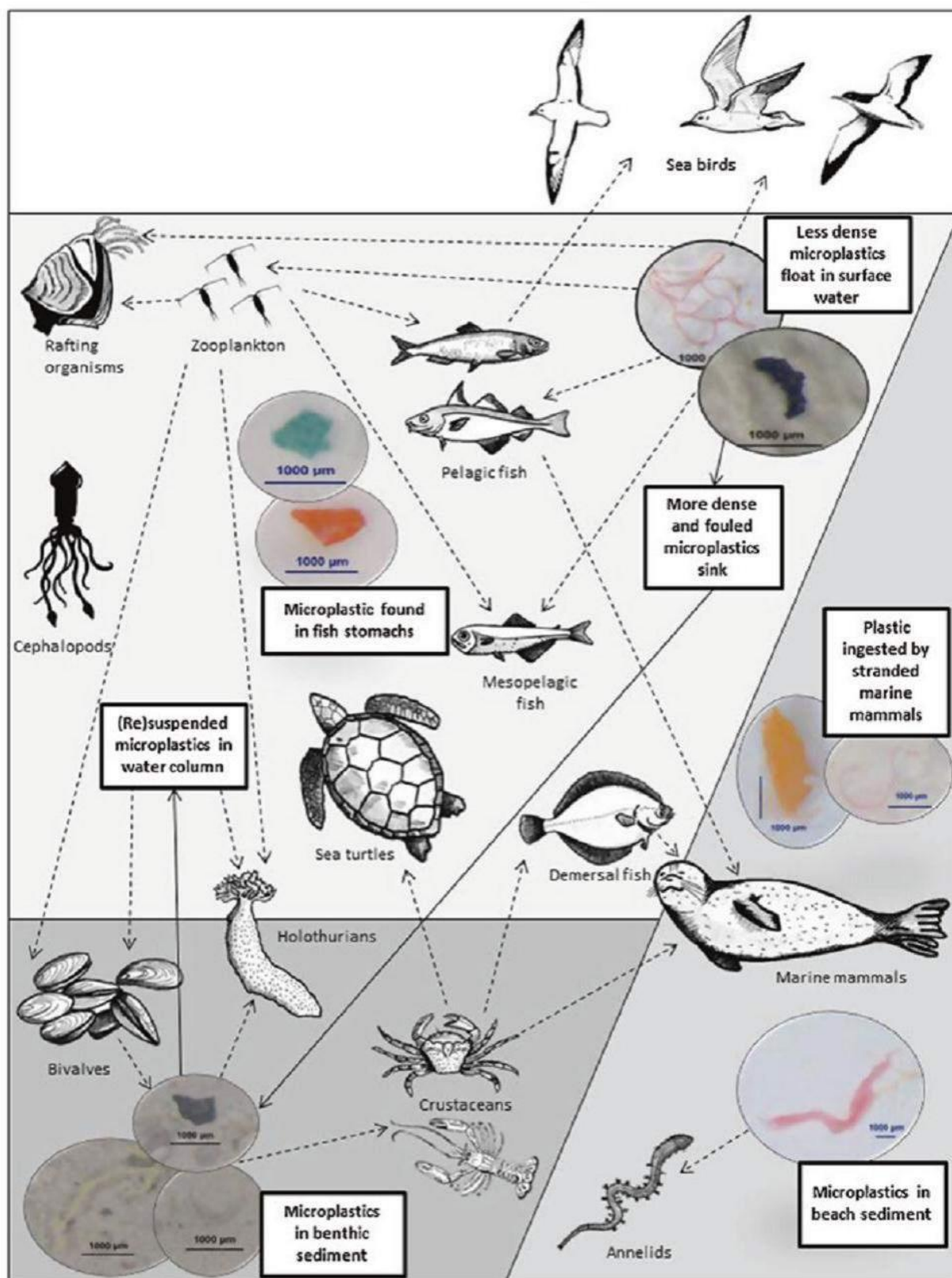


Figure 19: Exposition des espèces animales marines aux MPs (Lusher, 2015)

Chapitre 3 :

Matériel et

méthodes

1.Présentation de la wilaya d'Annaba :

Zone d'étude : Cadre géographique, environnemental et anthropique

1. Localisation et superficie :

La wilaya d'Annaba (code 23) occupe l'extrême nord-est de l'Algérie (figure 20), entre les latitudes 36°50' et 37°10' N et les longitudes 7°20' et 8°40' E. Son chef-lieu, la ville d'Annaba, est situé à 600 km d'Alger et à 100 km de la frontière tunisienne. Le territoire couvre environ 1 440 km², dont 122 km de linéaire côtier méditerranéen, à une altitude moyenne de 5 m au-dessus du niveau de la mer (Direction du Tourisme et de l'Artisanat de la Wilaya d'Annaba, 2025).

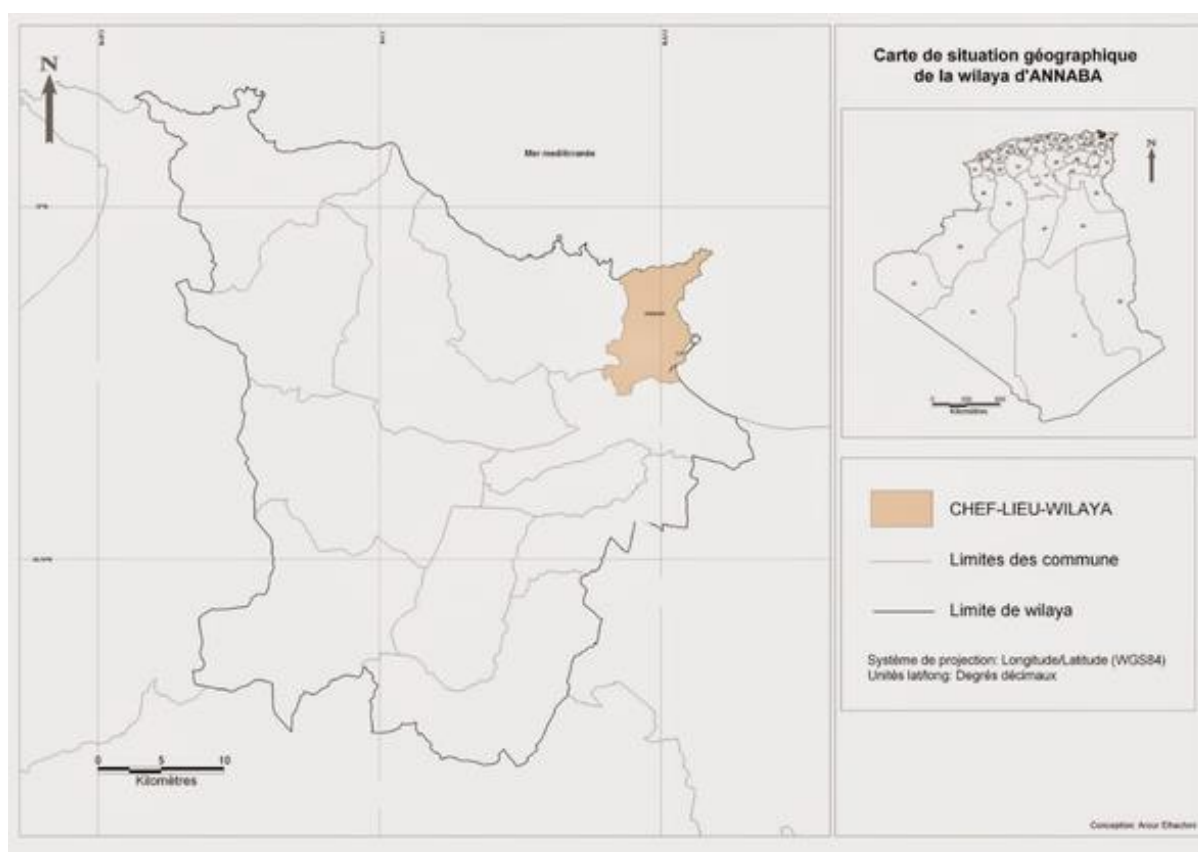


Figure 20: Carte de situation géographique de la wilaya de ANNABA (Elhachmi, 2014, modifié par Liazid, 2025)

1.2. Relief et hydrographie :

Le relief se compose de massifs montagneux (52 % du territoire), de collines et piémonts (26 %) et de plaines alluviales littorales (18 %). L'oued Seybouse, principal cours

d'eau (127,5 km de long), draine un bassin versant de 6 471 km² et joue un rôle majeur dans le transport des sédiments et polluants vers la mer (Seddiki, 2021).

1.3. Climat et dynamique marine :

Le climat de la région d'Annaba est de type méditerranéen chaud en été, présentant une température moyenne annuelle d'environ 17,9 °C calculée sur la période 1991–2020, et des précipitations annuelles moyennes de $\approx$ 656–671 mm (World Bank Climate Change Knowledge Portal, 2020). La température moyenne mensuelle varie entre 11,2 °C (février) et 28,9 °C (juillet), avec un maximum absolu de 48,2 °C enregistré le 24 juillet 2023, attribué à un phénomène de vague de chaleur amplifié par l'effet d'îlot thermique urbain (Sayad et al., 2024).

1.4. Occupation des sols et urbanisation :

Avec près de 720 000 habitant·e·s (densité : 569 hab/km²), la wilaya connaît une urbanisation rapide, notamment sur le front de mer où 85 % du littoral est artificialisé. L'étalement urbain a grignoté 6 000 ha depuis 1960, réduisant les espaces forestiers et humides (ONS, 2015).

1.5. Activités industrielles et pression environnementale :

Les complexes sidérurgiques d'El Hadjar et chimique d'ASMIDAL totalisent une production de 2 Mt d'acier/an et émettent respectivement 45 000 t/an de SO₂ et 12 000 t/an de particules fines. Ces installations, ainsi que le trafic portuaire, majorent la charge polluante de la baie (Abdeldjouad, 2014).

1.6. La pollution plastique sur le littoral de la wilaya d'Annaba :

La conjonction de ruissellement fluvial (28 t/an de déchets solides transportés par l'oued Seybouse), d'apports urbains non collectés (23 % des 850 t/jour de déchets municipaux) et de rejets industriels constitue un vecteur majeur pour la dispersion des microplastiques en zone côtière (Belkhiri, 2019).

Le littoral de la wilaya d'Annaba, long de 122,5 km, est un espace naturel riche mais aussi fortement exposé à la pression humaine. Une activité industrielle intense et un tourisme balnéaire très actif, la région produit une grande quantité de déchets, dont une partie importante est constituée de plastiques. Ces déchets atteignent facilement la mer par les oueds, les vents et les eaux de ruissellement, à l'aide des courants marins, ces déchets se

dispersent et se décomposent en microplastiques invisibles à l'œil nu. Ces minuscules particules s'introduisent dans la chaîne alimentaire : elles sont ingérées par le plancton, qui est ensuite consommé par les poissons, et fin par atteindre le dernier maillon de cette chaîne.

2. Méthode et protocole d'échantillonnage des microplastiques en surface :

Plusieurs points d'échantillonnage ont été sélectionnés sur le littoral d'Annaba. Ces derniers se situent aux points de rejets des différentes industries existantes, ainsi qu'aux principaux exutoires de la ville.

L'échantillonnage a été réalisé à l'aide d'un filet à mailles fines tracté pendant une trentaine de minutes en mer. Chaque échantillon est ensuite mis dans un flacon. Quelques gouttes de formol sont ajoutées pour la conservation jusqu'au traitement au laboratoire (figure 21).

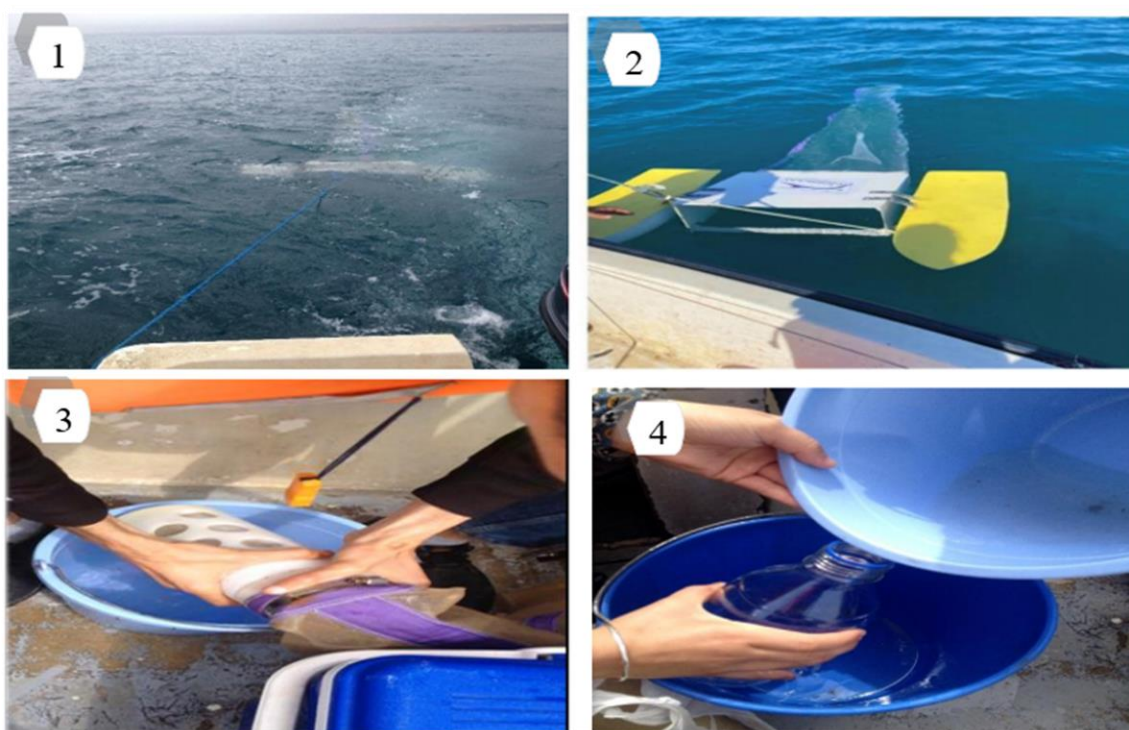


Figure 21: : Mise en œuvre du protocole d'échantillonnage à l'aide d'un filet Manta (Setiti et al ,2022)
: (1) Traction du filet à la surface de l'eau, fixé à l'arrière de l'embarcation pour minimiser les turbulences ; (2) Vue du filet en surface, stabilisé par deux ailes flottantes jaunes ; (3) Transfert du contenu du collecteur après rinçage du filet ; (4) Stockage de l'échantillon dans un flacon pour conservation avant analyse

3. Matériel et méthodes de tri au laboratoire :

Avant toute manipulation en laboratoire, l'utilisation des équipements de protection individuelle est obligatoire afin d'assurer la sécurité de l'opérateur et l'intégrité des échantillons. Les éléments essentiels comprennent la blouse de laboratoire, les gants en nitrile, les lunettes de protection et le masque.

3.2. Protocole de traitement des échantillons :

L'étude repose sur des échantillons déjà collectés dans le cadre d'un travail antérieur sur le littoral d'Annaba. Le protocole expérimental appliqué ici reprend en partie les étapes méthodologiques initiales (filtration, tamisage, décantation), mais recentre l'analyse sur deux volets essentiels qui avaient été mal exécutés : la digestion chimique de la matière organique et le tri visuel des microplastiques.

Tout d'abord, l'échantillon conservé est versé sur un tamis afin d'éliminer le liquide de conservation. Le tamis est ensuite rincé délicatement à l'eau distillée pour récupérer l'ensemble du résidu solide, transféré ensuite dans un bécher propre pour les étapes suivantes.



Figure 22: Préparation pour la digestion chimique (Originale, 2025)

3.2.2. Prétraitement par digestion chimique :

- Dans chaque bécher contenant l'échantillon, on ajoute 20 mL d'une solution de Fe^{2+} et 20 ml de H_2O_2 (le peroxyde d'hydrogène)

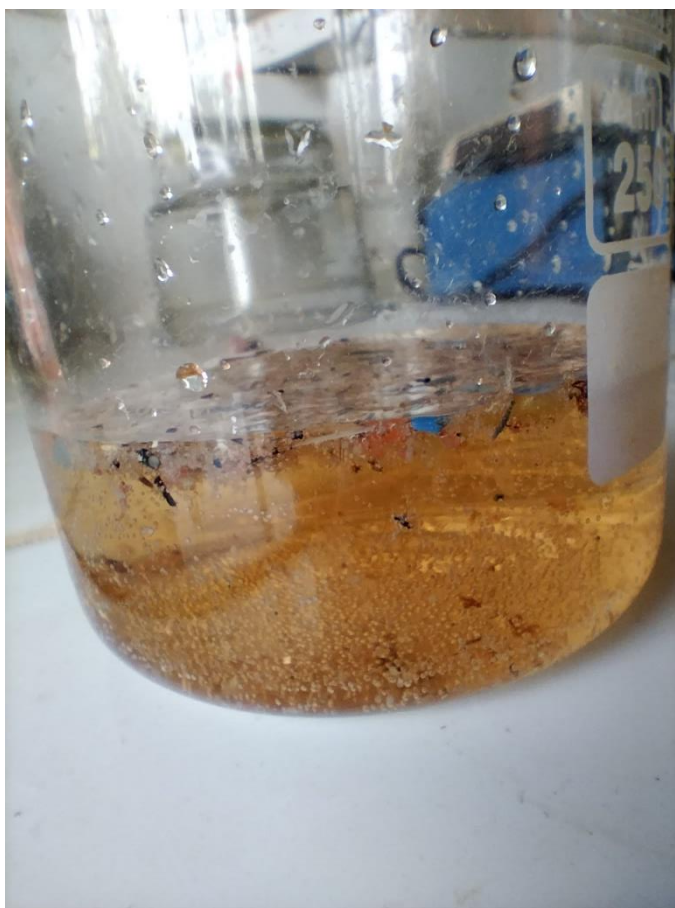


Figure 23: Début de la digestion – repos de 5 minutes (Originale, 2025)

- Le mélange est laissé à température ambiante pendant environ 5 minutes sur la paillasse de laboratoire avant l'étape de chauffage (figure 23). Ce mélange est chauffé à une température ne dépassant pas $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, avec agitation constante (figure 24).

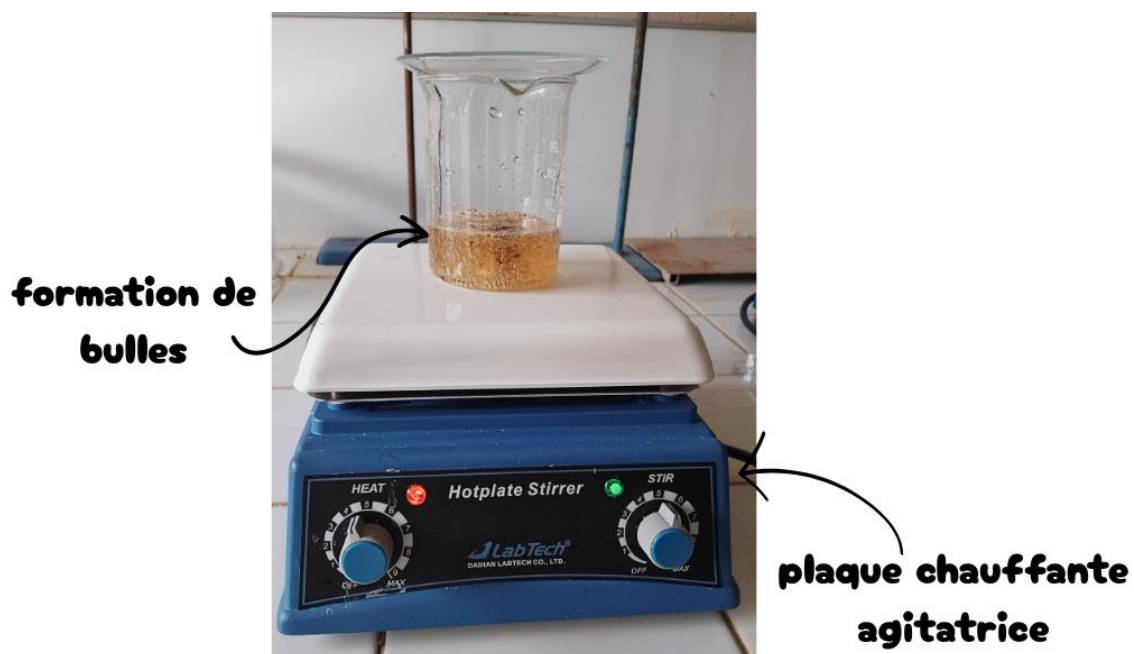


Figure 24: Processus de digestion – apparition des bulles (Originale, 2025)

- On ajoute ensuite du NaCl jusqu'à dissolution complète (figure 25)



Figure 25: A) Fin de la digestion. B) Ajout du sel pour la séparation (Originale, 2025)

3.2.4. Décantation :

- La solution obtenue est versée délicatement dans une ampoule à décanter à l'aide d'un entonnoir pour faciliter le transfert du mélange dans l'ampoule sans pertes ni éclaboussures. Le béccher est rincé soigneusement à l'eau distillée pour récupérer les microplastiques éventuellement adhérents aux parois (figure 26a).
- L'ampoule est recouverte entièrement de papier aluminium pour éviter la photodégradation, puis laissée au repos toute une nuit (figure 26b).
- Durant cette période, les matières plus denses sédimentent tandis que les microplastiques flottants se séparent dans la partie supérieure.

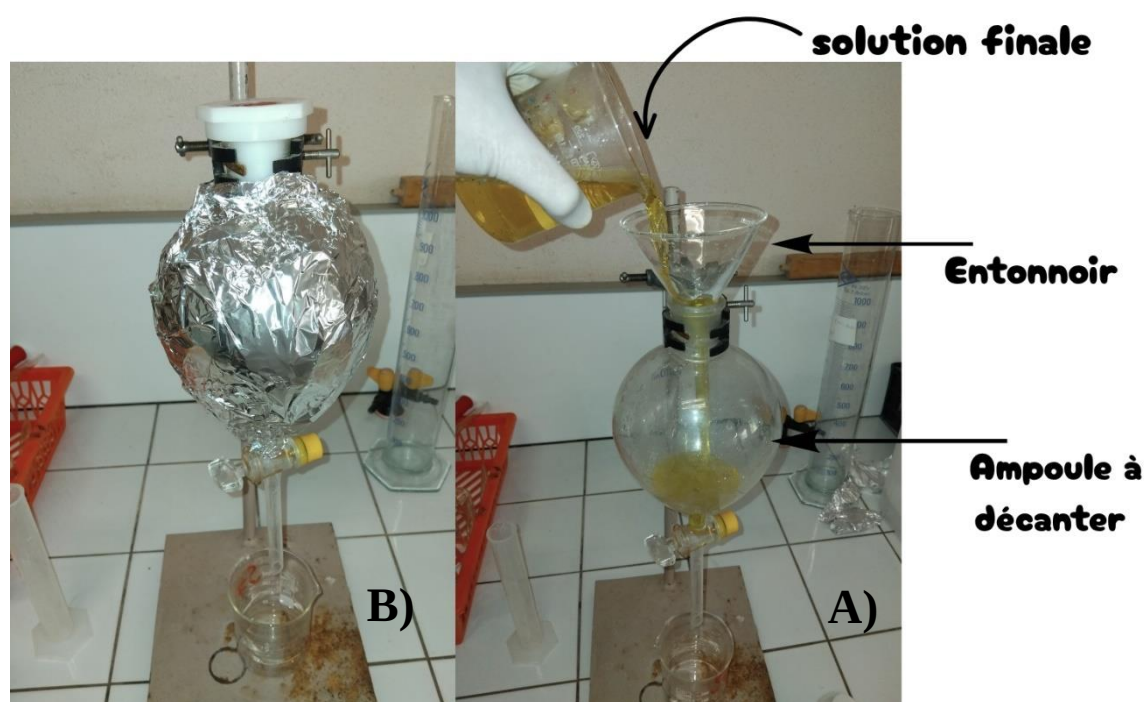


Figure 26: A) Versement dans l'ampoule ; B) Ampoule couverte avec aluminium (Originale, 2025)

3.2.5. Récupération des microplastiques :

- Le lendemain, l'ampoule est ouverte et son contenu est versé doucement à travers un.
- Un rinçage final à l'eau distillée est effectué pour assurer une récupération maximale.
- Le contenu retenu est ensuite transféré dans une boîte de Pétri pour observation.

3.2.6. Observation et identification :

- Les boîtes de Pétri contenant les fractions issues du traitement sont examinées sous une loupe binoculaire avec un grossissement de $\times 2$ ou $\times 4$, en vue de leur identification et classification.
- Les particules présentant des caractéristiques plastiques sont identifiées, comptées et classées selon leur forme.

3.2.7. Conservation des fractions triées :

- Après l'observation et le comptage, les fractions contenant les microplastiques sont transférées dans des flacons de perfusion en verre blanc préalablement nettoyés.
- Chaque flacon est étiqueté avec le numéro d'échantillon, la date de traitement et le lieu de prélèvement.
- Un volume d'éthanol ou de formol est ajouté pour éviter toute prolifération microbienne et pour une conservation prolongée. Les flacons sont ensuite stockés dans un endroit frais, à l'abri de la lumière directe, pour éviter toute altération des microplastiques avant leur analyse finale.

Chapitre 4 :

résultats et

discussion

1. Introduction aux résultats :

Avant d'entamer l'analyse quantitative des microplastiques recueillis dans les différentes stations d'échantillonnage, il est important de rappeler que l'ensemble des échantillons a été soumis à une procédure de digestion chimique standardisée (stations 1',4,5,6,7,8 et 9). Cette étape visait à éliminer la matière organique et à garantir la lisibilité des microplastiques sous loupe binoculaire.

Afin d'illustrer l'évolution de l'état des échantillons au cours du traitement, les photos ci-dessous (figures 27-29) montrent l'aspect des résidus avant et après la digestion chimique. Cette comparaison visuelle permet de constater l'efficacité du protocole utilisé pour éliminer la matière organique et mettre en évidence les microplastiques isolés.

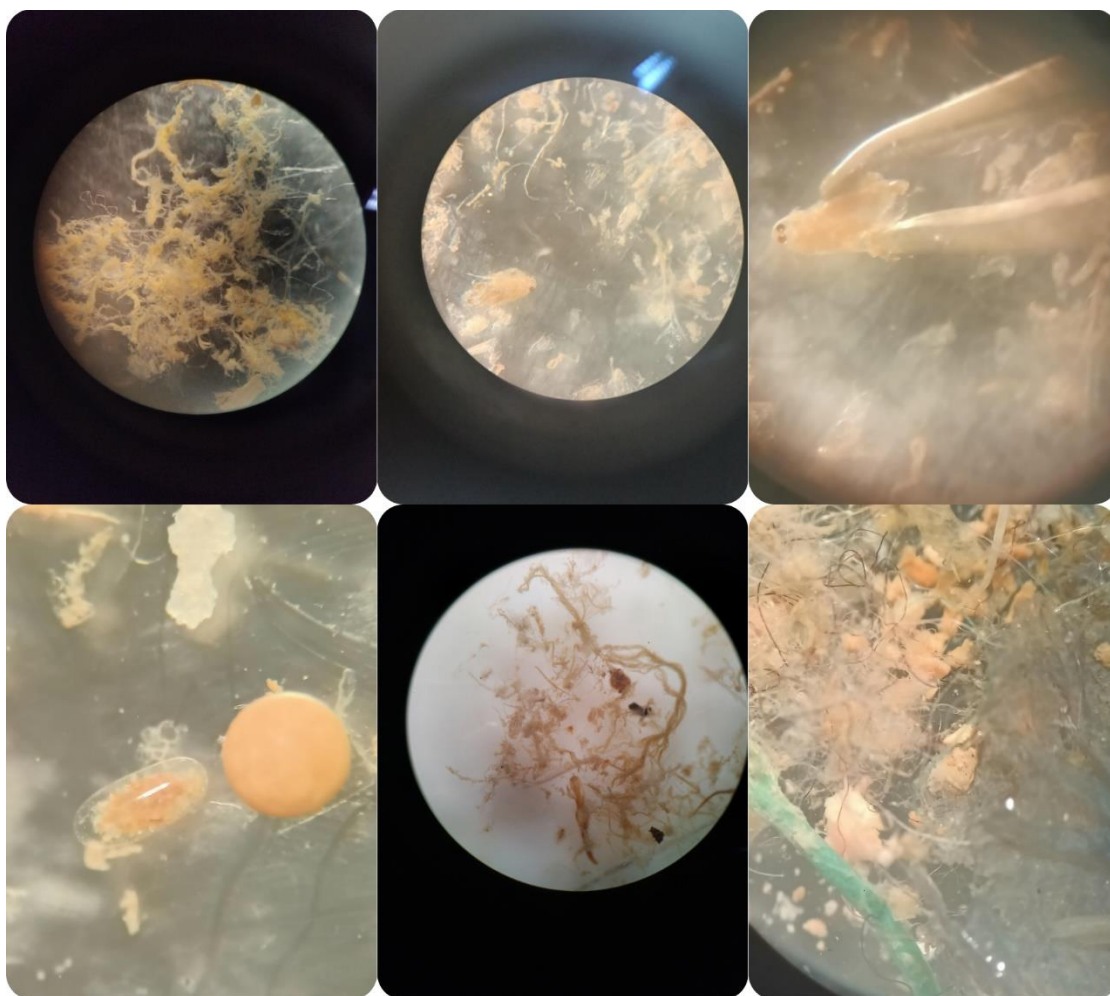


Figure 27: : Échantillons observés sous loupe binoculaire (×2) avant la digestion
(Originale, 2025)

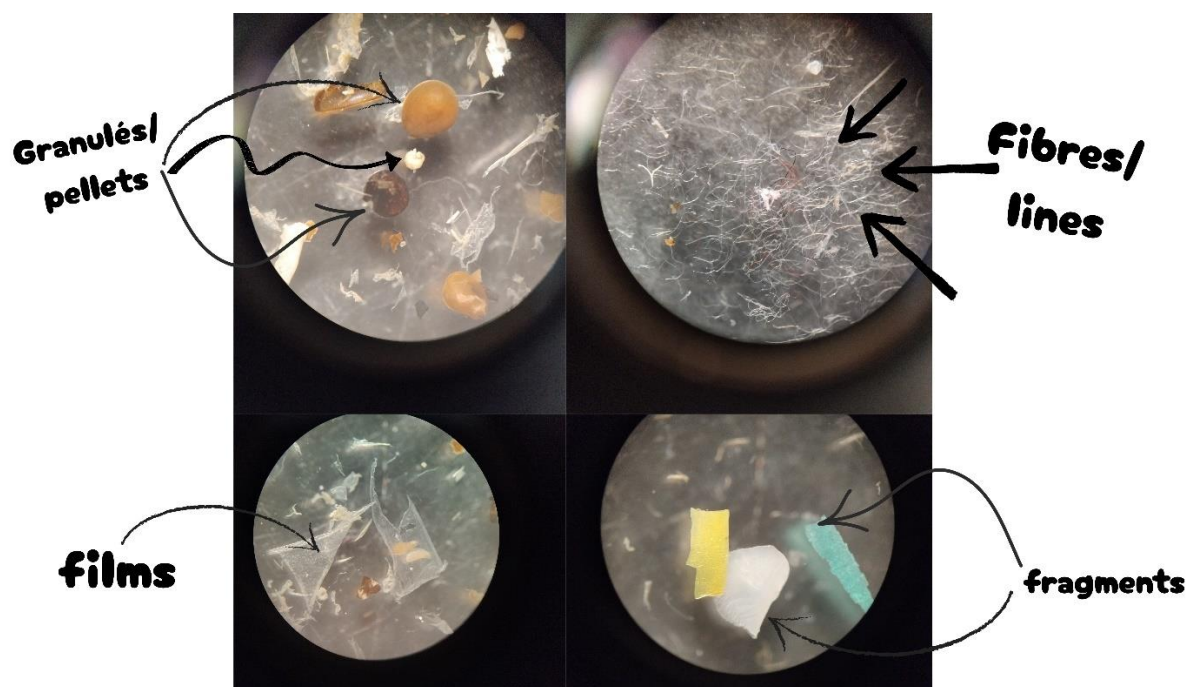


Figure 28: Microplastiques observés après digestion chimique (exemple 1) (Originale, 2025)

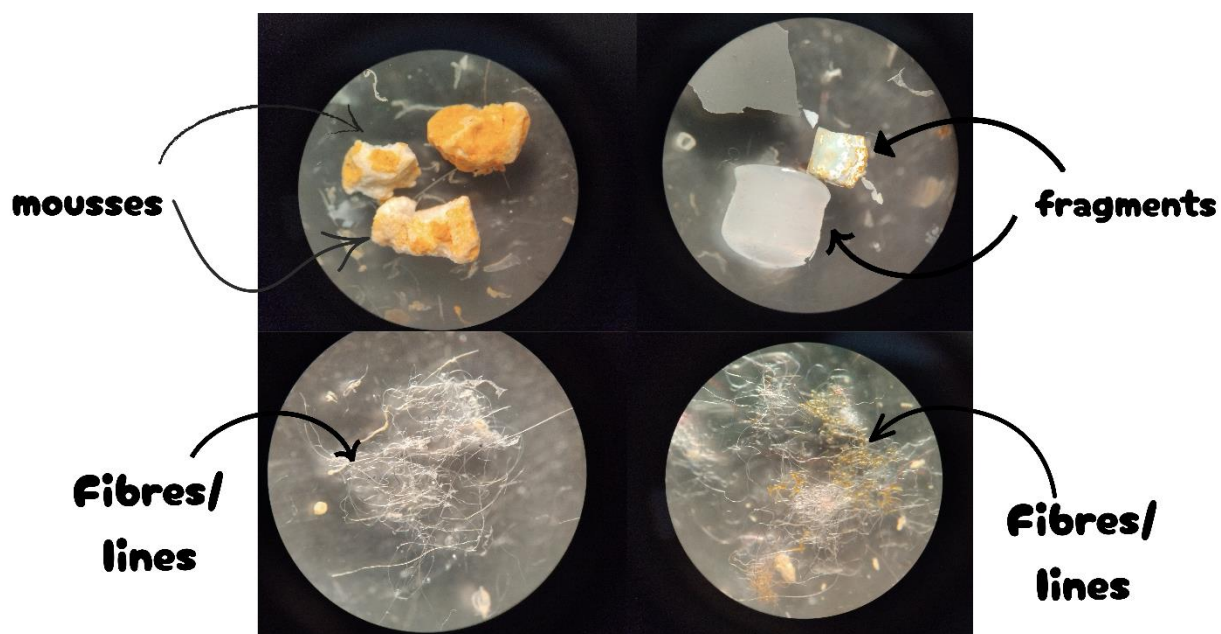


Figure 29: Microplastiques observés après digestion chimique (exemple 2) (Originale, 2025)

Figure 30: Microplastiques observés après digestion chimique (exemple 2) (Originale, 2025)

1.1. Résultats :

Les données présentées dans le tableau ci-dessous correspondent aux résultats corrigés, issus d'un travail de révision approfondie effectué manuellement. Cette réanalyse a permis de rectifier plusieurs erreurs relevées dans l'interprétation initiale, notamment des confusions entre microplastiques et débris naturels, ainsi que des imprécisions dans le classement typologique. La classification a été harmonisée selon les catégories proposées par Eriksen et al. (2013), permettant une distinction plus rigoureuse entre fibres/lines, fragments, films, granulés/pellets, mousses et autres formes atypiques. Les résultats obtenus sont ainsi plus fiables et conformes aux critères méthodologiques définis, offrant une base solide pour l'analyse comparative entre les différentes stations.

**Tableau 3: présentation détaillée de la répartition des types des microplastiques
(originale, 2025)**

Station Type	1'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moyenne	Pourcentage (%)
Fragment	98	62	12	4	6	8	4	4	5	13	21.6	5.19
Fibres/lines	582	724	672	90	189	630	97	376	171	37	356.8	85.71
Films	56	13	12	13	40	47	2	0	2	17	20.2	4.85
Granulés/pellets	41	18	0	0	4	2	3	0	0	4	7.2	1.73
Mousses	56	23	4	2	9	1	0	1	0	0	9.6	2.31
Autres	2	0	0	3	0	4	0	0	0	0	0.9	0.22
Total	835	840	700	112	248	692	106	381	178	71	--	100.00

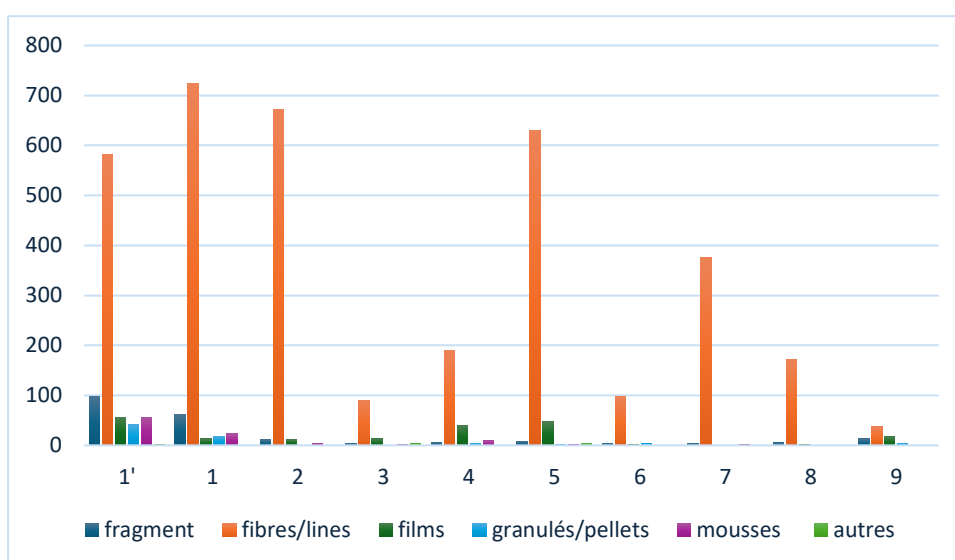


Figure 32: : Histogramme groupé représentant la répartition typologique des microplastiques par station (originale, 2025)

Figure 33: : Histogramme groupé représentant la répartition typologique des microplastiques par station (originale, 2025)

2. Interprétation générale des résultats :

L'analyse quantitative des microplastiques dans les neuf stations échantillonnées montre une variabilité marquée en termes de concentration totale et de types morphologiques (tableau 3) (figure 30). Les fibres dominent largement le spectre des particules identifiées, atteignant des proportions supérieures à 80 % dans plusieurs stations, notamment S1 (86,19 %), S2 (96 %), S5 (91,04 %), S6 (91,51 %) et S7 (98,69 %). Ce résultat confirme les observations d'études antérieures menées sur les littoraux méditerranéens, qui soulignent la prédominance des fibres dans les milieux marins, souvent liées aux rejets domestiques, aux effluents urbains et au lavage des textiles synthétiques (Lusher et al., 2012 ; Browne et al., 2011 ; Carr et al., 2016).

La station S1' (embouchure de l'oued Seybouse) montre un total élevé de particules (835), avec environ 70% qui sont des fibres. On note également une part considérable de films (6,71 %) et de mousses (6,71 %), sans oublier un pourcentage assez important de granulés plastiques (4,91 %). Cette variété typologique est due au caractère urbain et industriel du bassin versant du Seybouse, connu pour transporter diverses sortes de déchets solides et liquides vers la mer (Belkhiri & Bey, 2019).

La plage de Sidi Salem (stations S1 à S3), exposée à une forte fréquentation touristique, montre également une densité élevée, en particulier à S1 et S2, avec respectivement 840 et 700 particules. La forte dominance des fibres dans ces deux stations peut être attribuée aux activités anthropiques telles que les lessives, les eaux de ruissellement urbain, et les rejets d'égouts. Cependant, la station S3 affiche un total bien plus faible (112 particules), bien que les fibres y restent majoritaires (80,36 %). Ce contraste pourrait s'expliquer par des facteurs hydrodynamiques locaux ou des différences dans les conditions météorologiques au moment de l'échantillonnage.

Les stations de la baie d'Annaba (S4 à S9) présentent une distribution plus hétérogène. Certaines, comme S4 (248 particules) et S5 (692 particules), révèlent des charges importantes, tandis que S6 (106 particules), S8 (178 particules) et surtout S9 (71 particules) affichent les totaux les plus faibles. Ce gradient semble lié à l'éloignement relatif de certaines stations par rapport aux sources directes de pollution, mais aussi à des phénomènes locaux de rétention ou de dispersion des particules, influencés par les courants, la navigation, la bathymétrie ou encore les vents côtiers (Reisser et al., 2015 ; Cózar et al., 2014).

À S9, on note une exception où les fibres ne constituent que 52,11 % des particules, alors que la proportion de fragments (18,31 %) et de films (23,94 %) est nettement supérieure par rapport aux autres stations. Ce profil unique indique une source de pollution plastique spécifique (abrasion du plastique dur, emballages), ou un effet de séparation hydrodynamique qui favorise la concentration locale de particules denses ou rigides.

Enfin, la présence, bien que marginale, de granulés plastiques (pellets) dans plusieurs stations (S1', S1, S4, S5, S6, S9) indique la contribution possible de l'industrie plastique ou d'activités portuaires, tandis que les mousses, détectées principalement à S1', S1 et S4, pourraient provenir d'emballages alimentaires ou de matériaux isolants.

Ces observations illustrent la variété des origines de microplastiques sur le littoral de la wilaya d'Annaba, tout en soulignant également l'impact des facteurs locaux (hydrologie, topographie, activités côtières) sur leur répartition spatiale. Ils soulignent l'importance d'associer les études morphologiques aux informations environnementales afin de comprendre plus précisément les processus de transport et d'accumulation.

3. Comparaison des données :

La classification morphologique des particules a néanmoins été ajustée afin d'assurer une meilleure cohérence avec les objectifs analytiques de l'étude. Ainsi, les catégories « fil » et « fibre » ont été fusionnées sous l'intitulé unifié « fibres/lines », tandis que les « microbilles » ont été intégrées à la classe des « granulés/pellets », en raison de leur morphologie sphérique comparable (tableau 4). Ces ajustements permettent une lecture plus harmonisée des données et facilitent la comparaison typologique entre les stations et les périodes.

Tableau 4: Présentation de la répartition des types de microplastiques (données de 2024, version initiale non corrigée)

Station Type	1'	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fragment	109	43	23	6	10	10	12	15	1	7
Fibres/lines	273	658	366	33	97	52	76	141	122	139
Films	105	50	9	0	9	2	1	4	0	13
Granulés/pellets	98	27	3	5	10	17	2	0	0	0
Mousses	142	0	3	0	2	0	6	79	10	46
Autres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	727	778	404	44	128	81	97	239	133	205

3.1. Analyse par type de microplastique :

3.1.1. Fibres/lines :

La catégorie des fibres/lines représente, dans les deux séries de résultats, le type de particules le plus abondant. Toutefois, la comparaison révèle des écarts très significatifs dans plusieurs stations. Par exemple, à la station S1, le nombre est passé de 658 en 2024 à 724 en

2025 (tableau 3), soit une augmentation de +66 particules. À l'inverse, à la station S9, les fibres/lines chutent fortement de 139 à 37, ce qui reflète une baisse de plus de 73%.

Ces différences peuvent être dues à une meilleure séparation des fibres dans les échantillons, souvent difficiles à distinguer lors du tri initial à cause de leur finesse, de leur couleur proche de la matière organique, ou encore d'un enchevêtrement empêchant un comptage précis. La correction rigoureuse a permis une distinction plus nette des fibres véritablement plastiques par rapport aux débris naturels.

3.1.2. Fragments :

Les fragments ont connu également une évolution sensible. À la station 1, ils sont passés de 43 à 62, tandis qu'à la station 5, le nombre a légèrement baissé de 10 à 8. Dans certaines stations comme S2, le chiffre a chuté de 23 à 12, ce qui peut être attribué à une meilleure application du critère de dureté ou de forme irrégulière, essentiel pour différencier les fragments plastiques de débris minéraux ou végétaux.

Cela indique que le premier comptage surestimait certains éléments par confusion avec des matières non plastiques, probablement dues à des erreurs de manipulation ou à une digestion incomplète des substrats.

3.1.3. Films :

Concernant les films plastiques, plusieurs stations montrent une hausse après correction, comme S3 (0 → 13) et S4 (9 → 40), ce qui suggère que la première analyse avait probablement manqué des films fins ou transparents, difficilement visibles sans éclairage adapté. La rigueur appliquée dans le second tri a permis de mieux repérer les films très fins, souvent confondus avec les membranes biologiques ou les fragments d'algues.

3.1.4. Granulés/pellets (y compris microbilles) :

Après la fusion des microbilles avec les granulés/pellets, on constate une diminution dans plusieurs stations : par exemple, à S1, on passe de 27 (granulés) + 0 (microbilles) = 27 en 2024 à 18 seulement en 2025. Cette baisse considérable indique que plusieurs particules précédemment classées comme granulés ou microbilles n'étaient pas d'origine plastique ou ne correspondaient pas à la définition stricte utilisée dans la méthode corrigée.

Cela souligne l'importance de critères morphologiques et optiques précis, notamment en ce qui concerne la translucidité, la brillance, et la dureté, pour éviter les erreurs d'identification.

3.1.5. Mousses :

Les mousses ont été particulièrement surévaluées dans les anciennes données, notamment à la station S1' (142 particules) alors qu'après correction, ce nombre descend à 56 seulement. Il est probable qu'une grande partie des particules initialement identifiées comme mousses soient en réalité des bulles organiques ou des débris de matières naturelles flottantes.

3.1.6. Autres :

Cette catégorie, absente dans les résultats de 2024, est introduite après correction avec un nombre marginal de particules (2 à S1', 3 à S3, 4 à S5). Elle permet de classer les formes atypiques ou non identifiables selon les catégories standards, ce qui témoigne d'une approche plus rigoureuse et nuancée.

4. Discussion générale :

La présente étude a permis de quantifier et de catégoriser les microplastiques présents dans la couche superficielle des eaux littorales de la wilaya de Annaba. Les moyennes enregistrées sur l'ensemble des stations montrent une prédominance marquée des fibres/lignes avec une moyenne de 356,8 particules/station, suivies par les fragments (21,6 particules/station) et les films (20,2 particules/station). Les granulés/pellets et les mousses ont été détectés en quantités moindres, avec des moyennes respectives de 7,2 et 9,6 particules/station.

Ces résultats s'inscrivent dans la tendance observée à l'échelle internationale, où les fibres sont souvent identifiées comme le type de microplastique le plus abondant dans les écosystèmes marins. Plusieurs études récentes menées dans des zones côtières algériennes ont rapporté une distribution comparable. Dans le golfe d'Annaba, les concentrations atteignent jusqu'à 649 particules/kg, dont 70 % sont des fibres (Tata et al., 2020). Dans le golfe de Bou-Ismaïl (Tipaza), les fibres représentent 32 %, suivies des fragments (27 %), des films (16 %), des mousses (13 %) et des particules (12 %), avec une densité moyenne de $0,86 \pm 0,35$ particules/m³ (Setiti et al., 2021). À Skikda, les niveaux enregistrés sont de 1067 ± 625 particules/m² en surface et de 107 ± 62 particules/kg dans les sédiments (Grini et al., 2022).

Sur la côte ouest, les proportions de microplastiques dans les déchets plastiques collectés atteignent 27,8 % à Sablettes, 23,31 % à Benabdelmalek Ramdane et 2,37 % à Sidi Abdelkader (Taïbi et al., 2021).

Certains chercheurs ont souligné une forte concentration de fragments dans les eaux de surface. Suaria et al. (2016), lors d'une vaste enquête sur 74 stations en Méditerranée centrale, ont en effet exclu les fibres de leur analyse à cause du risque de contamination externe et ont montré que 93,2 % des particules flottantes étaient des fragments, tandis que les mousses (3,1 %), les granulés (2,2 %) et les films (1,6 %) constituaient le reste des microplastiques recensés. Cette répartition contraste avec d'autres études focalisées sur les zones côtières, mais confirme qu'à grande échelle, les fragments dominent nettement les flottants (Suaria et al., 2016).

Dans une méta-analyse couvrant divers environnements côtiers et sédimentaires, Gago et al. (2018) ont identifié les fibres comme le type dominant de microplastiques. Ils rapportent des proportions de fibres de 81,5 % dans l'océan Pacifique Nord, 75 % dans le Pacifique Nord-Est, 95,9 % dans l'Atlantique Nord-Est et 83,2 % dans le système de l'estuaire du Yangtsé (Chine). Ces chiffres soulignent la prépondérance universelle des fibres parmi les microplastiques flottants (Gago et al., 2018).

Des résultats similaires ont été obtenus dans le golfe de Gabès, en Tunisie, où Toumi et al. (2019) ont mesuré une prédominance des fibres à hauteur de 65 %, suivies des fragments (20 %) et des films (10 %), tandis que les granulés (ou pellets) et les mousses étaient quasi absents. Cette configuration confirme la présence récurrente d'un même profil de pollution microplastique dans les environnements côtiers sud-méditerranéens.

Enfin, dans la Méditerranée orientale (mers ionienne, égéenne et levantine), Adamopoulou et al. (2021) ont observé des distributions quelque peu différentes, mais complémentaires. Leurs résultats montrent une forte présence de fragments (50 % à 60 %), suivis de fibres ou filaments (10 % à 23 %), de films plastiques (3 % à 26 %) et de mousses (0 % à 34 %). Ces dernières semblent influencées par la formation des zones d'accumulation en surface et par la dynamique locale des masses d'eau.

La convergence générale de ces observations issues de différentes régions de la Méditerranée confère une solidité supplémentaire à nos propres résultats, notamment quant à la prédominance constante des fibres/filaments. Cette dominance est étroitement liée aux

rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, identifiés comme l'une des principales sources de fibres synthétiques. Par ailleurs, les variations spatiales observées dans notre étude montrent des concentrations maximales dans les zones portuaires et à proximité des embouchures, tandis que des concentrations plus faibles sont relevées dans les secteurs plus ouverts ou soumis à une forte circulation, ce qui est cohérent avec les observations d'Adamopoulou et al. (2021), qui soulignent l'importance des processus hydrodynamiques dans la structuration des accumulations microplastiques en surface. Une étude de couranthologie menée par Gerin et al. (2009) dans le canal de Sicile, à l'aide de bouées dérivantes et de modélisation numérique, a mis en évidence l'existence de gyres semi-permanents et de zones de rétention favorisant l'accumulation de particules flottantes. Ce type de configuration hydrodynamique pourrait expliquer les concentrations élevées observées dans certaines stations de notre étude, notamment celles partiellement enclavées ou situées en marge des grands courants de dérive.

Conclusion

générale

Perspectives et

recommandations

1. Conclusion :

En réévaluant rigoureusement les mêmes échantillons prélevés en 2024, cette étude a permis d'établir un portrait fidèle et actualisé de la contamination microplastique dans la couche superficielle des eaux côtières de la wilaya de Annaba. Les moyennes calculées (356,8 particules/station pour les fibres, 21,6 pour les fragments, 20,2 pour les films, 7,2 pour les granulés/pellets et 9,6 pour les mousses) confirment une prédominance marquée des fibres, en parfaite cohérence avec les observations les plus récentes réalisées en Méditerranée et dans d'autres bassins marins.

La comparaison critique entre les données initiales et celles corrigées a démontré l'importance de l'application stricte des protocoles analytiques : certaines catégories ont été surestimées (mousses, granulés), d'autres sous-estimées (fibres, films), ce qui soulignait la nécessité d'une classification unifiée pour produire des évaluations fiables.

En répondant pleinement aux objectifs – réévaluation de la contamination, correction scientifique des résultats antérieurs, et renforcement de la compréhension de la pollution plastique en zone nord-est algérienne – cette recherche apporte une base solide pour le suivi à long terme et pour la mise en œuvre de mesures de gestion adaptées (contrôle des effluents, sensibilisation, aménagement des zones côtières).

À l'heure où la pollution plastique représente une menace majeure pour la biodiversité et les activités humaines sur le littoral, les connaissances acquises ici offrent un cadre opérationnel : elles permettent non seulement de cibler les sources prioritaires (eaux usées domestiques, activités portuaires, usages agricoles), mais aussi de définir des indicateurs simples (prévalence des fibres par station) pour monitorer l'efficacité des politiques publiques.

En somme, ce travail contribue à combler un vide méthodologique et géographique dans les études algériennes sur les microplastiques, et ouvre la voie à des investigations futures axées sur la dynamique saisonnière, l'impact trophique et l'évaluation des risques écotoxicologiques dans l'écosystème méditerranéen.

Ce travail doit être complété par la caractérisation et l'identification des plastiques les plus dominants dans cette région du littoral Algérien.

2. Perspectives et recommandations :

Face à l'augmentation massive de la contamination par les microplastiques dans les écosystèmes marins, en particulier dans les régions côtières exposées à une forte pression humaine, Il devient indispensable d'identifier des mesures possibles et concrètes pour atténuer ce phénomène. Les impacts écologiques identifiés, comme la bioaccumulation chez les organismes aquatiques, la perturbation des chaînes trophiques, ou encore la dégradation des habitats, justifient pleinement une réflexion orientée vers la prévention à la source, le traitement des rejets, ainsi que la sensibilisation des acteurs concernés.

Les solutions présentées ci-dessous regroupent à la fois des interventions techniques, des alternatives aux matériaux plastiques, et des démarches pédagogiques, dans une perspective de gestion intégrée et pérenne de la pollution plastique.

2.1. Sensibilisation du public et changement de comportement :

La lutte contre la pollution par les microplastiques commence par une prise de conscience collective. La réduction de cette forme de pollution passe notamment par un changement des pratiques de consommation. Les campagnes de sensibilisation visent à limiter l'usage excessif de plastiques à usage unique, à promouvoir le tri sélectif des déchets et à encourager des choix plus durables au quotidien. L'éducation environnementale, dès le jeune âge, joue également un rôle central dans l'adoption de comportements responsables sur le long terme.

Ce type d'action est complémentaire aux solutions techniques, car il agit en amont du problème, en influençant les habitudes et en réduisant la production de déchets plastiques à la source. Dans le contexte algérien, cette approche est particulièrement pertinente, car la consommation de produits plastiques est largement répandue, notamment en raison de leur faible coût et de leur accessibilité. Or, cette consommation s'accompagne souvent d'un manque de sensibilisation aux impacts environnementaux, ce qui renforce la nécessité d'interventions ciblées auprès du public.

2.2. Installation de stations d'épuration au niveau des oueds et des exutoires côtiers :

La mise en place de stations de filtration ou de décantation dans les oueds et les points de rejet direct vers la mer constitue une mesure préventive essentielle pour intercepter les microplastiques avant leur arrivée en milieu marin. Ces installations sont capables de capturer

les particules solides, y compris les microfibres provenant des déchets ménagers ou industriels transportés par les eaux de ruissellement. Cette approche limite considérablement l'apport diffus de plastiques secondaires vers les zones côtières sensibles. Elle est particulièrement appropriée pour les zones urbaines ou semi-urbaines où l'activité anthropique est intense.

2.3. Traitement des eaux industrielles avant leur rejet :

Certaines unités industrielles notamment celles liées au textile, à la plasturgie ou aux cosmétiques sont des acteurs significatifs à la pollution par les microplastiques. Une stratégie indispensable pour diminuer l'entrée de ces particules dans les systèmes hydriques consiste à effectuer un prétraitement de leurs effluents. Selon la nature des effluents, ce processus peut comporter des techniques de traitement chimique pour éliminer les particules en suspension, de filtration membranaire ou d'adsorption sur des matériaux spécifiques. L'objectif est d'éliminer les résidus polymériques à la source, avant qu'ils n'atteignent les stations de traitement urbaines ou les milieux naturels.

2.4. Intégration de filtres à microfibres dans les machines à laver :

Une solution technique de plus en plus adoptée est l'installation de filtres à microfibres dans les machines à laver. Ces filtres permettent de capter les fibres synthétiques libérées par les textiles lors du lavage, une des principales sources de microplastiques domestiques. Selon une étude menée par Napper et al. (2020), ces dispositifs peuvent réduire jusqu'à 90 % des rejets de microfibres dans les eaux usées. Des pays comme la France ont d'ailleurs légiféré en ce sens, rendant obligatoire l'intégration de tels systèmes dans les lave-linge neufs à partir de 2025.

2.5. Remplacement des plastiques conventionnels par des alternatives biodégradables :

L'utilisation de bioplastiques ou de matériaux biodégradables dans les emballages, les ustensiles jetables et certains textiles permet de réduire la production de déchets plastiques persistants. Ces matériaux, tels que le PLA ou le PHB (le PLA, ou acide polylactique, est un bioplastique fabriqué principalement à partir de ressources végétales renouvelables telles que le maïs, la betterave ou la canne à sucre. Il est produit par fermentation du sucre extrait de ces plantes, ce qui permet d'obtenir un polymère biodégradable. Le PHB, ou polyhydroxybutyrate, est un polyester naturel produit par certaines bactéries lorsqu'elles

stockent de l'énergie. Ce bioplastique peut être obtenu à partir de matières organiques variées, y compris des déchets agricoles, et présente également une bonne biodégradabilité. Ces deux matériaux sont des alternatives prometteuses aux plastiques traditionnels à base de pétrole.), peuvent se dégrader plus rapidement dans l'environnement, réduisant ainsi le risque de formation de microplastiques. Toutefois, leur efficacité dépend des conditions de dégradation (température, humidité, activité microbienne) et leur généralisation nécessite une évaluation rigoureuse du cycle de vie (Auras et al., 2004 ; Nampoothiri et al., 2010 ; Radadiya & Pandya, 2024 ; Mandragutti et al., 2024).

2.6. Surveillance environnementale et soutien à la recherche scientifique :

Il est essentiel d'intensifier le suivi environnemental via des campagnes régulières de détection de microplastiques (dans l'eau, les sédiments, les êtres vivants) afin de mieux saisir les origines, la diffusion et les effets de cette pollution. En parallèle, le soutien à la recherche permet de développer des technologies innovantes pour la détection, la filtration et le traitement des microplastiques, notamment à l'échelle nanométrique, encore peu maîtrisée.

2.7. Vers une collecte plus intelligente et citoyenne des déchets plastiques :

Aujourd'hui, je pense qu'on peut aller plus loin que le simple tri à la maison. Imaginez un système où chaque citoyen peut jouer un rôle actif. Par exemple, via une application mobile, on pourrait localiser les bacs de recyclage disponibles dans le quartier, ou même signaler qu'on a des déchets triés prêts à être récupérés chez soi.

Et là, soit une entreprise privée de recyclage passe les chercher, soit des travailleurs partenaires viennent les récupérer et sont rémunérés pour cela. En plus, on pourrait créer des points de rachat pour les plastiques triés : les gens ramènent leurs déchets et reçoivent une compensation. Cela encouragerait le tri à la source, réduirait les dépôts sauvages, et en même temps ça créerait de l'emploi.

Ce système serait simple, participatif, et très adapté au contexte local, car on sait que beaucoup de citoyens veulent participer, mais ils manquent d'outils ou de motivation directe. Ce serait une vraie révolution dans notre manière de gérer les plastiques au quotidien.

Synthèse des solutions proposées :

Les différentes solutions proposées dans ce travail démontrent qu'il est possible d'agir à plusieurs niveaux pour réduire l'impact des microplastiques sur l'environnement marin. Qu'il s'agisse de changements dans les habitudes de consommation et de gestion des déchets, de mesures techniques comme l'amélioration des systèmes de traitement des eaux, ou encore de solutions innovantes telles que le développement de bioplastiques, chaque stratégie a été pensée pour s'adapter à la réalité du terrain. L'accent a également été mis sur l'importance de la sensibilisation du public, la responsabilisation des acteurs économiques, et le rôle clé des politiques publiques dans l'encadrement et l'application des mesures.

Ce bilan met en évidence que la lutte contre la pollution plastique ne peut réussir sans une approche intégrée, fondée sur la coopération entre citoyens, entreprises, chercheurs et institutions. Il apparaît qu'un potentiel d'amélioration considérable existe à travers des actions simples mais efficaces, telles que le tri sélectif, la collecte intelligente, ou encore l'incitation à l'éco-innovation. C'est en mobilisant ces leviers de manière coordonnée que des avancées concrètes pourront être réalisées à court et à long terme.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- Abdeldjouad, S. (2014). Impact de la morphologie du bâtiment sur la dispersion des polluants atmosphériques : Cas d'étude de la ville d'Annaba (Mémoire de Master). Université Mohamed Khider.
- Abdeldjouad, S. (2014). Monographie de la wilaya d'Annaba. Direction de l'Urbanisme et de la Construction, Annaba.
- Adamopoulou, A., Zeri, C., Garaventa, F., Gambardella, C., Ioakeimidis, C., & Pitta, E. (2021). Distribution patterns of floating microplastics in open and coastal waters of the eastern Mediterranean Sea (Ionian, Aegean, and Levantine seas). *Frontiers in Marine Science*, 8, Article 637335.
- Adda Madani, A., Hachemi, M., & Esselma, M. (2018). Litturbanisation : Construire et aménager la ville sur le littoral (La Crique–Mostaganem) (134 p.). Université Abdelhamid Ibn Badis.
- Agence Nationale des Déchets. (2020). Les déchets plastiques en Algérie : Regard croisé sur les plastiques à usage unique (23 p.). AND. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/RapportPlastique.pdf>
- Agence Nationale des Déchets. (2021). Rapport national sur l'état de la gestion des déchets en Algérie (150 p.). AND. <https://and.dz/site/wp-content/uploads/rapport%20DMA2.pdf>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605.
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (Eds.). (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris (NOAA Tech. Memo. NOS-OR&R-30, pp. 1–15). NOAA.
- Assoumani, A., Strub, M.-P., Lardy-Fontan, S., Alasonati, E., & Galgani, F. (2019). Microplastiques dans les eaux de surface continentales (63 p.). AQUAREF.
- Auras, R., Harte, B., & Selke, S. (2004). An overview of polylactides as packaging materials. *Macromolecular Bioscience*, 4(9), 835–864. <https://doi.org/10.1002/mabi.200400043>
- Auta, H., Emenike, C., & Fauziah, S. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>

Références bibliographiques

- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0315>
- Barrere-Tricca, C., Favre, F., Le Ravaléc, M., & Dubloc, M. (2021). Recyclage chimique du plastique : un atout pour une économie circulaire et durable (Rapport technique, IFP Énergies nouvelles). IFPEN. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/386206796_Recyclage_chimique_du_plastique_un_atout_pour_une_economie_circulaire_et_durable
- Belkhiri, D. (2019). Analyse des inondations urbaines à Annaba : cas de janvier 2019 (Mémoire de Master). Université d'Annaba.
- Belkhiri, D., & Bey, O. (2019). Modélisation de la crue de janvier 2019 d'Oued Boudjemaa par logiciel (WMS et HEC-HMS) (Mémoire de Master, 133 p.). Université Badji Mokhtar-Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département Hydraulique.
- Besseling, E., Wang, B., Lürling, M., & Koelmans, A. A. (2014). Nanoplastic affects growth of *Selenastrum obliquus* and reproduction of *Daphnia magna*. *Environmental Science & Technology*, 48(20), 12336–12343. <https://doi.org/10.1021/es5031638>
- Bougherara, H. (2020). Caractérisation des déchets microplastiques sur le littoral de la Wilaya d'Ain Témouchent (Mémoire de Master, 104 p.). Université de Tlemcen.
- Boukhenaf, R., & Bourouaini, I. (2017). Étude de la pollution marine (Mémoire de Master, 51 p.). Université de Jijel.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. C. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Browne, M. A., Galloway, T. S., & Thompson, R. C. (2007). Microplastic—an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(4), 559–561. <https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>
- Burnouf, S., & Mandard, S. (2024, November 28). Pollution plastique : les microdéchets atteignent un niveau record en Méditerranée, au large de la Corse. *Le Monde*. <https://www.lemonde.fr/planete/article/2024/11/28/pollution-plastique-les->

Références bibliographiques

- microdechets-atteignent-un-niveau-record-en-mediterranee-au-large-de-la-corse_6417819_3244.html
- Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science*, 178(4062), 749–750. <https://doi.org/10.1126/science.178.4062.749>
- Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, 91, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Commissariat National du Littoral. (2017). Conférence régionale des parties prenantes de l'Union pour la Méditerranée sur l'économie bleue (29 p.). Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement. Retrieved from <https://medblueconomyplatform.org/wp-content/uploads/2020/08/Omar-Khaber.pdf>
- Corinaldesi, C., Canensi, S., Dell'Anno, A., Tangherlini, M., Di Capua, I., Varrella, S., & Danovaro, R. (2021). Multiple impacts of microplastics can threaten marine habitat-forming species. *Communications Biology*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01822-1>
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, Á. T., Navarro, S., García-De-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-De-Puelles, M. L., & Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239–10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>
- Cózar, A., Sanz-Martín, M., Martí, E., González-Gordillo, J. I., Úbeda, B., Gálvez, J. Á., & Duarte, C. M. (2015). Plastic accumulation in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE*, 10(4), e0121762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>
- De Alencastro, L. F. (2014). Évaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse : Rapport final (Report No. BAFU-EPFL). École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Références bibliographiques

- Direction du Tourisme et de l'Artisanat de la Wilaya d'Annaba. (2025). Présentation générale de la wilaya d'Annaba. Ministère du Tourisme et de l'Artisanat.
- Elhachmi, A. (2014). Découpage administratif de l'Algérie & Monographie : Carte de situation géographique de la wilaya d'Annaba. Retrieved from <https://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/10/cartegeographiqueANNA BA.html>
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77, 177–182.
- Eubeler, J. P., Bernhard, M., & Knepper, T. P. (2009). Environmental biodegradation of synthetic polymers II. Biodegradation of different polymer groups. *TrAC Trends In Analytical Chemistry*, 29(1), 84-100. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2009.09.005>
- Faure, F., & De Alencastro, L. F. (2016). Microplastiques : situation dans les eaux de surface en Suisse. *Aqua & Gas*, 2016(4), 72–77. Retrieved from <https://infoscience.epfl.ch/server/api/core/bitstreams/e9886568-72fd-4704-83f2-fa0d7f04d9d1/content>
- Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58(8), 1225–1228.
- Futura Sciences. (2017). Microplastique : qu'est-ce que c'est ? Retrieved from <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/ocean-microplastique-15886/>
- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A., & Viñas, L. (2017). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.070>
- Galgani, F., Brizault, S., Duflos, G., Pascale, F., Casdaldi, E., Ghiglione, J., Grimaud, R., George, M., Huvet, A., & Lagarde, F. (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques / Pollution of oceans by plastics and microplastics. *Techniques de l'Ingénieur*, 28 p.
- Galgani, F., Bruzard, S., Duflos, G., Fabre, P., Gastaldi, E., Ghiglione, J., Grimaud, R., George, M., Huvet, A., Lagarde, F., Paul-Pont, I., & Ter Halle, A. (2021). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. *Techniques de l'Ingénieur*, 14 p.

Références bibliographiques

- Gaudiaut, T. (2018). Infographie : Le plastique peut mettre 600 ans à se dégrader dans l'océan. Statista Daily Data. Retrieved from <https://fr.statista.com/infographie/15907/biodegradabilite-ocean-objets-quotidiens-plastiques/>
- Gerin, R., Poulain, P., Taupier-Letage, I., Millot, C., Ismail, S. B., & Sammari, C. (2009). Surface circulation in the Eastern Mediterranean using drifters (2005–2007). *Ocean Science*, 5(4), 559–574. <https://doi.org/10.5194/os-5-559-2009>
- GESAMP. (2010). Proceedings of the GESAMP international workshop on microplastic particles as vecteur in transporting persistent, bioaccumulating and toxic substance in the oceans (Reports and Studies No. 82, 68 p.). UNESCO-IOC.
- GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment (Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.). Retrieved from <http://www.gesamp.org/site/assets/files/1720/rs90e.pdf>
- Goeury, D. (2014). La pollution marine. In R. Woessner (Ed.), *Mers et océans* (pp. 1–15). Paris. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/280815952_LA_POLLUTION_MARINE
- Goss, H., Jaskiel, J., & Rotjan, R. (2018). *Thalassia testudinum* as a potential vector for incorporating microplastics into benthic marine food webs. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 1085–1089.
- Gregory, M. R. (1996). Plastic ‘scrubbers’ in hand cleansers: A further (and minor) source for marine pollution identified. *Marine Pollution Bulletin*, 32(12), 867–871. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(96\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(96)00047-1)
- Grini, H., Metallaoui, S., González-Fernández, D., & Bensouilah, M. (2022). First evidence of plastic pollution in beach sediments of the Skikda coast (northeast of Algeria). *Marine Pollution Bulletin*, 181, Article 113831.
- Health and Environment Alliance. (2020). *Plastique : inverser la tendance : les produits chimiques en plastique qui mettent notre santé en danger [Report]*. Retrieved from https://www.reseau-environnement-sante.fr/wp-content/uploads/2020/11/HEAL_Plastics_report_v5_FR.pdf

Références bibliographiques

- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075.
- Hirt, N., & Body-Malapel, M. (2020). Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: A review of the literature. *Particle and Fibre Toxicology*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00351-2>
- IFPEN. (2025). Tout savoir sur le recyclage du plastique. Retrieved from <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/climat-environnement-et-economie-circulaire/tout-savoir-recyclage-du-plastique>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jobimpact. (2025). La Pollution du Plastique dans les Océans en 10 Chiffres [Web page]. Retrieved from <https://jobimpact.fr/pollution-plastique-oceans-chiffres>
- Kane, I. A., Clare, M. A., Miramontes, E., Wogelius, R. A., Rothwell, J. J., Garreau, P., & Pohl, F. (2020). Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. *Science*, 368(6495), 1140–1145. <https://doi.org/10.1126/science.aba5899>
- Kühn, S., Rebolledo, E. L. B., & van Franeker, J. A. (2015). Deleterious effects of litter on marine life. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 75–116). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-16510-3_4
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T. G., & Brinch, A. (2015). Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Danish Environmental Protection Agency.
- Liu, C., Geyer, R., & Hu, S. (2021). 100 years of plastic: Using the past to guide the future. arXiv preprint arXiv:2411.13618. <https://arxiv.org/pdf/2411.13618>
- Liu, X., Lin, H., Xu, S., Yan, Y., Yu, R., & Hu, G. (2022). Occurrence, distribution, and characteristics of microplastics in agricultural soil around a solid waste treatment center in southeast China. *Journal Of Soils And Sediments*, 23(2), 936-946. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03341-6>

Références bibliographiques

- Liubartseva, S., Coppini, G., Lecci, R., & Clementi, E. (2018). Tracking plastics in the Mediterranean: 2D Lagrangian model. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.019>
- Lusher, A. (2015). Microplastics in the marine environment: Distribution, interactions and effects. In Springer eBooks (pp. 245–307).
- Lusher, A., McHugh, M., & Thompson, R. C. (2012). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1–2), 94–99.
- Mandragutti, T., Jarso, T. S., Godi, S., Begum, S. S., & Beulah, K. (2024). Physicochemical characterization of polyhydroxybutyrate (PHB) produced by the rare halophile *Brachybacterium paraconglomeratum* MTCC 13074. *Microbial Cell Factories*, 23, Article 59. <https://microbialcellfactories.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12934-024-02324-1>
- Maps of India. (2023). Where is Annaba located in Algeria? Maps of India. <https://www.mapsofindia.com/world-map/algeria/annaba/location-map.html>
- Michishita, S., Gible, C., Tubbs, C., Felton, R., Gjeltma, J., Lang, J., & Finkelstein, M. (2022). Microplastic in northern anchovies (*Engraulis mordax*) and common murrelets (*Uria lomvia*) from the Monterey Bay, California, USA: Insights into prevalence, composition, and estrogenic activity. *Environmental Pollution*, 316, 120548.
- Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables. (2024). Une nouvelle étude porte la longueur du littoral algérien à 2 148 km. Algérie Presse Service. <https://www.aps.dz/sante-science-technologie/157493-une-nouvelle-etude-porte-la-longueur-du-littoral-algerien-a-2-148-km>
- Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Locales. (2024). Présentation de la wilaya d'Annaba.
- Mordecai, G., Tyler, P. A., Masson, D. G., & Huvenne, V. A. (2011). Litter in submarine canyons off the west coast of Portugal. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(23–24), 2489–2496. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967064511002153?via%3Dihub>

Références bibliographiques

- Nampoothiri, K. M., Nair, N. R., & John, R. P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493–8501. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.098>
- Napper, I. E., Barrett, A. C., & Thompson, R. C. (2020). The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing. *Science of the Total Environment*, 738, Article 140412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140412>
- National Research Council (U.S.). Study Panel on Assessing Potential Ocean Pollutants. (1975). Assessing potential ocean pollutants: A report of the Study Panel on Assessing Potential Ocean Pollutants to the Ocean Affairs Board, Commission on Natural Resources, National Research Council. National Academy of Sciences. https://openlibrary.org/books/OL5061594M/Assessing_potential_ocean_pollutants
- Office National des Statistiques (ONS). (2009). Annuaire des statistiques du commerce extérieur de l'Algérie 2006–2008. Alger : ONS. <https://www.ons.dz/IMG/pdf/AQC2006-2008.pdf>
- Office National des Statistiques (ONS). (2015). Données démographiques.
- Organisation maritime internationale (OMI). (2023). Rapport sur la pollution marine. <https://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx>
- Plastics Europe. (2019). Plastics – The Facts 2019. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2019/>
- Plastics Europe. (2020). Plastics – The Facts 2020. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>
- Radadiya, K., & Pandya, T. (2024). A comprehensive review on production of polyhydroxybutyrate (PHB). *Journal of Advanced Microbiology Research*, 5(1), 136–142. <https://www.microbiojournal.com/article/142/5-1-22-572.pdf>
- Radadiya, K., & Pandya, T. (2024). A comprehensive review on production of polyhydroxybutyrate (PHB). *Journal of Advanced Microbiology Research*, 5(1), 136–142. <https://www.microbiojournal.com/article/142/5-1-22-572.pdf>
- Reisser, J., Slat, B., Noble, K., Du Plessis, K., Epp, M., Proietti, M., De Sonnevile, J., Becker, T., & Pattiaratchi, C. (2015). The vertical distribution of buoyant plastics at

Références bibliographiques

- sea: An observational study in the North Atlantic Gyre. *Biogeosciences*, 12(4), 1249–1256. <https://doi.org/10.5194/bg-12-1249-2015>
- Rochman, C. M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., De Frond, H., Kolomijeca, A., Erdle, L., Grbic, J., Bayoumi, M., Borrelle, S. B., Wu, T., Santoro, S., Werbowski, L. M., & Hung, C. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 703–711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Rouane HACENE O. (2007). Biosurveillance de la pollution marine au niveau de la côte occidentale algérienne par l'étude de la contamination du merlu méditerranéen (*Merluccius merluccius* L., 1758) par les polluants organochlorés (HCB, DDT, DDD, DDE, Lindane) (Mémoire de Magister, 182 p.). Université d'Oran Es-Sénia, Algérie.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1999–2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>
- Sayad, B., Osra, O. A., Binyaseen, A. M., & Qattan, W. S. (2024). Analyzing urban climatic shifts in Annaba City: Decadal trends, seasonal variability and extreme weather events. *Atmosphere*, 15(5), 529.
- Seddiki, M. (2021). Cartographie du bilan hydrique dans le bassin versant d'Oued Seybouse (Mémoire de Master). Université de Ouargla.
- Setiti, S., Hamdi, B., Chernai, S., Houma Bachari, F., Bachouche, S., Ghezali, Y., & Suaria, G. (2022). Seasonal variation of microplastics density in Algerian surface waters (South-Western Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science*, 22(2), 317–326.
- Suaria, G., Avio, C. G., Mineo, A., Lattin, G. L., Magaldi, M. G., Belmonte, G., Moore, C. J., Regoli, F., & Aliani, S. (2016). The Mediterranean Plastic Soup: Synthetic polymers in Mediterranean surface waters. *Scientific Reports*, 6, Article 37551. <https://doi.org/10.1038/srep37551>
- Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M. E. J., Goïc, N. L., Quillien, V., Mingant, C., Epelboin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbens, J., Paul-Pont, I., Soudant, P., & Huvet, A. (2016). Oyster reproduction is affected by

Références bibliographiques

- exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), 2430–2435.
- Taïbi, N.-E., Bensalah, F., & Mammeri, Y. (2021). Microplastics in beach sediments along the western Algerian coast: Abundance, composition, and potential sources. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112168.
- Taïbi, N.-E., Bentaallah, M. E. A., Alomar, C., Compa, M., & Deudero, S. (2021). Micro- and macro-plastics in beach sediment of the Algerian western coast: First data on distribution, characterization, and source. *Marine Pollution Bulletin*, 165, Article 112168.
- Tata, T., Belabed, B. E., Bououdina, M., & Bellucci, S. (2020). Occurrence and characterization of surface sediment microplastics and litter from North African coasts of the Mediterranean Sea: Preliminary research and first evidence. *Science of the Total Environment*, 713, 136664.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- Toumi, H., Abidli, S., & Bejaoui, M. (2019). Microplastics in freshwater environment: The first evaluation in sediments from seven water streams surrounding the lagoon of Bizerte (Northern Tunisia). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 14673–14682.
- UNEP/MAP. (2015). *Marine Litter in the Mediterranean: Sources, Impacts, and Policy Responses*. United Nations Environment Programme. Retrieved from <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7098/MarineLitterFre.pdf>
- UP' Magazine. (2024). La Méditerranée face au fléau des microplastiques : « Plus de 2 millions de particules plastiques par km² ». UP' Magazine. <https://up-magazine.info/planete/pollutions/130580-la-mediterranee-face-au-fleau-des-microplastiques-plus-de-2-millions-de-particules-plastiques-par-km%C2%B2/>
- Viršek, M. K., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. *Journal of Visualized Experiments*, (118), e55161.

Références bibliographiques

- World Bank Climate Change Knowledge Portal. (2020). Current climatology (1991–2020) – Annaba, Algeria. Retrieved from <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/algeria>
- World Economic Forum. (2016). The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf.
- WWF. (2016). Stop the Flood of Plastic: How Mediterranean Countries Can Save Their Sea. Retrieved from https://wwf.panda.org/wwf_news/?348133/Nos-destinations-de-vacances-sont-remplies-de-plastique-rapport-plastiques-Mediterranee
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>
- Zhang, S., Wu, H., & Hou, J. (2023). Progress on the effects of microplastics on aquatic crustaceans: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5523. <https://doi.org/10.3390/ijms24065523>

ملخص:

تعتمد هذه الدراسة على إعادة تحليل عينات تم جمعها سنة 2024 في إطار عمل سابق، بهدف إعادة تقييم تلوث الطبقة السطحية من المياه الساحلية لولاية عنابة بالجزيئات البلاستيكية الدقيقة. وقد تمت معالجة هذه العينات من جديد سنة 2025 وفق بروتوكول صارم، من أجل تصحيح عدة أخطاء منهجية تم تحديدها مسبقاً. تم تصنيف الجزيئات المكتشفة إلى خمس فئات: الألياف/الخيوط، الشظايا، الأغشية، الحبيبات، والرغوات. أظهرت المعدلات المحسوبة عبر عشر محطات سيادة واضحة لفئة الألياف/الخيوط (356,8 جزيئة في كل محطة)، تليها الشظايا (21,6)، الأغشية (20,2)، الرغوات (9,6)، ثم الحبيبات (7,2). سُجِّلَت أعلى التراكيز في المحطات الواقعة بالموانئ ومصبات الأودية، مما يدل على مصادر بشرية مباشرة. وثُمِّكَنَ هذه النتائج المصححة من فهم أفضل لمستوى التلوث بالبلاستيك الدقيق (الميكروبلستيك) على الساحل الشمالي الشرقي الجزائري، كما تشكل قاعدة موثوقة لرصد طويل المدى واقتراح تدابير تسيير فعالة.

الكلمات المفتاحية: الميكروبلستيك، النفايات البلاستيكية، التنوع البيولوجي المائي، الطبقة السطحية من المياه، الساحل الشرقي الجزائري، عنابة.

Abstract:

This study is based on a reanalysis of samples collected in 2024 as part of a previous research project, with the aim of reassessing microplastic contamination in the surface layer of coastal waters in the wilaya of Annaba. These samples were reprocessed and analyzed in 2025 using a rigorous protocol to correct several identified methodological errors.

The detected particles were classified into five categories: fibres/lines, fragments, films, pellets/granules, and foams. The average values calculated across ten sampling stations revealed a clear predominance of fibres/lines (356.8 particles per station), followed by fragments (21.6), films (20.2), foams (9.6), and pellets/granules (7.2).

The highest concentrations were recorded in port and estuary stations, indicating direct anthropogenic inputs. These corrected results enhance the understanding of microplastic pollution along the northeastern Algerian coastline and provide a reliable basis for long-term monitoring and the development of targeted management strategies.

Keywords: Microplastics, plastic waste, aquatic biodiversity, surface water layer, Algerian east coast, Annaba.

Résumé :

Cette étude repose sur une reprise analytique d'échantillons collectés en 2024 dans le cadre d'un travail antérieur, afin de réévaluer la contamination microplastique dans la couche superficielle des eaux côtières de la wilaya d'Annaba. En 2025, ces échantillons ont été retraités et analysés selon un protocole rigoureux, visant à corriger plusieurs erreurs méthodologiques identifiées.

Les particules détectées ont été classées en cinq catégories : fibres/lines, fragments, films, granulés/pellets et mousses. Les moyennes calculées sur dix stations montrent une nette prédominance des fibres/lines (356,8 particules par station), suivies des fragments (21,6), des films (20,2), des mousses (9,6) et des granulés/pellets (7,2).

Les stations portuaires et d'embouchure présentaient les concentrations les plus élevées, suggérant des apports anthropiques directs. Ces résultats corrigés permettent une meilleure compréhension de la pollution microplastique sur le littoral nord-est algérien, et offrent une base fiable pour le suivi environnemental et l'élaboration de mesures de gestion ciblées.

Mots clés : Microplastiques, déchets plastiques, biodiversité aquatique, couche superficielle de l'eau, littoral Est algérien, Annaba