

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
لمدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : ingénierie de l'environnement marin et côtier

Thème :

Contribution à l'évaluation des microplastiques, métaux lourds et radioéléments dans les sédiments de plage le long du littoral algérois

Présenté par :

- KOUIDER Hiba
- DERARDJA Houria

Soutenu le 09/07/2025, devant le jury composé de :

Mr KADA M	MAA	ENSMAL	Président
Dr.TAIEB ERRAHMANI D	Chercheur principal	CRNA	Promoteur
Dr .INAL A	MRA	CNRDPA	Co-Promoteur
Mr.ZERROUKI M	MAB	ENSSMAL	Examineur

Année universitaire : 2024- 2025



# **Dédicaces**

Je tiens à dédier ce travail à

## ***A mes parents :Nadia et Djamel***

*Aucune parole ne saurait exprimer toute la reconnaissance que je vous dois. Vous êtes les piliers de ma vie, les sources de mon courage. Merci pour vos sacrifices, vos prières silencieuses, votre patience infinie, et surtout pour l'amour pur et sincère que vous me portez depuis toujours.*

*C'est grâce à vous que je suis là aujourd'hui, à franchir une étape importante de mon parcours. Que ce travail soit le reflet de votre éducation, de vos valeurs, et un modeste témoignage de mon amour et de mon admiration qu'Allah vous protège pour moi .*

## ***A mes chers sœurs Imen , Bessma , Meriem***

*Merci pour votre présence rassurante, vos conseils, vos sourires, et votre soutien moral tout au long de ce parcours.*

*Vous êtes les personnes les plus précieuses dans ma vie. Vous avez toujours été là pour moi, dans les bons moments comme dans les plus durs. Votre amour, vos encouragements et même vos silences ont toujours compté pour moi.*

*Grâce à vous, je ne me suis jamais sentie seule. Je vous aime plus que les mots ne peuvent le dire, et je vous remercie du fond du cœur d'être toujours là.*

## ***À mes neveux et nièces, Youcef , Toufik , Assil***

*Les enfants de ma sœur, qui remplissent ma vie de joie, d'innocence et de tendresse. Vos rires et votre énergie m'ont souvent redonné le sourire, même dans les moments de fatigue. Vous êtes une source d'amour et de lumière pour moi.*

## ***À mon beau-frère, Abderrahmane***

*Le mari de ma sœur, merci pour ta gentillesse, ton soutien et ta présence bienveillante. Ta place dans notre famille est précieuse, et je te suis reconnaissante pour ton respect et ton attention.*

## ***A ma binôme Hiba***

*Tu es une sœur de cœur, une personne précieuse dans ma vie. Merci pour ta présence, ton écoute, ton soutien et ton affection dans les bons comme dans les moments difficiles. Merci d'avoir partagé avec moi les heures de réflexion, les fous rires, le stress, les imprévus, et surtout, la satisfaction du travail accompli.*

*Ce mémoire, c'est aussi le fruit de ton dévouement et de ton cœur. Je t'aime énormément, et je ne te souhaite que du bonheur, de la réussite et une vie remplie de paix et de belles choses. Tu mérites tout le bien du monde.*

## ***À Wafa et Ibtihel***

*mes amies, mes sœurs de cœur, mes repères depuis cinq ans. Ce travail vous est dédié avec tout mon amour et ma reconnaissance. Merci d'avoir été à mes côtés dans les rires comme dans les épreuves, dans les moments de doute comme dans les réussites.*

*Votre amitié est l'un des plus beaux cadeaux que la vie m'ait offerts. Chaque souvenir partagé, chaque soutien silencieux, chaque éclat de rire a fait de ce parcours une aventure humaine. Cette étape, je ne la franchis pas seule, je la franchis avec vous dans le cœur. Je vous aime profondément*

*À toutes les personnes qui m'ont soutenue de près ou de loin,  
Merci du fond du cœur.*

***Houria***

## ***Dedicaces***

### **À toi, Maman**

*Toi dont l'absence me pèse chaque jour, mais dont l'amour continue de me porter. C'est à ton âme douce et lumineuse que je dédie ce travail. Tu n'es plus là physiquement, mais je sens ta présence dans chaque souffle de courage, dans chaque petit pas que je fais, dans chaque prière. Nous avons tant rêvé ensemble de ce jour... Mais tu n'es plus là pour le voir. Et pourtant, je le vis aussi pour toi. Tu restes mon inspiration éternelle, ma source de motivation, ma lumière intérieure. Je t'aime, Maman, au-delà des mots, au-delà du temps.*

### **À mon père, Ahmed**

*Dont la force discrète, le dévouement et les prières silencieuses m'ont porté tout au long de ce parcours.. Merci pour ta patience, tes conseils, ta confiance, même dans les moments où moi-même je doutais. Aucune parole ne suffira jamais à exprimer toute ma reconnaissance. "Merci" ne sera jamais assez.*

### **À mes frères Abd Raouf et Nassim, et à ma sœur Malak**

*Ces piliers de ma vie, merci pour votre présence, votre soutien parfois silencieux mais toujours sincère, et pour tout l'amour que vous m'avez donné à votre manière.*

### **À mon fiancé, Hicham**

*Pour son soutien constant, son écoute, sa douceur et sa patience. Tu as été ma force dans les moments de faiblesse, un refuge dans les tempêtes, une présence rassurante quand tout semblait trop lourd. Merci d'avoir cru en moi, même quand moi, je n'y croyais plus.*

### **À ma binôme, Houria**

*Trois années côte à côte, à partager les mêmes bancs, les mêmes défis, les mêmes doutes et les mêmes réussites. Merci d'avoir été bien plus qu'une partenaire de travail : une amie, une confidente, une présence rassurante dans les hauts comme dans les bas. Ta patience, ton sérieux, ta bonne humeur et ton soutien constant ont marqué ces années d'une empreinte précieuse. Ce parcours n'aurait pas eu la même saveur sans toi. Merci pour tout.*

### **À mes amies chères : Ilhame, Dounia**

*Qui ont su m'entourer de leur présence, de leurs mots justes, de leurs rires et de leur fidélité. Merci d'avoir été là, dans les bons comme dans les moments plus difficiles. Votre amitié a été une source de réconfort et de joie sincère.*

**À toutes celles et ceux** *Qui, de près ou de loin, m'ont portée, encouragée ou simplement tendu la main avec bienveillance, je vous adresse du fond du cœur toute ma gratitude. Ce travail est aussi un peu le vôtre.*

**Hiba**

## *Remerciements*

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration et à la réussite de ce mémoire.

Nos remerciements les plus sincères vont tout particulièrement à notre encadreur, **Dr Djamel Taieb Errahamani**, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, sa rigueur scientifique et son accompagnement bienveillant tout au long de ce travail. Malgré ses nombreuses responsabilités, il a toujours su se rendre présent et à l'écoute, et nous lui en sommes profondément reconnaissantes.

Nous remercions également notre **co-promoteur, Dr Inal Ahmed**, pour sa collaboration et ses conseils

Nos remerciements vont aussi aux **membres du jury** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, le temps qu'ils y ont consacré ainsi que pour leurs remarques pertinentes et enrichissantes, qui ont contribué à valoriser cette étude.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à l'ensemble du personnel du **Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA)**, notamment à la **Division de la sûreté nucléaire, la radioécologie et la sûreté des déchets radioactifs**, pour leur accueil chaleureux et leur assistance précieuse.

Un remerciement tout particulier à **l'ingénieur Mouad Boudriaa**, pour sa disponibilité et son aide technique au niveau du laboratoire.

Nous tenons également à remercier **Monsieur Heddoun** pour ses conseils avisés, sa patience et son appui technique, qui ont été d'une grande aide tout au long de cette étude.

Nous n'oublions pas tous les autres membres du personnel qui, à divers niveaux, nous ont soutenues et accompagnées durant cette expérience.

Nous exprimons aussi notre sincère reconnaissance à l'ensemble des **enseignants de l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL)**, pour la qualité de leur enseignement, leur engagement, leur disponibilité et leurs conseils tout au long de notre formation. Leur encadrement nous a permis d'acquérir des compétences solides et une vision claire des enjeux liés à l'environnement marin et côtier.

## Résumé

Ce mémoire porte sur l'évaluation de la contamination des sédiments côtiers de trois plages du littoral algérois par les microplastiques, les éléments traces métalliques (ETM) et les radionucléides naturels. Des analyses par spectroscopie ATR-FTIR, EDXRF, spectrométrie gamma, analyse du mercure total, ainsi que l'observation au microscope optique ont été menées. L'identification des microplastiques a été réalisée selon un protocole standardisé de l'AIEA. Les résultats révèlent une contamination globalement faible en métaux et radionucléides, avec des concentrations dans les limites naturelles. En revanche, les résultats relatifs aux microplastiques mettent en évidence une pollution marquée, l'abondance la plus élevée ayant été enregistrée sur la plage située à l'est du littoral algérois. Plusieurs types de microplastiques ont été identifiés, principalement du polyéthylène téréphtalate et du polystyrène, avec des formes variées (fragments, fibres) et des couleurs diverses. Cette étude souligne le rôle des sédiments comme indicateurs de pollution et la nécessité d'un suivi environnemental renforcé pour une gestion durable du littoral algérien.

**Mots clés :** Microplastiques ,métaux traces, radioéléments naturels ,sédiments de plage ,littoral algérois ,pollution côtière

## Abstract

This thesis focuses on assessing the contamination of coastal sediments from three beaches along the Algiers coastline by microplastics, trace metals (ETMs), and natural radionuclides. Analyses were conducted using ATR-FTIR spectroscopy, EDXRF, gamma spectrometry, total mercury analysis, and optical microscopy. Microplastic identification was performed following a standardized protocol developed by the IAEA. The results show generally low contamination by metals and radionuclides, with concentrations within natural limits. However, microplastic results reveal significant pollution, with the highest abundance recorded on the beach located in the eastern part of the Algiers coastline. Various types of microplastics were identified, mainly polyethylene terephthalate and polystyrene, with diverse shapes (fragments, fibers) and colors. This study highlights the role of sediments as indicators of pollution and emphasizes the need for strengthened environmental monitoring for sustainable coastal management in Algeria.

**Keywords:** Microplastics, trace metals, natural radionuclides, beach sediments, Algiers coastline, coastal pollution

## المخلص

تركز هذه الأطروحة على تقييم تلوث الرواسب الساحلية من ثلاثة شواطئ على طول ساحل الجزائر بالمواد البلاستيكية الدقيقة والمعادن النزرة (ETMs) والنويدات المشعة الطبيعية. أجريت التحليلات باستخدام التحليل الطيفي ATR-FTIR ، و EDXRF، وقياس الطيف الجاما، وتحليل الزئبق الكلي، والمجهر الضوئي. تم تحديد البلاستيك الدقيق باتباع بروتوكول موحد وضعته الوكالة الدولية للطاقة الذرية. أظهرت النتائج تلوثاً منخفضاً بشكل عام بالمعادن والنويدات المشعة، مع تركيزات ضمن الحدود الطبيعية. ومع ذلك، كشفت نتائج البلاستيك الدقيق عن تلوث كبير، حيث سُجلت أعلى نسبة في الشاطئ الواقع في الجزء الشرقي من ساحل الجزائري. تم تحديد أنواع مختلفة من البلاستيك الدقيق، خاصة البولي إيثيلين ثلاث البوليسترين، بأشكال (شظايا، ألياف) وألوان متنوعة. تسلط هذه الدراسة الضوء على دور الرواسب كمؤشرات للتلوث وتؤكد على الحاجة إلى تعزيز الرصد البيئي من أجل إدارة ساحلية مستدامة في الجزائر.

**الكلمات المفتاحية:** الجزيئات البلاستيكية الدقيقة، المعادن النزرة، العناصر المشعة الطبيعية، رواسب الشواطئ، الساحل الجزائري، التلوث الساحلي

INTRODUCTION.....	18
GENERALITES.....	21
1. Pollution marine.....	22
1.Types de pollution.....	23
2. Ecotoxicologie marine.....	24
2.1. Microplastiques dans l’environnement marin.....	25
2.2. Classification des microplastiques.....	26
2.3. Source et comportement des microplastiques dans l’environnement marin.....	27
2.4. Toxicité des microplastiques sur l’environnement.....	28
3. Métaux lourds.....	29
3.1. Classification des métaux lourds.....	29
3.2. Origine des métaux lourds.....	30
3.3. Sources et comportement des métaux lourds.....	30
3.4. Toxicité des métaux lourds.....	31
4. Radioéléments.....	32
4.1. Origine des radioéléments.....	33
4.2. Source et comportement des radioéléments dans l’environnement marin.....	34
MATERIELS ET METHODES.....	36
1. Description de la Zone d’étude.....	37
1.1. Baie de Zemmouri.....	38
1.2. Baie d’Alger.....	39
1.3. Baie de Bou Ismaïl.....	40
2. Méthode de prélèvement.....	41
3. Microplastiques.....	43
3.1. Procédure expérimentale.....	43
3.2. Analyse Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier FTIR.....	48
4. Métaux traces.....	49
4.1. Procédure expérimentale.....	49
4.2. Analyseur du mercure total DMA-80.....	49
4.3. Fluorescence X à Dispersion d’Énergie (EDXRF).....	52
5. Radioéléments.....	54
5.1. Procédure expérimentale.....	54
5.2. Spectrométrie gamma.....	54
Chaine d’acquisition de spectrométrie gamma.....	55
6. Caractéristiques sédimentaires.....	61
6.1. Analyse de la matière organique – Méthode de la perte au feu (LOI).....	61
6.2. Analyse granulométrique.....	63
RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	66

## LISTE DES MATIERES

---

1.Caractéristiques sédimentaires .....	67
1.1.Teneur en matière organique (MO).....	67
1.2.Analyse granulométrique .....	69
2.Microplastiques .....	73
3.Métaux lourds.....	84
4.Radioéléments .....	87
CONCLUSION & perspectives .....	90
Références Bibliographiques .....	94
annexes .....	97

Liste des figures

Figure 1 Classification de la pollution (Galaf et Ghannam, 2003) .....	24
Figure 2 comportement des microplastiques dans l'environnement marin Source : Great Italian Food Trade, 2019, <a href="https://www.greatitalianfoodtrade.it/wp-content/uploads/2019/03/plastiche-inquinamento.png">https://www.greatitalianfoodtrade.it/wp-content/uploads/2019/03/plastiche-inquinamento.png</a> .....	27
Figure 3 :Schéma du comportement des métaux lourds dans l'environnement marin .....	31
Figure 4 Désintégration d'un noyau instable (Delacroix et al. , 2006) .....	32
Figure 5 Différentes voies de transfert des radionucléides dans l'environnement marin .....	35
Figure 6. Cartes de la zone d'études et des sites d'échantillonnage .....	37
Figure 7 Plage Rocher noir (Boumerdes).....	38
Figure 8. Plage Bateau Cassé ( Alger) .....	40
Figure 9 Plage Colonel abbas (Tipaza) .....	41
Figure 10 Macro déchets observés dans la plage Colonel Abbas lors de la sortie.....	41
Figure 11. Délimitation de la zone de prélèvement des échantillons de sable dans la ligne de marée haute (transect de 100 m) et des points d'échantillonnage (R1 à R5) sur la plage (Adapté d'OSPAR et de Burgess et al.) .....	42
Figure 12. Détermination du transect dans la ligne de la marée haute ainsi que les station .....	42
Figure. 13 : Choix de la section du quadrat numéro 1 et prélèvement de la couche de 1 cm ..	43
Figure 14 : Détermination des poids des échantillons après séchage à 50°C pendant 24h.....	44
Figure. 15 : Tamisage des échantillons par des tamis 5mm 1mm et 300 µm .....	45
Figure 16 .Agitation des échantillons après l'étape de séparation par densité .....	45
Figure 17. vérification de la densité de la solution NaCl.....	45
Figure 18 .Récupération du surnageant.....	46
Figure. 19 : Digestion de la matière organique par l'ajout de Peroxyde d'hydrogène H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	46
Figure. 20 : filtre récupéré	Figure .21 :
Dispositif de filtration .....	47
Figure.22 : schéma de fonctionnement de FTIR .....	49
Figure. 23 :Analyseur de mercure totale DMA-80 Tri Cell.....	50
Figure. 24 : Système de fonctionnement de DMA-80 TRI CELL (Milestone, 2015/2021) .....	51
Figure. 25 :Pesage et introduction des échantillons dans l'analyseur.....	52
Figure. 26 :Echantillon de référence IAEA-457 .....	52
Figure.27 : Spectromètre ARL QUANT'X EDXRF. ....	53
Figure 28 Préparation des échantillons à analyser .....	53

## LISTE DES FIGURES

Figure 29 :Echantillon de référence (Standard Reference Material® 2706, New Jersey Soil – Organics and Trace Elements, NIST) .....	54
Figure. 30 : Chaîne de Spectrométrie gamma .....	55
Figure 31Schéma de la chaîne d'acquisition de la spectrométrie gamma.....	55
Figure.1 .32 : Sources radioactives utilisées pour l'étalonnage Am-241, Cs-137,Co—60 .....	58
Figure.33 : Courbe d'étalonnage en énergie .....	58
Figure 34 :Courbe d'étalonnage en efficacité.....	60
Figure. 35 : Exemple de spectre observé par Fitzspeaks.....	60
Figure 36Lyophilisation des Echantillons.....	62
Figure 37 : Pesage des échantillons.....	62
Figure .38 :Calcination des échantillons à 480°C .....	62
Figure. 39 : Première pesée 200g .....	64
Figure. 40:Rinçage .....	64
Figure 41 ANALYSETTE 3 SPARTAN .....	65
Figure.42 illustration des particules de microplastiques .....	73
Figure .43 :Abondance des microplastiques dans les trois sites d'étude .....	74
Figure.44 : Distribution des formes MPs de la plage Rocher Noir (Boumerdes) .....	75
Figure. 45 : Distribution des couleurs MPs de la plage Rocher Noir ( plage Boumerdes) .....	76
Figure. 46 : Distribution des formes MPs dans la plage Bateau Cassé (Alger) .....	76
Figure. 47 : Distribution des couleurs MPs de la plage bateau cassé ( Alger).....	77
Figure .48 :Distribution des formes MPs de la plage Colonel Abbas (Tipaza) .....	78
Figure.49 : Distribution des couleurs MPs de la plage Colonel Abbas (Tipaza) .....	78
Figure 50: les particules prélevés pour l'identification des polymères .....	81
Figure .51 :Spectres obtenus par ATR-FTIR, identifiés comme étant dunpoluestere .....	82
Figure 52 Spectre infrarouge obtenu par ATR-FTIR pour l'échantillon TB, comparé à un spectre de référence de polystyrène commercial .....	83
Figure.53 Courbe de distribution des concentrations du Hg et As.....	84
Figure 54 Courbe de distribution des concentrations du Ni et Pb.....	84
Figure. 55 :Courbe de distribution des concentrations du Zn et Cr et Mn.....	85
Figure 56Courbe de distribution des concentrations du Mg, Al, Ca ,Fe , Si .....	85
Figure 57 Courbe de distribution des activités spécifiques 214Pb et 214Bi.....	88
Figure . 58 :Courbe de distribution des activités spécifiques 212Pb et 228Ac.....	88
Figure .59 :Courbe de distribution des activités spécifiques 40K.....	89
Figure .60 :Teneurs de la MO dans les sédiments de plage Rocher noir (Boumerdes) .....	67
Figure. 61 :Teneurs de la MO dans les sédiments de plage Bateau cassé(Alger).....	68

## **LISTE DES FIGURES**

Figure.62 :Teneurs de la MO dans les sediments de plage Colonel abbas(Tipaza).....	69
Figure 63 Attestation de participation à la conférence CIAMEL .....	113

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Prélèvements effectués lors des sorties sur terrain .....	43
Tableau 2 Caractéristiques du détecteur utilisé.....	56
Tableau 3 les efficacité des radionucléides du standards .....	59
Tableau 4 Comparaison entre les résultats obtenues et d'autres études .....	79
Tableau 5 Comparaison des résultats obtenus par rapport aux études effectués en Méditerrané	86
Tableau 6: Résultats de l'indice de Classement et l'indice d'asymétrie .....	71
Tableau 7 Classification des MPs dans la plage de Boumerdes .....	99
Tableau 8 Classification des Mps dans la plage colonel Abbas.....	100
Tableau 9 Tableau de classification de MPs dans la plage Bateau cassé (Alger) .....	101
Tableau 10 résultats Indice de Classement de Trask(1932) et indice d'asymétrie .....	111
Tableau 11 taux des pellites transect Boumerdes.....	112
Tableau 12 taux des pellites transect Tipaza .....	112
Tableau 13 taux des pellites transect Alger.....	112

## LISTE DES ABREVIATIONS, SYMBOLES ET UNITES

### Abréviations

<b>AIEA</b>	Agence Internationale de l'Énergie Atomique
<b>CNRDPA</b>	Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche l'Aquaculture
<b>CRNA</b>	Centre de Recherche Nucléaire d'Alger
<b>DMA-80</b>	Direct Mercury Analyzer (Analyseur de Mercure Total)
<b>EDXRF</b>	Energy Dispersive X-ray Fluorescence (Fluorescence X à dispersion d'énergie)
<b>ENSSMAL</b>	École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral
<b>ETM</b>	Éléments Traces Métalliques
<b>FTIR</b>	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier)
<b>GESAMP</b>	Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection
<b>IAEA-457</b>	Référence standard de l'AIEA pour les échantillons
<b>LOI</b>	Loss On Ignition (Perte au Feu)
<b>MO</b>	Matière Organique
<b>MPs</b>	Microplastiques
<b>PET</b>	Polyéthylène téréphtalate
<b>POP</b>	Polluant Organiques Persistant
<b>PS</b>	Polystyrène
<b>SD</b>	Sans date (dans les références bibliographiques)

## LISTE DES ABREVIATIONS, SYMBOLES ET UNITES

### Éléments chimiques et symboles

<b>Plomb</b>	Pb
<b>Mercure</b>	Hg
<b>Arsenic</b>	As
<b>Chrome</b>	Cr
<b>Nickel</b>	Ni
<b>Zinc</b>	Zn
<b>Fer</b>	Fe
<b>Manganèse</b>	Mn
<b>Cobalt</b>	Co
<b>Cuivre</b>	Cu
<b>Aluminium</b>	Al
<b>Calcium</b>	Ca
<b>Silicium</b>	Si
<b>Potassium</b>	K
<b>Uranium-238</b>	U-238
<b>Thorium-232</b>	Th-232
<b>Plomb-214</b>	Pb-214
<b>Bismuth-214</b>	<sup>214</sup> Bi-214
<b>Plomb-212</b>	Pb-212
<b>Actinium-228</b>	Ac-228
<b>Potassium-40</b>	<sup>40</sup> K

## LISTE DES ABREVIATIONS, SYMBOLES ET UNITES

### Unités de mesure et symboles mathématiques

Symbole / Unité	Signification
$\alpha$	Rayonnement alpha
$\beta$	Rayonnement beta
$\gamma$	Rayonnement gamma
<b>Bq</b>	Becquerel (unité d'activité radioactive)
<b>ppm</b>	Partie par million (concentration)
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	Micromètre
<b><math>\text{g}/\text{cm}^3</math></b>	Gramme par centimètre cube (densité)
<b>%</b>	Pourcentage
<b>KeV</b>	Kilo électron-volt (énergie des photons gamma)
$\varepsilon$	Efficacité de détection
<b>A</b>	Activité (Bq)
<b>t</b>	Temps de comptage (s)
<b>I</b>	Intensité en %
<b>N</b>	Nombre de désintégrations (ou surface du pic)
<b>m(v)</b>	Masse ou volume de l'échantillon
<b>E</b>	Énergie
<b>X</b>	Numéro de canal
<b>a, z</b>	Constantes d'étalonnage en spectrométrie gamma

## INTRODUCTION

La pollution des sédiments de plage représente une problématique environnementale croissante à l'échelle mondiale. En raison de leur position d'interface entre les milieux terrestre et marin, les plages sont des zones particulièrement sensibles à l'accumulation de divers contaminants, parmi lesquels figurent les microplastiques, les éléments radioactifs et les métaux traces. Chacun de ces polluants présente des sources spécifiques, des comportements environnementaux particuliers et des effets potentiellement néfastes sur les écosystèmes marins ainsi que sur la santé humaine.

Les microplastiques sont de petites particules de plastique mesurant moins de cinq millimètres. Ils proviennent principalement de la dégradation de plastiques de grande taille, ou sont directement fabriqués à cette taille pour des usages spécifiques, notamment dans les produits cosmétiques, ou les applications industrielles. Une fois libérés dans l'environnement, ces particules peuvent être transportées par le vent, les cours d'eau ou les courants marins, jusqu'à s'accumuler dans les sédiments côtiers.

Les microplastiques représentent une menace sérieuse pour l'environnement marin, car ils sont considérés comme des vecteurs de pollution. En effet, leur surface peut adsorber divers contaminants tels que les métaux traces et les polluants organiques persistants (POP), augmentant ainsi leur toxicité. De plus, les microplastiques peuvent relarguer des additifs chimiques (comme les phtalates ou les retardateurs de flamme), initialement intégrés lors de leur fabrication, et qui peuvent s'avérer toxiques pour la faune et les écosystèmes marins.

Les radionucléides, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique, sont présents dans les environnements côtiers en raison de diverses sources : l'altération des roches contenant de l'uranium ou du thorium, les activités minières, les rejets industriels, l'utilisation de matériaux radioactifs ou encore les accidents nucléaires. Ces éléments atteignent les sédiments marins par dépôt atmosphérique, ruissellement ou via les cours d'eau. Une fois déposés, certains radionucléides, notamment ceux des familles de l'uranium (U-238) et du thorium (Th-232), peuvent persister dans l'environnement pendant de longues périodes. Leur accumulation dans les sédiments représente un risque potentiel pour la faune marine, les écosystèmes et, indirectement, pour la santé humaine. La surveillance régulière de leur activité est donc essentielle pour prévenir toute contamination durable des milieux côtiers.

Les métaux traces tels que le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) ou encore le zinc (Zn) et le cuivre (Cu), proviennent principalement des activités humaines : industrie, agriculture, transport maritime et urbanisation. Ces éléments s'accumulent dans les sédiments littoraux, où ils

peuvent rester immobilisés ou être remobilisés sous certaines conditions physico-chimiques (changement de pH, salinité, etc.). Leur toxicité et leur capacité à s'accumuler dans les organismes marins en font des contaminants particulièrement préoccupants. Ils peuvent affecter la biodiversité, altérer le fonctionnement des écosystèmes, et représenter un risque sanitaire pour les populations humaines par le biais de la consommation de produits de la mer.

Bien que les plages sableuses soient particulièrement vulnérables à la pollution en raison de leur exposition directe aux apports atmosphériques, marins et continentaux, les études portant sur les radionucléides et les métaux traces dans les sédiments de ces milieux restent encore peu nombreuses. Cette rareté s'explique notamment par la faible capacité de rétention du sable, qui rend difficile l'accumulation et la détection de ces contaminants.

Pourtant, l'évaluation de ces deux types de polluants est indispensable pour établir un diagnostic fiable de la qualité environnementale des zones côtières. Leur présence simultanée dans les sédiments peut avoir des effets cumulatifs sur les écosystèmes marins, et représente un risque potentiel pour la biodiversité ainsi que pour la santé humaine. Une telle approche permet de mieux comprendre les mécanismes de pollution, de transfert et de remobilisation dans les milieux littoraux, et contribue à améliorer les stratégies de surveillance et de gestion environnementale.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre du projet de coopération INT 7021 de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), mené au sein du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA), plus précisément au niveau de la Division de la sûreté nucléaire, de la radioécologie et de la gestion des déchets radioactifs. Ce projet est principalement axé sur l'étude des microplastiques dans l'environnement. Dans une démarche d'approfondissement, deux autres polluants ont été ajoutés à cet étude. Ce mémoire a pour objectif d'évaluer la qualité des sédiments de plage en s'appuyant sur trois composantes principales : l'abondance des microplastiques, l'activité radiologique naturelle et la concentration en métaux traces. L'étude est menée sur trois sites du littoral algérois Boumerdes, Alger et Tipaza sélectionnés en fonction de leur fréquentation humaine et de leur représentativité géographique.

Ce travail de recherche a pour objectifs :

- Identifier et de quantifier les microplastiques présents dans les sédiments ;
- Déterminer si les sédiments côtiers présentent des traces de radioactivité artificielle, en complément de l'activité naturelle

- Evaluer la concentration des métaux traces par analyse EDXRF et du mercure par DMA-80.

À travers cette étude, il s'agira de contribuer à une meilleure compréhension de l'état de pollution des plages de littoral algérois pour la gestion durable des zones côtières et la prévention des risques sanitaires et écologiques.

Le présent manuscrit est structuré en quatre chapitres principaux, permettant de présenter de manière claire et progressive l'ensemble du travail réalisé :

**Chapitre I : Généralités** Ce chapitre introductif présente le contexte général de la pollution des milieux côtiers, en particulier celui des plages sableuses. Il expose les principales sources de contamination par les microplastiques, les radionucléides et les métaux traces, tout en décrivant leur comportement environnemental et leurs effets potentiels sur les écosystèmes et la santé humaine.

**Chapitre II : Matériel et Méthodes** Ce chapitre décrit les sites d'échantillonnage sélectionnés le long du littoral algérois, ainsi que les méthodes de prélèvement et les protocoles analytiques mis en œuvre pour l'étude. Les approches méthodologiques suivantes y sont détaillées :

- Le protocole d'identification et de quantification des microplastiques
- La mesure de l'activité radiologique naturelle et artificielle par spectrométrie gamma
- L'analyse des métaux traces par fluorescence X à dispersion d'énergie (EDXRF), ainsi que la quantification du mercure par analyseur du mercure totale DMA-80.

**Chapitre III : Résultats et Discussions** Ce chapitre présente les résultats obtenus pour les trois types de contaminants étudiés. Les données sont interprétées, comparées aux valeurs de référence disponibles dans la littérature. L'analyse permet de mieux comprendre la répartition spatiale des polluants et les facteurs influençant leur présence dans les sédiments.

**Chapitre IV : Conclusion et Perspectives** Ce dernier chapitre synthétise les principales conclusions de l'étude, en mettant en lumière l'état de la pollution des plages examinées. Il propose des recommandations pour le suivi environnemental et la gestion durable des zones côtières, ainsi que des perspectives de recherche, notamment sur les interactions possibles entre microplastiques, radionucléides et métaux traces dans les sédiments côtiers.

# **GENERALITES**

## 1. Pollution marine

Le terme **contamination** est utilisé pour décrire le fait qu'un certain composé chimique est présent dans un certain habitat et/ou les organismes qui y vivent (**Potters, 2013**). Ces derniers ont existé dans la nature depuis des siècles, mais leur nocivité ne s'est exercée qu'au moment où leur concentration a dépassé la capacité d'auto-épuration de l'environnement en raison de causes non naturelles. (**Aslam et al., 2020**)

La **pollution** est définie comme toute forme de contamination d'un écosystème ayant un impact néfaste sur les organismes de cet écosystème, en modifiant le taux de croissance et la reproduction des espèces végétales ou animales, ou en interférant avec les commodités humaines, le confort, la santé ou la valeur des propriétés. Dans un sens plus large, les termes contamination et pollution comprennent également toute modification physique qui modifie l'énergie ou le rayonnement faible d'un environnement (comme une source ou un puits de chaleur, ou un élément radioactif), ou même la présence d'une espèce envahissante (**Potters, 2013**)

Selon la Convention de Montego Bay des Nations Unies sur le Droit de la Mer (1982) la pollution est définie « L'introduction par l'homme, directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, qui entraîne ou est susceptible d'entraîner des effets délétères tels que des dommages aux ressources vivantes et à la vie marine, les risques pour la santé humaine, les entraves aux activités marines, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, l'altération de la qualité de l'eau de mer et la réduction des commodités » (*United Nations Convention on the Law of the Sea, s. d.*)

La pollution marine affecte les trois matrices du milieu marin eau, sédiment, biote, ces matrices sont interconnectées, l'analyse de la pollution dans chacune de ces matrices à son importance et indispensable pour garantir la sécurité public et environnementale

L'un des problèmes majeurs de l'environnement marin est la pollution des sédiments, qui fait référence à la contamination de ces particules par substances polluantes issus des activités humaines tels que les rejets industriels, le lessivage des terrains agricoles et urbains, les rejets des eaux usées et autres, cette pollution a des implications sur la biodiversité, la qualité des habitats côtiers et la santé humaine L'environnement côtier constitue une interface essentielle entre la société humaine et le monde naturel, il est particulièrement vulnérable aux effets des activités anthropiques, qui ont laissé une empreinte indélébile sur ces écosystèmes (**Rangel-Buitrago et al., 2023**)

Les sédiments marins sont considérés comme des archives de pollution en raison de leur capacité à accumuler les polluants et les conserver au fil du temps, chaque couche de sédiments correspond

à une contamination dans une période donnée si nous prenons l'exemple des sédiments de surface leurs degrés de pollution correspond à une contamination récente

## 1. Types de pollution

La pollution est un phénomène étroitement lié au développement de la société humaine, les avancées technologiques et le changement des habitudes et attitudes des consommateurs au fil du temps explique les différentes phases distinctes de pollution au cours de l'histoire. Elle comprend les eaux usées, les produits chimiques toxiques inorganiques, ainsi que des composés organiques persistants, et plus récemment l'émergence de nouveaux produits chimiques dans les produits pharmaceutiques et de soins personnels (**Guzzetti et al., 2018**), l'introduction de l'énergie atomique ; thermiques ; mécaniques est considérée une pollution.

Les polluants peuvent être classés de différentes manières, selon Potters(2013) les polluants sont distingués en fonction de :

- **Nature** : Certains composés sont inorganiques (Comme les métaux lourds) ; d'autres types de pollution sont de nature plus organique (comme les hydrocarbures ; pesticides). Les formes plus récentes ne sont même pas d'origine chimique (son, lumière).
- **L'état physique** est un autre paramètre permettant de distinguer les différents polluants. Certains types se retrouvent sous forme solide, comme les débris plastiques, d'autres types se trouvent dans l'atmosphère, soit sous forme de solides (les métaux lourds et radioéléments adhérant aux particules de poussière), soit sous forme de gaz (comme les composés organiques volatils). Les rivières transporteront un certain nombre de solutés (les engrais, pesticides) par le lessivage des terrains agricoles et urbains.
- **Persistance** : certains polluants sont biodégradables (se décompose naturellement par l'action des micro-organismes dans un laps de temps relativement court) et d'autres sont persistants ne se dégradent pas ; comme les métaux lourds et les radioéléments

En milieu marin Il existe deux principaux critères utilisés pour classer la pollution en milieu (**Galaf et Ghannam, 2003**) :

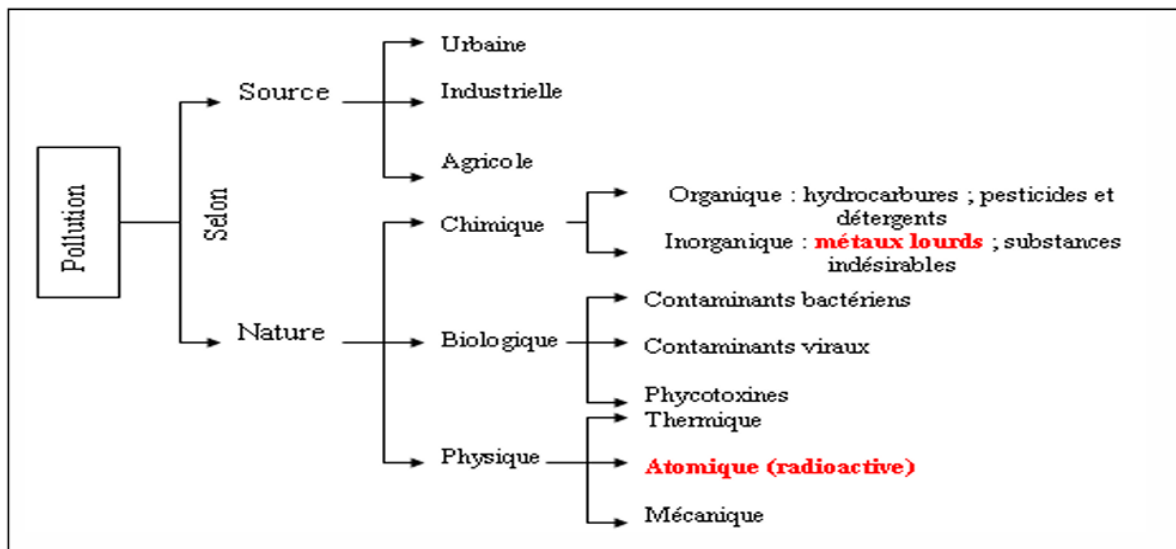


Figure 1 Classification de la pollution (Galaf et Ghannam, 2003)

## 2. Ecotoxicologie marine

L'écotoxicologie est la branche qui recouvre la toxicologie et l'écologie à la fois, il existe plusieurs définitions de cette branche mais nous prenons celle de (Rand & Petrocelli, 1985) « l'écotoxicologie est l'étude qualitative et quantitative des effets négatifs ou toxiques des produits chimiques et autres matériaux d'origine anthropique ou des xénobiotiques ». La toxicologie aquatique est aussi concernée par les concentrations et les quantités de produits chimiques qui peuvent être présentes dans l'eau, les sédiments et les productions aquatiques ; elle inclut donc l'étude du transport, de la distribution, de la transformation et du devenir ultime des substances dans l'environnement aquatique »

Dans le cadre de ce travail, l'étude des microplastiques, des métaux lourds et des radioéléments présents dans les sédiments de plage s'inscrit pleinement dans une démarche écotoxicologique. Ces polluants peuvent entraîner des effets néfastes sur les organismes marins, altérer la qualité des écosystèmes, et contribuer à des phénomènes de bioaccumulation et de biomagnification dans la chaîne trophique.

Les sédiments jouent un rôle de puits pour de nombreux contaminants, mais peuvent également devenir une source secondaire de pollution lorsqu'ils sont remobilisés. L'analyse de la toxicité potentielle des sédiments constitue donc un outil essentiel pour évaluer les risques environnementaux.

## 2.1. Microplastiques dans l'environnement marin

Le terme « plastique » est utilisé pour désigner une sous-catégorie de la grande classe de matériaux appelée polymères. Les polymères sont de très grosses molécules formés en chaîne par l'assemblage de monomères reliés par des liaisons covalentes et, par conséquent, des poids moléculaires moyens très élevés (**GESAMP (2016).**) Ce matériau est doté d'une série de propriétés exceptionnelles (polyvalence, durabilité, résistance, légèreté et transparence) qui en font un « matériau unique » avec de nombreuses applications dans l'industrie, la construction, la médecine et la protection des aliments (**Cole et al., 2011**)

La production annuelle mondiale de plastique a dépassé les 300 millions de tonnes (**PlasticsEurope, 2016.**) cette production intensive de la matière plastique, associée à une faible performance des systèmes de gestion des déchets et à sa non-biodégradabilité, a entraîné une accumulation massive de déchets plastiques dans le milieu marin (Juge, 2022)

Ce phénomène d'accumulation des déchets plastiques est majoritairement lié à la croissance exponentielle de la population mondiale dont le développement économique récent s'est traduit par une explosion de la consommation globale, et notamment un recours massif à des matériaux plastiques dont la durée d'utilisation est largement inférieure aux temps nécessaires pour leur biodégradation. Depuis leur essor dans les années 1950s, la production mondiale de plastiques continue toujours d'augmenter tandis que les premiers rapport révélant leur présence en milieu marin remontent aux années 70s (**Carpenter & Smith, 1972**)

Les microplastiques sont des fragments de plastique d'une taille inférieure à 5 mm, ce terme a été utilisé au départ afin d'établir une distinction entre les plastiques plus gros (macro) et ceux qui ne sont visibles qu'au microscope (micro). Ces particules sont le résultat de fragmentation des macro-déchets par le biais des facteurs abiotiques et biotiques.

La fragmentation des macroplastiques en microplastiques fait référence à un changement chimique due aux facteurs environnementaux qui réduit le poids moléculaire moyen du polymère. Étant donné que les propriétés mécaniques des plastiques dépendent fortement de leur poids moléculaire moyen élevé, toute dégradation significative affaiblit le matériau (**Andrady, 2011**)

La dégradation est généralement classée en fonction du facteurs qui la cause (**Andrady, 2011**), dans l'environnement marin les modes de dégradation distingués sont :

- **Dégradation abiotique** : désigne l'altération des plastiques par des processus physiques ou chimiques. Parmi ceux-ci, on retrouve la photodégradation, provoquée par l'exposition aux rayons ultraviolets (UV), qui fragilise la structure moléculaire du plastique. De plus, une exposition à une chaleur modérée peut entraîner une dégradation thermo-oxydative, où l'oxydation lente affaiblit progressivement le matériau. L'eau de mer elle-même peut interagir chimiquement avec certaines liaisons spécifiques des polymères, provoquant leur rupture via un processus appelé hydrolyse, selon la nature du polymère concerné, la dégradation mécanique, quant à elle, est causée par des facteurs physiques tels que les vagues, le vent, ou encore le frottement avec les roches et le sable. Ces actions engendrent des microfissures à la surface du plastique, conduisant à sa fragmentation en particules de plus en plus fines.
- **Dégradation biotique** : Une fois que les processus abiotiques fragilisent le plastique en créant des fissures et en réduisant sa taille les microorganismes (principalement des bactéries) interviennent pour accélérer la dégradation du plastique

## 2.2. Classification des microplastiques

Dans l'environnement marin les microplastiques sont divisés en deux types : les microplastiques primaires et les microplastiques secondaire (Auta et al., 2017)

- **Microplastiques primaires** sont intentionnellement produits à une taille microscopique, afin d'être intégrés dans divers produits du quotidien ce qui est le cas des microplastiques pour des applications dans des produits pharmaceutiques et cosmétiques et industriels(Andrady, 2011)
- **Microplastique secondaires** Ces microplastiques provient de la dégradation de plastiques plus grand de tailles sous l'effet des facteurs environnementaux(Auta et al., 2017) ,Ces particules sont principalement issus de débris de bouteilles, sacs plastiques, filets de pêche, textiles synthétiques, pneus de véhicules et autres objets plastiques abandonnés dans l'environnement. Leur dispersion dans l'environnement est amplifiée par l'érosion, le transport par les courants marins et le vent.

Les microplastiques, qu'ils soient primaires ou secondaires, sont omniprésents dans l'environnement marin. Ils peuvent atteindre des concentrations particulièrement élevées, suscitant des préoccupations croissantes quant à leurs effets potentiels sur la faune marine et les processus écologiques.

Par ailleurs, les microplastiques peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques physico-chimiques, telles que la forme, la taille et la couleur. Ils sont généralement regroupés en différentes catégories morphologiques, notamment les fragments, les mousses, les films, les fibres (ou microplastiques ligneux), ainsi que les pastilles ou billes. Ces propriétés influencent fortement leur biodisponibilité, c'est-à-dire leur accessibilité biologique pour les organismes marins, et déterminent ainsi leur degré d'exposition et de toxicité potentielle au sein des écosystèmes. (Amelia et al., 2021)

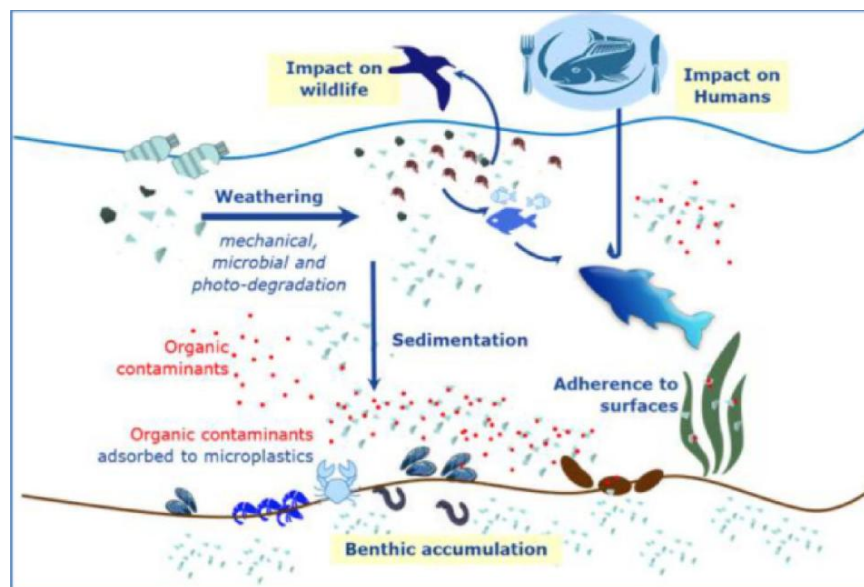


Figure 2 comportement des microplastiques dans l'environnement marin Source : Great Italian Food Trade, 2019, <https://www.greatitalianfoodtrade.it/wp-content/uploads/2019/03/plastiche-inquinamento.png>

### 2.3. Source et comportement des microplastiques dans l'environnement marin

Les microplastiques représentent une menace majeure pour l'environnement marin, avec environ 1,5 million de tonnes de microplastiques primaires rejetées chaque année dans les océans (Li et al., 2016) , Ces particules proviennent de plusieurs sources, notamment des déchets abandonnés sur les plages qui se fragmentent en microplastiques sous l'effet de facteurs environnementaux, mais aussi des activités anthropiques et des rejets urbains ; 80 % des déchets plastiques marins seraient d'origine terrestre, transportés par les rivières, les eaux usées ou dispersés par le vent vers les océans (Andrady, 2011) Les activités portuaires contribuent également de manière significative à cette pollution, notamment à travers la manutention des

cargaisons, les opérations de pêche, l'entretien des bateaux et l'abandon d'ordures, qui peuvent former des nappes de déchets flottants dispersées par les marées et les courants (**Arthur et al., 2009**). Le transport des microplastiques dans l'environnement marin est principalement assuré par les courants océaniques, influencés par la force de Coriolis, les vents et la météo, ce qui permet à ces particules d'être dispersées à travers de vastes zones, Le vent joue également un rôle, en transportant les plastiques légers depuis les décharges ou les zones agricoles vers les milieux aquatiques, et en milieu marin, il déplace plus facilement les matériaux légers comme le polystyrène (**M-Eco.A. 06-18, s. d.**). Une fois dans l'environnement, les microplastiques, résistants à la biodégradation, persistent pendant des années affectant la biodiversité et l'état écologique des milieux marins. Leur comportement dépend de plusieurs facteurs comme la densité, la taille, la composition chimique ainsi que des caractéristiques hydrodynamiques et environnementales. Ils ont été détectés dans les eaux de surface (**Russell & Webster, 2021**), dans les sédiments (**Al-Salem et al., 2020**), et dans la biote marine (**Guzzetti et al., 2018**). En raison de leur petite taille, les organismes marins les absorbent directement via l'eau ou par ingestion alimentaire, provoquant un phénomène de bioaccumulation, c'est-à-dire une absorption nette des microplastiques depuis différents milieux (eau, sédiments, proies) par diverses voies (contact, ingestion, respiration), avec un transfert trophique observé entre proies et prédateurs (**Wang, 2023**)

## **2.4. Toxicité des microplastiques sur l'environnement**

La toxicité des microplastiques résulte de plusieurs mécanismes que l'on peut regrouper en trois principales catégories :

- **La composition chimique intrinsèque** : Les microplastiques sont des polymères synthétiques auxquels sont ajoutés divers additifs (plastifiants, stabilisants, retardateurs de flamme, etc.) durant leur fabrication afin d'améliorer leurs propriétés physico-chimiques. Ces substances potentiellement toxiques, peuvent être relarguées dans le milieu marin, représentant ainsi une source directe de contamination chimique.
- **L'adsorption de polluants environnementaux** : Les microplastiques présentent une grande surface spécifique (**Amelia et al., 2021**) et une affinité particulière pour les composés hydrophobes, ce qui favorise l'adsorption de nombreux polluants présents dans l'environnement marin, tels que les pesticides, les hydrocarbures, les métaux lourds et les polluants organiques persistants (POPs). Une fois ingérés par les organismes marins, ces microplastiques peuvent agir comme vecteurs de transfert de contaminants au sein des réseaux trophiques.

- **Le rôle de vecteurs biologiques** : En raison de leur persistance dans l'environnement et de leur capacité à flotter sur de longues distances, les microplastiques peuvent également servir de substrats pour divers microorganismes (bactéries, virus, algues, etc.). Ce phénomène, connu sous le nom d'« écosystème plastique » ou plastisphère (Zettler et al., 2013), peut favoriser la dispersion d'espèces potentiellement pathogènes ou envahissantes vers de nouveaux habitats, perturbant ainsi les écosystèmes marins. (Guzzetti et al., 2018)

Les microplastiques ont des effets négatifs multiples, à la fois physiologiques et écologiques, sur les organismes marins et leur environnement. Sur le plan physiologique, de nombreuses études ont mis en évidence leur capacité à être transloqués dans l'organisme, depuis les voies digestives ou respiratoires jusqu'à des organes vitaux tels que le foie, les reins ou le système circulatoire. Cette translocation peut entraîner une série d'effets délétères, notamment des altérations de l'activité métabolique et reproductive, diminution de la réponse immunitaire, stress oxydatif, inflammation et cancer, des blocages intestinaux, des troubles de la croissance (Guzzetti et al., 2018) et sur le plan écologique leur présence dans la colonne d'eau perturbent les fonctions des écosystèmes en modifiant la distribution de la lumière ce qui affecte directement le processus de la photosynthèse

### 3. Métaux lourds

Les métaux lourds, souvent appelés aujourd'hui éléments traces métalliques (ETM), sont des polluants inorganiques non biodégradables et persistants. Bien que la notion de « métaux lourds » soit encore largement utilisée, elle tend à être progressivement remplacée par celle d'ETM, plus précise sur le plan environnemental (Miquel, 2001).

Selon Nies (1999), les métaux lourds sont définis comme tout métal ayant une densité supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup>, un numéro atomique supérieur à celui du sodium ( $Z > 11$ ), et étant associé à une contamination, avec un potentiel toxique ou écotoxique.

#### 3.1. Classification des métaux lourds

les métaux lourds sont particulièrement toxiques pour l'homme et l'environnement, ils peuvent être subdivisés comme suit (Jakimska et al., s. d.):

- Oligo-éléments comme Mn (Manganèse), Fe (Fer) , Co (Cobalt), Cu (Cuivre), Zn (Zinc) Mo(Molybdène ) se sont des éléments essentiels à la croissance et aux cycles de vie des organismes, mais sont toxiques à des concentrations élevées .

- Les éléments qui n'entrent pas dans les cycles biologiques comme Pb(Plomb), Hg (Mercure) et Cd(Cadmium) toxiques même à de faibles concentrations.

### **3.2. Origine des métaux lourds**

Les éléments métalliques lourds sont des éléments chimiques inorganiques d'origine présents naturellement dans les roches, les minerais de la croûte terrestre généralement sous la forme minérale, cependant ils peuvent avoir également avoir une origine anthropique provenant des industries et de ruissellement des eaux urbaines, agricoles, industrielles.

Ainsi, les métaux lourds présents dans les sédiments marins peuvent être d'origine naturelle, résultant de l'érosion géologique, ou d'origine anthropique issus des activités industrielles, agricoles et urbaines. Une fois libérés, ces métaux lourds sont transportés vers les sédiments marins par les rivières, les oueds et les retombées atmosphériques, où ils finissent par s'accumuler.

### **3.3. Sources et comportement des métaux lourds**

Dans les environnements côtiers, les métaux lourds suivent un cycle biogéochimique complexe, influencé par des facteurs physico-chimiques, biologiques et géologiques, lorsqu'ils sont introduits dans ces milieux que ce soit par des sources naturelles (érosion, dépôts atmosphériques, activité volcanique) ou anthropiques (rejets industriels, agriculture, eaux usées, urbanisation) – les métaux comme le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le zinc (Zn) ou le cuivre (Cu) s'associent rapidement aux particules fines et sédimentaires. Ces sédiments côtiers agissent à la fois comme puits et sources potentielles de contamination : les métaux y sont immobilisés par adsorption sur les particules, précipitation sous forme de composés insolubles (oxydes, sulfures), ou complexation avec la matière organique (notamment les acides humiques). Cependant, sous certaines conditions environnementales (changements de pH, redox, salinité), ces métaux peuvent être désorbés et redevenir mobiles et biodisponibles, favorisant leur remobilisation dans la colonne d'eau. **(McComb, 2014)**

Les processus microbiens jouent aussi un rôle central dans ce cycle. Par exemple, les bactéries sulfato-réductrices transforment les métaux en formes plus insolubles via la production de sulfures métalliques tandis que d'autres micro-organismes peuvent méthyler certains métaux, comme le mercure, en les rendant plus toxiques et bioaccumulables (méthylmercure). Ces transformations influencent directement la biodisponibilité et donc la toxicité des métaux dans l'écosystème. **(El-Sharkawy et al., 2025)**

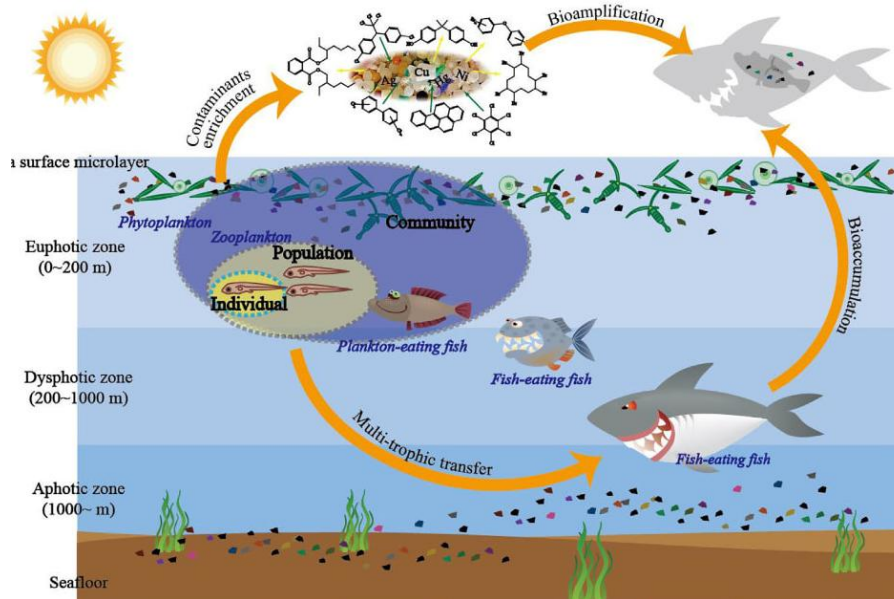


Figure 3 :Schéma du comportement des métaux lourds dans l'environnement marin

### 3.4. Toxicité des métaux lourds

Les métaux lourds représentent un groupe d'éléments chimiques dont la toxicité même à faible concentration, constituent un enjeu environnementales et de santé public majeur.

Sur le plan écologiques, ces substances exercent une toxicité directe sur les organismes benthiques, en raison de leur forte affinité pour les sédiments où ils s'accumulent durablement. Les espèces vivant en interaction étroite avec ces substrats, telles que les bivalves et les polychètes, sont particulièrement vulnérables, notamment en raison de leur mode d'alimentation basé sur la filtration ou l'ingestion des particules fines. Même à de faibles concentrations, des métaux comme le cadmium, le plomb ou le mercure peuvent provoquer des effets physiologiques sévères, incluant la diminution de la croissance, des altérations du métabolisme, voire une mortalité accrue. (Tchounwou et al., 2012)

Les métaux lourds constituent une toxicité indirecte importante liée à leur capacité à se bioaccumuler dans les tissus d'organismes et à se biomagnifier à travers la chaîne alimentaire, les métaux comme le Cd, Pb, Zn, Cu ou Ni s'accumulent dans les tissus des invertébrés, qui sont ensuite consommés par des prédateurs supérieurs des poissons, oiseaux ou mammifères marins. Ce transfert trophique représente une menace pour la faune marine et constitue également un risque pour la santé humaine, notamment par la consommation de produits de la mer contaminés. Sur le plan sanitaire, les métaux lourds représentent des toxiques systémiques majeurs, capables de

provoquer des effets délétères même à faibles doses d'exposition. L'arsenic, le cadmium, le chrome, le plomb et le mercure sont classés parmi les métaux prioritaires en raison de leur potentiel cancérigène et de leur toxicité multi organique. (*Handbook-on-the-Toxicology-of-Metals*, s. d.)

Leur danger pour la santé humaine dépend de leur forme chimique, de la voie d'exposition et de facteurs individuels. Ils perturbent les fonctions cellulaires essentielles, provoquant stress oxydatif, dommages à l'ADN et effets cancérigènes. La présence chronique de ces éléments dans l'environnement représente une menace majeure pour la santé publique mondiale.

#### 4. Radioéléments

La radioactivité est un phénomène naturel ou artificiel par lequel certains noyaux d'atomes, qualifiés d'instables, se désintègrent en émettant des rayonnements pour atteindre un état plus stable. Ces rayonnements peuvent être de trois types :

- **Rayonnement alpha ( $\alpha$ )** : constitués de noyaux d'hélium avec deux protons et deux neutrons, ces particules possèdent une masse élevée et une charge positive. Bien qu'incapables de pénétrer profondément dans la matière et arrêtées par une simple feuille de papier ou quelques centimètres d'air, leur ingestion ou inhalation peut infliger des dommages significatifs aux tissus vivants.
- **Rayonnement bêta ( $\beta$ )** : ces particules, qui sont des électrons ou des positrons à haute vitesse, ont une charge électrique négative (ou positive pour les positrons) et une masse relativement faible. L'exposition interne à ces émetteurs bêta constitue aussi un risque pour la santé
- **Rayonnement gamma ( $\gamma$ )** : ces rayonnements électromagnétiques à haute énergie, émis lors de désintégrations nucléaires ou de réactions nucléaires, peuvent traverser de nombreux matériaux, y compris les tissus humains.

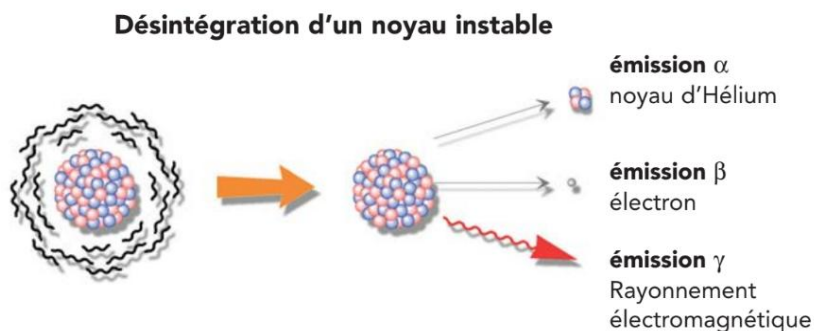


Figure 4 Désintégration d'un noyau instable (Delacroix et al. , 2006)

## 4.1. Origine des radioéléments

Nous distinguons deux origines de la radioactivité dans l'environnement

- **Radioéléments naturels**

La radioactivité fait partie intégrante de l'environnement terrestre. Elle provient à la fois du cosmos et de la croûte terrestre, affectant divers compartiments de l'environnement : les matériaux, les aliments, l'air que nous respirons, et même certains tissus du corps humain. Ainsi, les êtres humains sont continuellement exposés à des rayonnements ionisants naturels issus du sol, des matériaux de construction, de l'atmosphère, des aliments, du rayonnement cosmique et même de certains éléments présents naturellement dans l'organisme (**Kurnaz et al., 2007 ; UNSCEAR, 2000**).

On distingue principalement deux grandes sources de rayonnement naturel :

- **Rayonnement d'origine cosmique** : Ces radionucléides sont produits en continu par l'interaction des rayons cosmiques avec les noyaux atomiques des couches supérieures de l'atmosphère. Parmi les radionucléides cosmogéniques les plus connus, on retrouve : Tritium ( $^3\text{H}$ ), Béryllium-7 ( $^7\text{Be}$ ), Béryllium-10 ( $^{10}\text{Be}$ ), Carbone-14 ( $^{14}\text{C}$ ), Sodium-22 ( $^{22}\text{Na}$ ).
- **Rayonnement d'origine tellurique (ou terrigène)** : Il s'agit des radionucléides primordiaux, appelés ainsi car ils sont présents dans la croûte terrestre depuis la formation de la planète. Ces isotopes sont caractérisés par une très longue demi-vie, leur permettant de persister jusqu'à nos jours. Les plus représentatifs sont Thorium-232 ( $^{232}\text{Th}$ ), Uranium-238 ( $^{238}\text{U}$ ), Uranium-235 ( $^{235}\text{U}$ ), et Potassium-40 ( $^{40}\text{K}$ ). Ces isotopes naturels génèrent des chaînes de désintégration, produisant des radionucléides dits de filiation, comme le plomb 214 ( $^{214}\text{Pb}$ ) ou le bismuth-214 ( $^{214}\text{Bi}$ ). Leur présence dans les sédiments est généralement due à l'altération des roches mères, au transport par les eaux (ruissellement ou rivières) et à leur accumulation par sédimentation

- **Radioéléments artificiels**

L'activité humaine a introduit dans l'environnement une catégorie supplémentaire de radionucléides : les radioéléments artificiels. Ceux-ci résultent d'interventions technologiques ou industrielles, ayant entraîné le rejet d'isotopes radioactifs dans l'atmosphère, les sols, les eaux de

surface ou les sédiments. Ces radionucléides peuvent être absents à l'état naturel ou présents en quantités négligeables.

Les principales sources anthropiques de radioéléments sont les suivantes :

- Les essais d'armes nucléaires atmosphériques
- Les accidents nucléaires majeurs, comme ceux de Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011)
- Les rejets contrôlés ou accidentels provenant d'installations nucléaires (centrales, laboratoires, usines de retraitement)
- Le déversement de déchets radioactifs dans les mers et les océans.

Parmi les radionucléides on retrouve : Césium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), utilisé comme traceur principal des retombées nucléaires, Strontium-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ), Américium-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), Plutonium-239 et 240 ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ). La présence de ces éléments dans les sédiments constitue un indicateur direct de l'impact des activités humaines sur les milieux naturels,

#### **4.2. Source et comportement des radioéléments dans l'environnement marin**

Le comportement des radionucléides dans l'environnement dépend de plusieurs facteurs, notamment des caractéristiques du milieu récepteur, de leur forme physico-chimique et de leur mode d'introduction.

Dans le milieu marin, les principales sources de contamination radioactive proviennent des rejets liquides (notamment d'installations nucléaires) et des retombées atmosphériques (secs /humides).

Une fois introduits dans les eaux marines, les radionucléides interagissent avec les différentes composantes de l'écosystème. Leur comportement varie selon la matrice concernée. Ces éléments radioactifs se dispersent d'abord dans le milieu, avant de se répartir dans différents compartiments de l'environnement marin. Ils peuvent se présenter sous diverses formes : gaz , particules, aérosols ou matières en suspension.

De nombreux processus physiques et biogéochimiques interviennent, parmi lesquels (**Vives I Batlle et al., 2018**) :

- Le transport et la dilution des radionucléides par advection océanographique (courants marins) et dispersion

- Les échanges entre l'eau de mer et les particules en suspension, via des processus de sorption et d'échange d'ions
- L'accumulation dans les sédiments marins, par adsorption, précipitation sous forme colloïdales puis floculation
- La bioaccumulation par les organismes marins, par absorption depuis l'eau de mer, ingestion de nourriture contaminé ou de sédiments, et transfert le long de la chaîne alimentaire
- La remobilisation des radionucléides fixés aux sédiments, par désorption, remise en suspension des sédiments ou activité biologique.

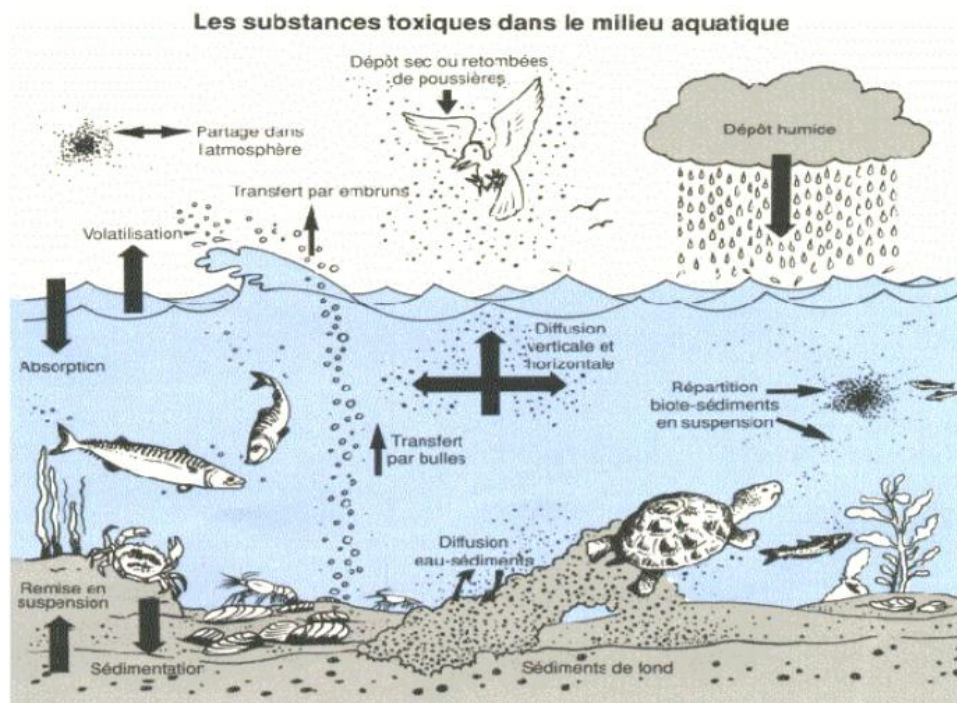


Figure 5 Différentes voies de transfert des radionucléides dans l'environnement marin

# **MATERIELS ET METHODES**

## 1. Description de la Zone d'étude

Le littoral algérois est situé au centre du littoral algérien. Il couvre une bande côtière comprise entre la baie de Bousmail à l'ouest et la baie de Zemmouri à l'Est avec un linéaire côtier qui s'étend sur environ 97,5 km, englobant dans son centre la baie d'Alger. Cette portion du littoral est marquée par une urbanisation intense, notamment dans la région de la capitale, où se concentrent les infrastructures portuaires, les zones résidentielles et les principales activités économiques. L'activité touristique y est également très présente, surtout pendant la saison estivale. Toutefois, cette forte anthropisation engendre de nombreuses pressions environnementales.

Le présent travail s'intéresse à l'étude de trois plages du littoral algérois, sélectionnées selon les exigences du protocole, à savoir une grande plage sableuse permettant la mise en place d'un transect d'échantillonnage de 100 mètres de longueur, parallèle au rivage et situé au-dessus de la ligne de marée haute correspondant au cycle quotidien des marées. Une plage a été choisie dans la

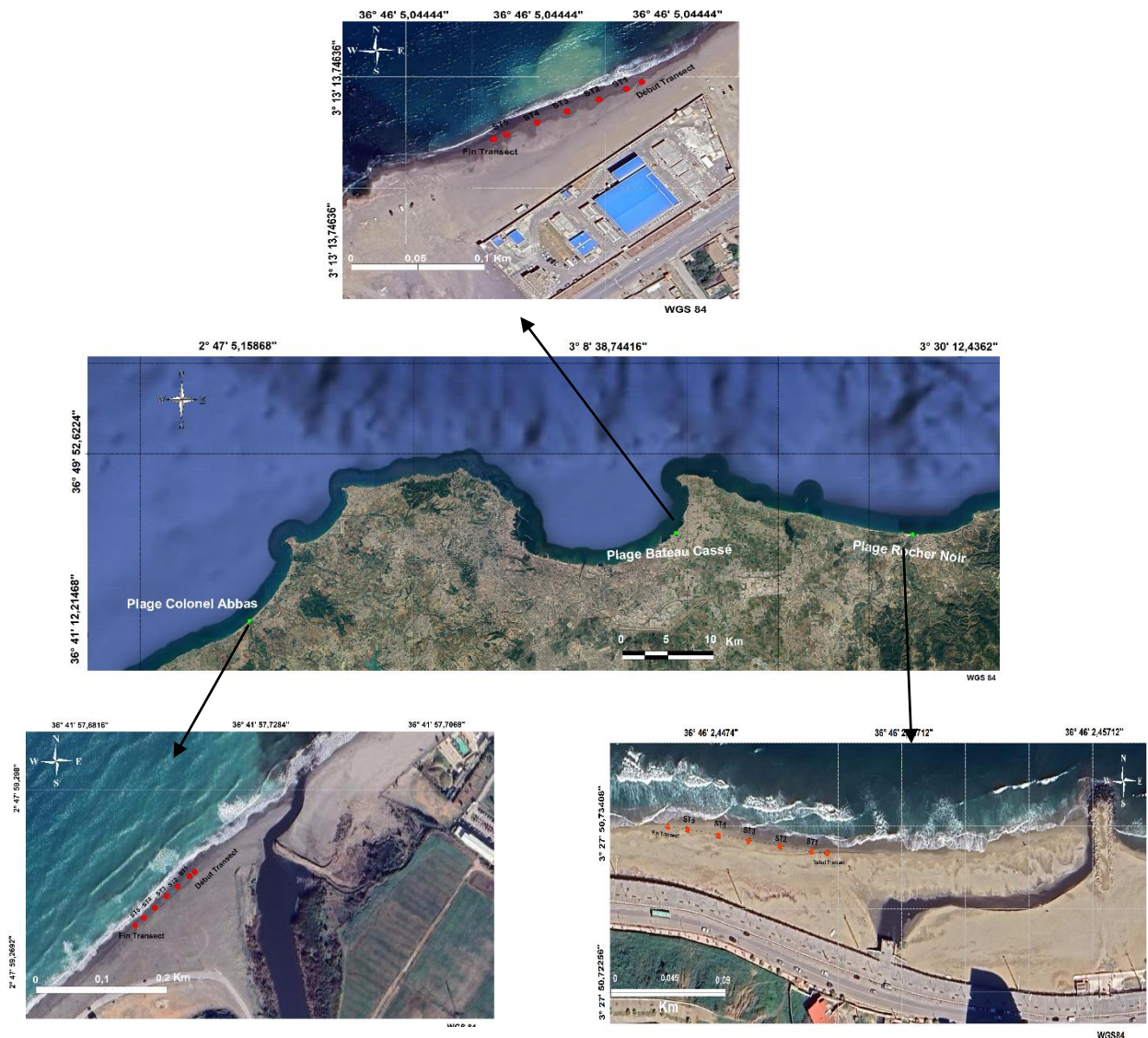


Figure 6. Cartes de la zone d'études et des sites d'échantillonnage

wilaya de Tipaza (à l'Ouest), une autre dans la wilaya d'Alger (au Centre), et la troisième dans la wilaya de Boumerdès (à l'Est)

### 1.1. Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri, située à l'est du littoral algérois, constitue une composante majeure de la grande baie de Boumerdes. Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, au sud par la plaine de la Mitidja, à l'est par le cap Djinet ( $36^{\circ}52'40.11''\text{N}$ ,  $3^{\circ}42'51.03''\text{E}$ ) et à l'ouest par le cap Matifou ( $36^{\circ}48'42.00''\text{N}$ ,  $3^{\circ}13'25.00''\text{E}$ ). Son linéaire côtier s'étend sur environ 54 Km

Ce littoral est fortement urbanisé, notamment en raison du développement des infrastructures industrialo-portuaires dans les régions de Rouiba, Zemmouri et Cap Djinet. Il bénéficie toutefois d'un réseau hydrographique dense, alimenté par plusieurs oueds, dont les plus importants en termes de débit et de régularité des rejets en mer sont les oueds Boudouaou, Boumerdès, Corso, Réghaïa et Isser (Aoudj et al., 2020). Ces cours d'eau jouent un rôle clé dans l'apport sédimentaire, influençant ainsi la dynamique morphosédimentaire du littoral de la wilaya de Boumerdès (Zagh, 2024)

- **Plage Rocher Noir**

Située dans la commune de Boumerdes, à l'est de la baie de Zemmouri, cette plage s'étend sur environ 2 km de longueur et présente une largeur moyenne de 50m. Elle est délimitée à l'ouest par une formation rocheuse appelée Rocher Noir ( $36^{\circ}46'6.27''\text{N}$ ,  $3^{\circ}28'36.22''\text{E}$ ) et à l'est par l'oued Corso ( $36^{\circ}46'1.96''\text{N}$ ,  $3^{\circ}27'14.74''\text{E}$ ). L'oued Tatareg traverse la plage en son centre, la divisant en deux parties. Il s'agit d'une plage sableuse, très fréquentée durant la saison estivale

Lors de la sortie sur le terrain, une forte présence de macro déchets plastiques, métalliques et organiques a été observée, avec une nette dominance des déchets plastiques

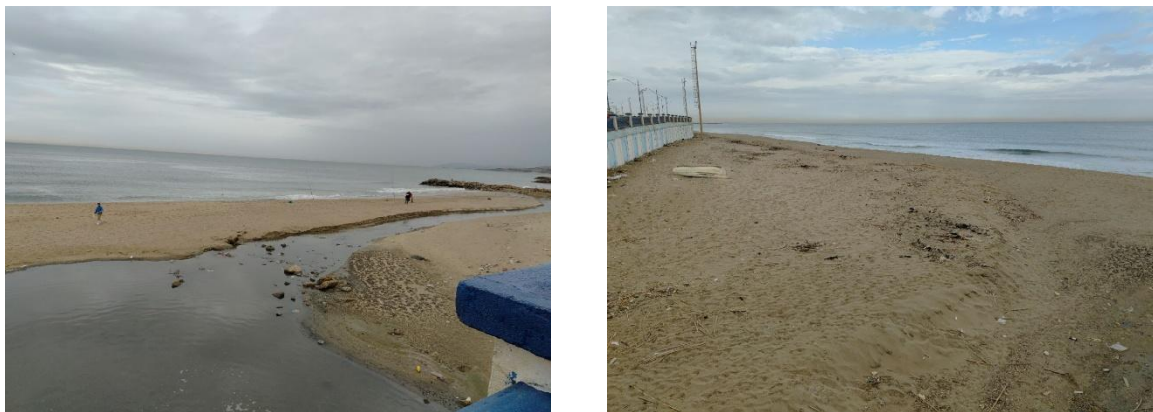


Figure 7 Plage Rocher noir (Boumerdes)

## 1.2. Baie d'Alger

La baie d'Alger, située au centre du littoral algérien, est une baie très échanquée de forme semi-circulaire. Elle est délimitée au nord par la mer Méditerranée, au sud par la plaine de la Mitidja, à l'ouest par le massif d'Alger avec Raïs Hamidou (pointe Pescade) (36°49'13.19"N, 3°00'39.21"E) et à l'est par Bordj El Bahri (cap Matifou) (36°48'40.96"N, 3°13'25.01"E). Le linéaire côtier de cette baie est d'environ 31 kilomètres.

Deux principaux oueds s'y déversent : l'oued El Harrach, situé au centre de la baie, et l'oued El Hamiz, dans sa partie orientale. Ces deux cours d'eau constituent des sources majeures de rejets directs d'eaux usées domestiques et industrielles, contribuant significativement à la dégradation de la qualité des eaux côtières.

L'ouest de la baie est constitué d'une falaise de roches dures, tandis qu'à l'est, elle se prolonge par une zone de plage formant le linéaire côtier. L'apport sédimentaire, principalement assuré par les réseaux hydriques, s'effectue d'est en ouest. Cependant, la construction du barrage d'El Hamiz a considérablement réduit les apports terrigènes vers la baie, affectant ainsi le processus naturel d'engraissement du littoral (Zagh, 2024)

La baie d'Alger est fortement polluée en raison des rejets issus de ses six zones industrielles, déversés dans les oueds ou directement dans les ports, avant de se retrouver dans le milieu marin. À cette pollution industrielle s'ajoutent les eaux usées domestiques ainsi que les eaux de ruissellement et d'irrigation provenant de la plaine de la Mitidja

- **Plage Bateau cassé**

Située à l'est de la baie d'Alger, la plage étudiée appartient à la commune de Bordj El Kiffan. Elle est délimitée par les coordonnées géographiques 36°46'6.53"N, 3°13'25.89"E à l'est et 36°45'59.84"N, 3°13'12.77"E à l'ouest. D'une longueur d'environ 400 mètres et d'une largeur moyenne de 60 mètres, cette plage sableuse est implantée à proximité immédiate de la station de dessalement. Elle connaît une forte fréquentation durant la saison estivale, ce qui accentue les pressions anthropiques exercées sur l'environnement littoral.

Une campagne de nettoyage a été effectués par l'APC avant la sortie sur terrain



Figure 8. Plage Bateau Cassé ( Alger)

### 1.3. Baie de Bou Ismaïl

La baie de Bou Ismaïl est située à l'ouest de la baie d'Alger. Largement ouverte vers le nord, elle est délimitée à l'est par Ras Acrata ( $36^{\circ}48'15.46''N$ ,  $2^{\circ}53'39.62''E$ ) et à l'ouest par le mont Chenoua ( $36^{\circ}37'55.77''N$ ,  $2^{\circ}24'11.29''E$ ). Elle est bordée au nord par la mer Méditerranée et au sud par la plaine de la Mitidja. Le linéaire côtier de cette baie s'étend sur environ 60Km

La côte de la baie de Bou Ismaïl présente une variété morphologique : des côtes rocheuses, des falaises, des plages et des dunes y sont observées (Zagh, 2024). Cependant, une érosion est également constatée, principalement due aux aménagements portuaires et maritimes, à l'extraction massive du sable, ainsi qu'à la réduction des apports sédimentaires causée par la construction de barrages. (PAC, 2005.)

Plusieurs oueds se jettent dans cette baie, parmi lesquels les plus réguliers sont l'oued Mazafran, l'oued Nador et l'oued Beni Messous. Ces cours d'eau participent à l'alimentation en sédiments, mais peuvent également représenter des sources de pollution en période de crue ou en cas de rejets non maîtrisés.

Les sources de pollution de la baie de Bou Ismaïl sont multiples. La région est caractérisée par des activités agricoles et touristiques intensives. Les eaux de ruissellement, chargées en engrais et en produits chimiques, ainsi que les rejets issus des complexes touristiques situés sur le littoral, représentent des sources majeures de pollution, particulièrement en période estivale, lorsque les débits augmentent. Ces rejets ne subissent aucun prétraitement avant d'être déversés en mer, ce qui accentue leur impact sur l'écosystème marin.

Par ailleurs, les rejets industriels non traités ont des effets écologiques particulièrement néfastes. En tête de liste figurent les effluents du groupe Tonic Emballage, qui déverse des eaux de traitement de papier. À cela s'ajoutent les rejets des industries pharmaceutiques, métallurgiques et agroalimentaires, contribuant également à la dégradation de la qualité de l'environnement marin.

- **Plage Colonel Abbas**

La plage de Colonel Abbas est située dans la commune de Douaouda, à l'est de la baie de Bou-Ismaïl. Elle est comprise entre les coordonnées géographiques 36°41' 08" et 36°42'47" de latitude nord, et entre 02°46 ' 20" et 02°48 '15" de longitude est. Il s'agit d'une zone d'expansion touristique, localisée en milieu urbain. Cette situation contribue à une accumulation notable de macrodéchets tout au long de l'année. Par ailleurs, l'oued Mazafran, principal cours d'eau de la baie, se jette à l'extrémité est de la plage avec un débit particulièrement important. La plage s'étend sur 2,3 kilomètres de longueur, pour une superficie estimée à 150 ha.



Figure 9 Plage Colonel abbas (Tipaza)



Figure 10 Macro déchets observés dans la plage Colonel Abbas lors de la sortie

## 2. Méthode de prélèvement

Les échantillons de la plage Rocher Noir (Wilaya de Boumerdes) et de la plage Bateau Cassé (Wilaya d'Alger) ont été prélevés le 10/03/2025, tandis que les échantillons de la plage Colonel Abbas (Wilaya de Tipaza) ont été prélevés le 11/03/2025. Les fiches de terrain sont jointes en annexe

- La zone de prélèvement des échantillons a été marquée en définissant un transect de 100 m de longueur, parallèle au rivage et situé au-dessus de la ligne de marée haute. (Fig .11)

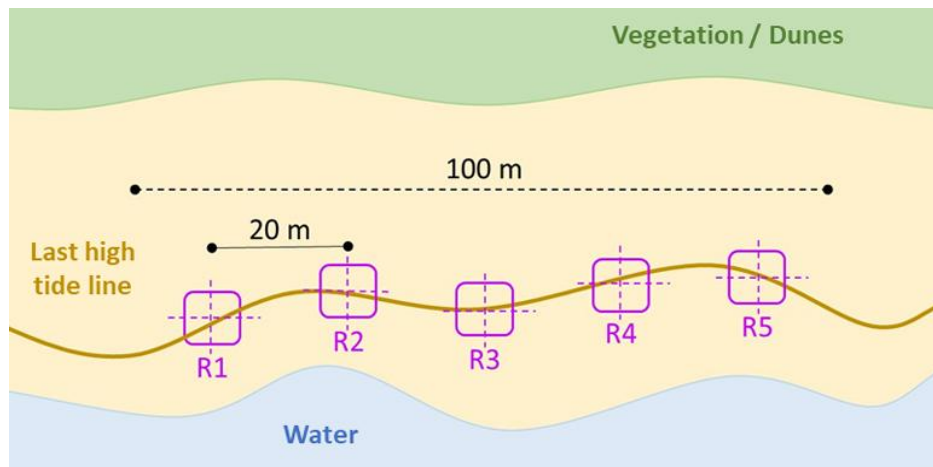


Figure 11. Délimitation de la zone de prélèvement des échantillons de sable dans la ligne de marée haute (transect de 100 m) et des points d'échantillonnage (R1 à R5) sur la plage (Adapté d'OSPAR et de Burgess et al.)

- Les cinq stations de prélèvement ont été déterminées le long du transect, espacées de 20m. (Fig.13)



Figure 12. Détermination du transect dans la ligne de la marée haute ainsi que les station

- Le quadrat de  $50 \times 50$  cm (divisé en quatre sections de  $25 \times 25$  cm) a été placé à la station prédéterminée. L'échantillon a été prélevé dans l'une des quatre sections du quadrat, sélectionnée de manière aléatoire. (Fig. 14)



Figure. 13 : Choix de la section du quadrat numéro 1 et prélèvement de la de couche de 1 cm

- Dans la section choisie, le premier centimètre de sable a été prélevé à l'aide d'une pelle en métal pour l'analyse des microplastiques. Pour les analyses des métaux lourds et des radioéléments, le prélèvement a été effectué avec une spatule en plastique.
- Pour les échantillons destinés à l'analyse des métaux lourds et des radioéléments, un échantillon par plage a été prélevé et placé dans des flacons en verre pour les métaux lourds et dans des sachets de congélation pour les radioéléments.
- Les échantillons destinés à l'analyse des microplastiques ont été conservés dans des récipients métalliques pré-nettoyés, munis d'un couvercle, protégés de la lumière et stockés à température ambiante jusqu'à l'analyse. En revanche, les échantillons destinés à l'analyse des métaux lourds et des radioéléments ont été conservés dans des sachets de congélation.
- Pour chaque site d'étude, nous avons prélevés :

Tableau 1 Prélèvements effectués lors des sorties sur terrain

Analyse	Nombre des échantillons
Granulométrie	15 (1 échantillon par station)
Microplastique	15 (1 échantillon par station)
Matière organique	15 (1 échantillon par station)
Métaux lourds	3 (1 échantillon par plage )
Radio-éléments	4 (1 échantillon par plage)

### 3. Microplastiques

#### 3.1.Procédure expérimentale

Le traitement des échantillons a été réalisé conformément aux directives de l'AIEA (*RAF 1010 Microplastics-Protocol- Regional Africa Workshop-1*, s. d.) afin de garantir la représentativité et la comparabilité des données obtenues

## • Séchage

Les échantillons ont été séchés dans une étuve à une température de 50 °C pendant 24 heures, jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Afin d'éviter toute contamination, ils ont été protégés à l'aide de papier aluminium. Une fois secs, les échantillons ont été pesés à l'aide d'une balance de précision (Fig.15)



Figure 14 : Détermination des poids des échantillons après séchage à 50°C pendant 24h

## • Tamisage

Les échantillons secs ont été tamisés manuellement à l'aide d'un tamis de 5 mm afin d'éliminer les fractions supérieures à ce diamètre, ensuite, le reste de l'échantillon a été tamisé à l'aide d'une tamiseuse (Fig.16). Deux fractions ont été obtenues

- 1 à 5 mm (le refus du tamis de 1mm a été récupérer)
- 300  $\mu$ m à 1 mm (le refus du tamis de 0  $\mu$ m a été récupérer).

Après chaque opération, les tamis ont été rincés à l'eau distillée, puis nettoyés avec une solution d'éthanol 70% pour éviter la contamination croisée entre les échantillons.

Chaque fraction a été collectée et pesée séparément.

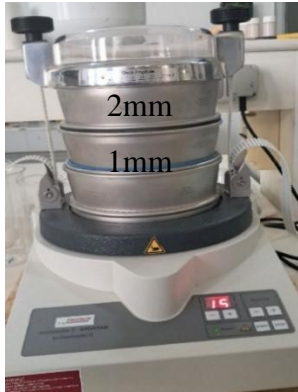


Figure. 15 : Tamisage des échantillons par des tamis 5mm 1mm et 300  $\mu$ m

- **Séparation par densité**

Une solution saline saturée de NaCl a été préparée en dissolvant 180 g de NaCl dans 500 ml d'eau distillée. La solution a été agitée à l'aide d'un agitateur magnétique, avant chaque utilisation la densité a été vérifiée (1,2 g/cm<sup>3</sup>) en pesant 1 ml de solution. (Fig.16)

Cette densité permet de séparer les microplastiques (moins denses) des sédiments (plus denses). Une goutte de tensioactif a été ajoutée pour éviter l'adhérence des particules aux parois du récipient.

Le mélange a ensuite été agité pendant 20 à 30 minutes, puis laissé au repos toute une nuit pour permettre la décantation. (Fig .17)



Figure 16 .Agitation des échantillons après l'étape de séparation par densité



Figure 17.verification de la densité de la solution NaCl

- **Filtration et récupération des microplastiques**

Le surnageant a été filtré à l'aide d'un tamis de 250  $\mu$ m pour la fraction. Les parois du bécher et du tamis ont été rincées avec de l'eau distillée afin de récupérer toutes les particules restantes et éliminer les traces éventuelles de sel.



Figure 18 .Récupération du surnageant

- **Digestion de la matière organique**

Les échantillons filtrés ont été transféré dans un bécher, puis traité avec 5ml de peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$  (30-35 %).

Le mélange a été agitée jusqu'à l'absence de formation de bulles, indiquant la complète dégradation de la matière organique.



Figure. 19 :Digestion de la matière organique par l'ajout de Peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$

- **Filtration des échantillons**

Après la digestion de la matière organique, les échantillons ont été soumis à une filtration sous vide à l'aide d'un dispositif équipé d'une rampe et de filtres. Cette étape permet de récupérer les microplastiques sur des filtres en microfibre de verre d'un diamètre de 55 mm et d'une porosité de  $0,47 \mu m$

Les filtres sont ensuite placés dans des contenants en aluminium propres, puis séchés dans une étuve à 40 °C afin d'éliminer toute humidité résiduelle. et conservés à température ambiante jusqu'à l'observation et l'analyse au microscope.



Figure. 20 :filtre récupéré



Figure .21 : Dispositif de filtration

- **Visualisation particules de microplastiques (MPs)**

Les particules ont été observées à l'aide d'un microscope optique (grossissement  $\times 10$ ) afin d'effectuer une première caractérisation morphologique. Cette étape a permis d'identifier et de classer les particules selon deux critères : la couleur (blanc, transparent, bleu, noir, rouge, etc.) et la forme. Les formes ont été catégorisées selon les standards couramment utilisés dans les études sur les microplastiques, à savoir : fragment, pellet, film, fibre et filament

**Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en abondance des particules microplastiques MPs par  $m^2$  et par kg de sédiment sec en appliquant les équations suivantes :

$$Abondance\ de\ MP\ (MP/m^2) = \frac{Total\ microplastiques\ dans\ le\ filtre}{Surface\ de\ prélevement\ (0,0625\ m^2)} \quad (1)$$

$$Abondance\ de\ MP\ (MP/kg) = \frac{Total\ microplastiques\ dans\ le\ filtre}{Poids\ sec\ de\ l'échantillon\ (kg)} \quad (2)$$

- **Identification des polymères**

L'identification des polymères a été effectuée à l'aide d'un spectromètre ATR-FTIR (Thermo Fisher Scientific), une technique largement utilisée pour caractériser les microplastiques en raison de sa précision et de sa capacité à détecter les groupes fonctionnels spécifiques à chaque type de polymère.

Seules les particules visuellement identifiables, telles que les fibres, fragments, films, pellets et filaments, ont été soumises à l'analyse FTIR. Les microplastiques de très petite taille, invisibles à l'œil nu, n'ont pas été analysés en raison des limitations de la technique, qui nécessite généralement une taille minimale de 10 à 20  $\mu\text{m}$  pour une identification fiable (**Huppertsberg & Knepper, 2018**).

Par ailleurs, la forte teneur en sable et en matière organique présente sur les filtres n'a pas permis d'analyser directement ces derniers par FTIR. Une étape de tri visuel a donc été réalisée en amont afin de regrouper les particules selon leur apparence morphologique et leur couleur.

### **3.2. Analyse Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier FTIR**

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une méthode qualitative utilisée pour identifier les groupes fonctionnels présents dans un matériau, en analysant les vibrations moléculaires provoquées par l'absorption du rayonnement infrarouge. Elle permet ainsi d'obtenir des informations sur la structure chimique des polymères. Cette technique présente plusieurs avantages : elle est rapide, sensible, non destructive et efficace pour l'analyse de matériaux organiques. Cependant, elle est principalement qualitative, et son efficacité diminue pour les particules de taille inférieure à 10–20  $\mu\text{m}$ . De plus, dans les échantillons complexes, le chevauchement des bandes spectrales peut rendre l'interprétation plus difficile.

- **Principe**

La spectroscopie FTIR repose sur la mesure de l'absorption du rayonnement infrarouge par les liaisons chimiques présentes dans les molécules. Chaque liaison absorbe une fréquence spécifique correspondant à son mode de vibration, ce qui permet d'identifier les groupes fonctionnels dans un échantillon.

Un faisceau infrarouge est dirigé vers l'échantillon, et les fréquences correspondant aux vibrations moléculaires sont partiellement absorbées. Le signal résultant est ensuite transformé mathématiquement (par transformée de Fourier) pour obtenir un spectre infrarouge, représentant l'intensité d'absorption en fonction du nombre d'ondes ( $\text{cm}^{-1}$ ). Ce spectre constitue une empreinte unique de la structure chimique du composé analysé.

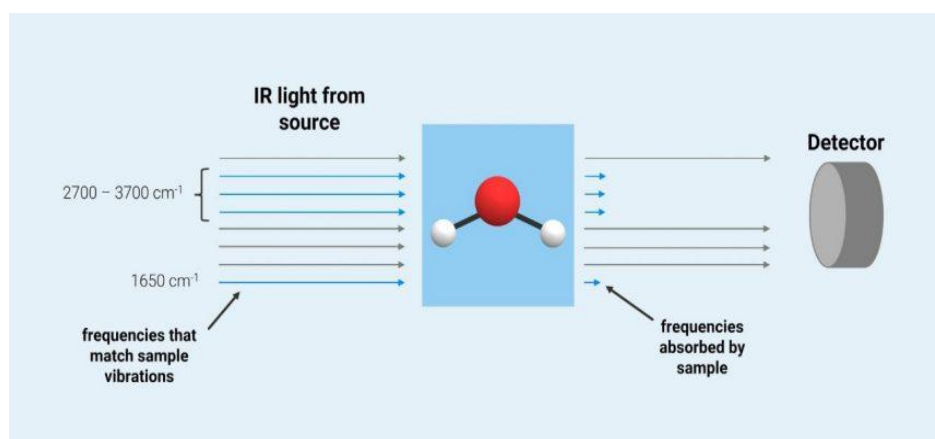


Figure.22 : schéma de fonctionnement de FTIR

## 4. Métaux traces

### 4.1. Procédure expérimentale

Les sédiments ont été collectés sur trois plage du littoral algérois : Rocher noir et Bateau Cassé et Colonel Abbas. Afin de préserver l'intégrité physico-chimique des échantillons, ceux-ci ont été congelés à -14 °C immédiatement après le prélèvement.

Deux types d'analyses ont été réalisés sur ces échantillons dans le cadre de l'évaluation de la teneur des métaux traces :

- L'analyse du mercure a été effectuée à l'aide de l'analyseur du mercure totale DMA-80 Tri Cell
- Analyse par fluorescence X à dispersion d'énergie (EDXRF)
- Avant toute analyse, les échantillons ont subi les étapes de préparation suivantes :
- Lyophilisation afin d'éliminer toute humidité résiduelle
- Tamisage dans le but d'obtenir une fraction fine, homogène et représentative.

### 4.2. Analyseur du mercure total DMA-80

L'analyse de mercure totale est une méthode utilisée pour mesurer la concentration totale de mercure dans un échantillon que soit liquide, solide ou gazeux en 6 min, l'équipement DMA-80 Tri Cell (Fig.24) détecte toutes les formes du mercure, qu'elles soient organiques ou inorganiques. Cette analyse repose sur quatre principes :

- **La thermolyse** : Permet la décomposition des échantillons contenant du mercure en mercure élémentaire.

- **La catalyse** : Améliore l'efficacité de la décomposition thermique pour une conversion plus complète et rapide des formes de mercure en mercure élémentaire, essentiel pour une mesure précise.
- **L'amalgamation** : Augmente la concentration de mercure pour une détection plus précise en concentrant le mercure capturé, améliorant ainsi la sensibilité de la méthode.
- **L'absorption atomique** : Souvent utilisée après la décomposition thermique pour mesurer la concentration en mercure dans les échantillons.



Figure. 23 :Analyseur de mercure totale DMA-80 Tri Cell

### Principe

- L'échantillon est d'abord séché par des étapes de chauffage contrôlé, puis décomposé thermiquement sous un flux d'oxygène.
- Le flux d'oxygène entraîne le mercure ainsi que les produits de décomposition à travers un lit de catalyseur, destiné à piéger les substances interférentes.
- Toutes les formes de mercure présentes sont alors réduites en mercure élémentaire, lequel est capturé sur un amalgamateur en or.
- Après une phase de purge du système, l'amalgamateur est chauffé, libérant les vapeurs de mercure qui sont ensuite analysées par spectrophotométrie d'absorption atomique.

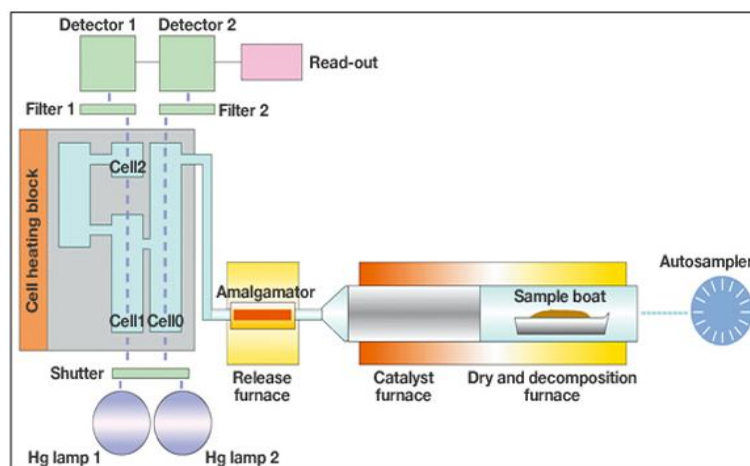


Figure. 24 : Système de fonctionnement de DMA-80 TRI CELL (Milestone, 2015/2021)

Avant de procéder à l'analyse, plusieurs étapes préparatoires ont été réalisées, notamment :

- **Vérification de la contamination de l'analyseur DMA-80 Tri Cell**

Une analyse à blanc a été réalisée avant l'analyse des échantillons afin de vérifier le niveau de contamination potentielle et d'évaluer la concentration du bruit de fond. Les résultats ont montré que l'analyseur était exempt de contamination ; par conséquent, une décontamination n'a pas été nécessaire.

- **Décontamination des porte-échantillons**

Afin de garantir la fiabilité des mesures et d'éviter les contaminations croisées, les porte-échantillons ont été nettoyés à l'aide d'une brosse pour éliminer toute substance adhérant aux parois, puis décontaminés dans un four à moufle à 600 °C pendant 15 minutes

- **Pesée des échantillons**

0,05 g de chaque échantillon ont été pesés à l'aide d'une balance de précision de type Axis, avec une résolution de  $10^{-9}$  g, puis placés dans les porte-échantillons avant d'être introduits dans l'analyseur.



Figure. 25 :Pesage et introduction des échantillons dans l'analyseur

- **Assurance qualité**

Afin de garantir la fiabilité des mesures obtenues avec l'analyseur DMA-80, un échantillon de référence certifié de sédiment marin (**IAEA-457**, International Atomic Energy Agency, 2024) a été analysé. Les résultats obtenus étaient conformes aux valeurs certifiées, validant ainsi la méthode employée.

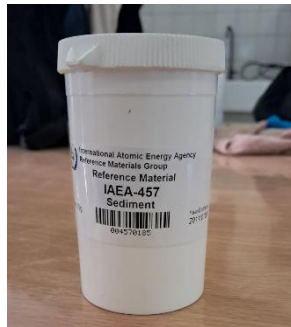


Figure. 26 :Echantillon de référence IAEA-457

### 4.3.Fluorescence X à Dispersion d'Énergie (EDXRF)

L'EDXRF (Fluorescence X à Dispersion d'Énergie) est une technique analytique utilisée pour l'analyse élémentaire. Elle permet l'identification et la quantification rapide d'une large gamme d'éléments, allant du sodium (Na) à l'uranium (U). Grâce à sa capacité d'analyse multi-élémentaire, l'EDXRF fournit des résultats avec une sensibilité de l'ordre du ppm (partie par million). Elle est particulièrement appréciée pour sa rapidité, son efficacité et le fait qu'elle ne nécessite pas de préparation destructrice de l'échantillon.

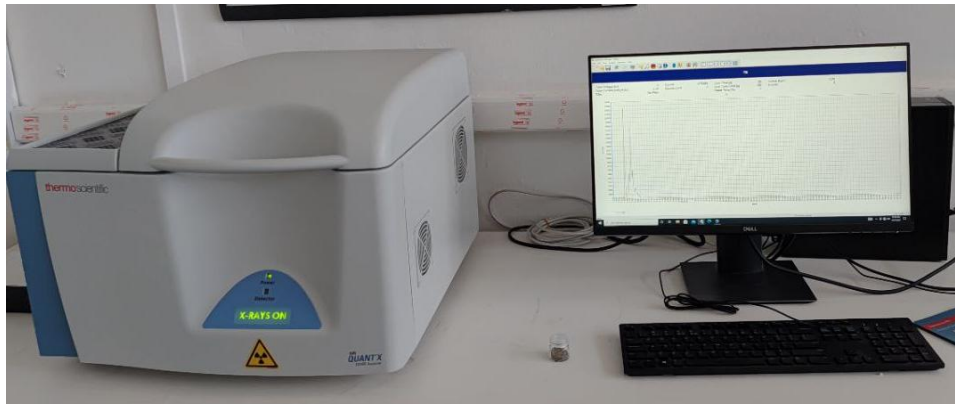


Figure.27 : Spectromètre ARL QUANT'X EDXRF.

## Principe

Lorsqu'un échantillon est irradié par un faisceau de rayons X primaires émis par un tube à rayons X, les atomes présents dans l'échantillon sont excités, entraînant l'éjection d'électrons des couches internes. Le réarrangement électronique qui suit génère des rayons X secondaires (fluorescents) caractéristiques de chaque élément chimique. Ces rayons sont ensuite détectés par un détecteur à dérive de silicium (SDD), qui mesure leur énergie pour identifier les éléments et leur intensité pour en quantifier la concentration.

Avant de procéder à l'analyse, plusieurs étapes préparatoires ont été réalisées, notamment :

- **Préparation des échantillons**

Les échantillons ont été tamisés, et la fraction retenue sur le tamis de 125  $\mu\text{m}$  (fraction supérieure à 125  $\mu\text{m}$ ) a été récupérée. Deux grammes (2 g) de chaque échantillon ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance de précision, puis placés dans des porte-échantillons recouverts d'un film Mylar



Figure 28 Préparation des échantillons à analysés

- **Assurance qualité**

Pour valider les résultats obtenus par le spectromètre EDXRF, un échantillon de référence certifié (Standard Reference Material® 2706, New Jersey Soil – Organics and Trace Elements), fourni par

le National Institute of Standards and Technology (NIST), a été analysé. Ce matériau est destiné à l'analyse de constituants inorganiques et organiques dans les sols, notamment les éléments traces. Les résultats obtenus ont été comparés aux valeurs certifiées

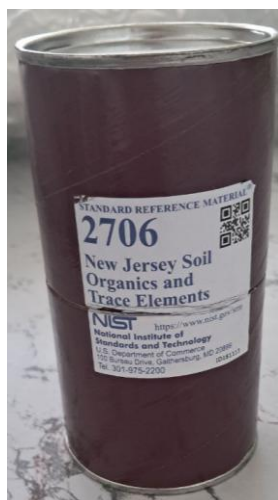


Figure 29 :Echantillon de référence (Standard Reference Material® 2706, New Jersey Soil – Organics and Trace Elements, NIST)

## 5. Radioéléments

### 5.1.Procédure expérimentale

Afin d'évaluer la radioactivité présente dans les sédiments des plages étudiées, Les échantillons ont ensuite été séchés à 50 °C dans une étuve, puis tamisés afin d'éliminer la fraction supérieure à 2mm. Ensuite 100 g de chaque échantillon ont été pesés et placés dans une géométrie de comptage de 125 g

La spectrométrie gamma disponible au Laboratoire de Radioécologie et de Surveillance de l'Environnement a été utilisée pour identifier et quantifier les radionucléides présents dans les échantillons de sédiments prélevés sur différentes plages

### 5.2.Spectrométrie gamma

La spectrométrie gamma est une technique de mesure nucléaire largement utilisée pour l'identification des radionucléides émetteurs gamma ainsi que pour la quantification de leur activité.

Elle présente plusieurs avantages, notamment sa simplicité, l'absence de prétraitement chimique (comme l'utilisation d'acides), ainsi que la possibilité d'identifier et de quantifier simultanément

plusieurs radionucléides gamma à partir d'un seul échantillon. (*Minty-Fundamentals of gamma-rayspectrometry, s. d.*) .



Figure. 30 : Chaîne de Spectrométrie gamma

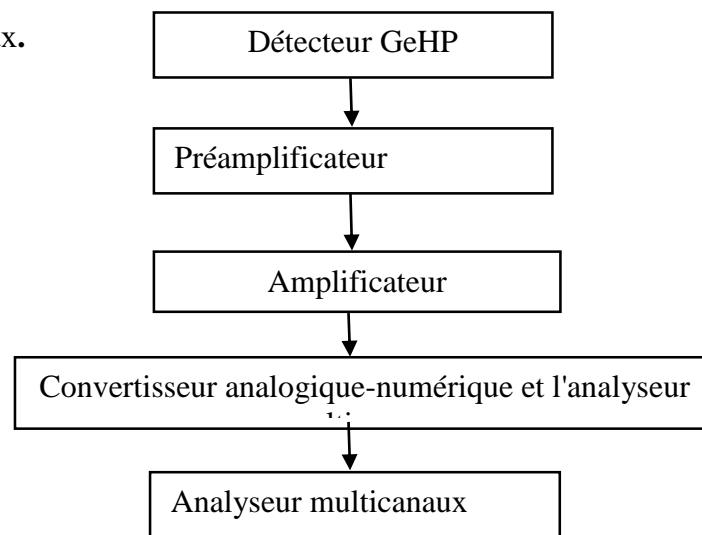
### Principe

Elle repose sur la détection de l'énergie et du nombre de photons gamma émis par les noyaux radioactifs présents dans l'échantillon. Lorsqu'un noyau instable se désintègre, il émet un rayonnement gamma d'énergie spécifique.

Ces photons sont enregistrés par un spectromètre gamma, qui produit un spectre énergétique indiquant le nombre de photons détectés en fonction de leur énergie. Chaque pic du spectre correspond à un isotope radioactif particulier, permettant ainsi son identification (analyse qualitative) et la détermination de sa concentration (analyse quantitative).

### Chaîne d'acquisition de spectrométrie gamma

Elle correspond à l'ensemble des composants techniques permettant de convertir le rayonnement gamma émis par un échantillon en un signal électrique exploitable sous forme de spectre énergétique. Elle comprend plusieurs étapes essentielles, assurant la détection, le traitement et l'analyse des signaux.



- **Détecteur GeHP** : est un détecteur de type semi-conducteur, permet détection des rayonnements ionisants, principalement utilisé en spectrométrie gamma pour sa très haute résolution énergétique. Il est constitué d'un cristal de germanium, dans lequel les photons gamma incidents produisent des paires électron-trou. Ces charges sont collectées sous l'effet d'un champ électrique, générant un signal électrique proportionnel à l'énergie du photon incident. Grâce à la faible énergie requise pour produire une paire électron-trou Ce détecteur nécessitent toutefois un refroidissement cryogénique (à l'azote liquide) pour limiter le bruit thermique. (*Minty-Fundamentals of gamma-rayspectrometry, s. d.*) les GeHP sont aujourd'hui considérés comme la référence pour les mesures de haute précision en radioactivité environnementale, nucléaire et médicale.

Tableau 2 Caractéristiques du détecteur utilisé

Efficacité relative	40%
Résolution	1,9keV
Tension de polarisation	3500 Volts

### Chaîne d'acquisition

- **Le préamplificateur** : il est place proximité du cristal Pour diminuer le bruit électronique, son rôle principale est de fournir une impulsion qui peut être traité avec l'amplificateur à partir des charges collecté sur les électrodes des détecteurs (Gasser, s. d.)
- **Amplificateur** : réalise deux tâches essentiels porte l'impulsion fournie par le préamplificateur a plusieurs volts sous forme gaussien, **qui** sert à la mise en forme du signal et à son amplification et d'obtenir un signal gaussien.
- **Convertisseur analogique-numérique et l'analyseur multicanaux** : Après amplification, le signal obtenu est continu. Pour le traiter numériquement, il est nécessaire de le convertir en une forme discrète. Cela est réalisé grâce à un convertisseur analogique-numérique (ADC), qui transforme l'amplitude du signal électrique en une valeur numérique proportionnelle à l'énergie déposée dans le cristal. Cette conversion prend entre 0,8 et 6 microsecondes. Le signal converti est ensuite enregistré dans une mémoire, chaque canal correspond à une plage d'énergie. L'analyseur multicanaux (MCA) permet de classer les événements selon leur énergie : à chaque nouveau signal, le canal correspondant est identifié, son contenu est incrémenté, et les données sont stockées. On

obtient ainsi un histogramme en temps réel, où chaque canal représente une énergie, et le nombre de coups indique combien de photons ont déposé cette énergie dans le cristal.(Courtine, s. d.)

- **Logiciel du traitement** : Le logiciel utilisé pour le traitement des données spectrométriques est Genie2000, développé par la société Canberra [Can]. Ce logiciel permet la visualisation en temps réel du spectre fourni par l'analyseur multi-canaux (MCA), représentant le nombre de coups détectés (ordonnée) en fonction du numéro de canal (abscisse)

Les caractéristiques essentielles de la chaîne d'acquisition de la spectrométrie gamma sont :

- **Résolution en énergie** : Il s'agit de la capacité du détecteur à distinguer des photons gamma de différentes énergies. Une bonne résolution permet de séparer clairement les pics d'émission de radionucléides émettant à des énergies proches, ce qui est essentiel pour une identification fiable.
- **Tension de polarisation** : Dans les détecteurs à semi-conducteurs, une tension électrique est appliquée pour créer une zone de collecte des charges générées par l'interaction des photons gamma. Cette tension doit être optimisée pour assurer une collecte efficace et réduire le bruit de fond.
- **Efficacité de détection** : Elle représente la probabilité qu'un photon gamma incident soit effectivement détecté par le système. Une haute efficacité est primordiale, notamment pour la détection de faibles niveaux de radioactivité et pour l'obtention de mesures quantitatives précises.

Procédure d'analyse

- **Calibration du système** : Avant toute mesure, une calibration analogique est effectuée afin d'optimiser les réglages du préamplificateur et de l'amplificateur pour obtenir des signaux fiables et bien résolus.
- **Étalonnage en énergie** : consiste à établir une correspondance entre les canaux du spectre et les énergies réelles des photons gamma. Cette étape est essentielle, car un décalage du seuil ou une non-linéarité de la courbe d'étalonnage peut entraîner des erreurs dans l'identification des radionucléides émetteurs gamma. Pour réaliser cet étalonnage, des sources ponctuelles standards ont été utilisées : Am-241, Cs-137 et Co-60. Le choix de ces trois sources repose sur l'étendue spectrale généralement rencontrée dans les échantillons environnementaux, qui va de 30 keV à 2000 keV. Les énergies caractéristiques des photons

gamma émis par ces sources sont respectivement de 59,54 keV (Am-241), 661,6 keV (Cs-137) et 1332,5 keV (Co-60), ce qui permet de couvrir de manière représentative toute la plage énergétique d'intérêt.



Figure.1 .32 : Sources radioactives utilisées pour l'étalonnage Am-241, Cs-137,Co—60

$$E = a + zX \quad (4)$$

Avec :

E : Energie en (KeV)

X : Numéro de canal

A et z sont des constante

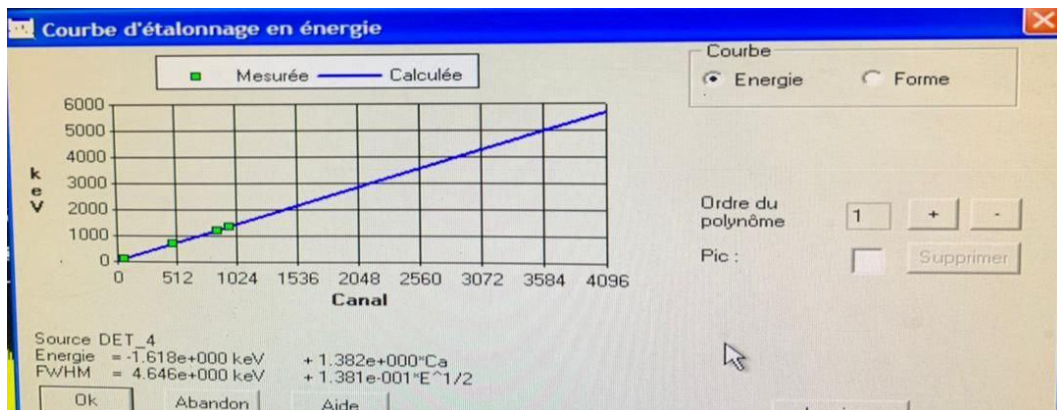


Figure.33 : Courbe d'étalonnage en énergie

- Étalonnage en efficacité :** L'efficacité de comptage (ou rendement de détection) correspond au rapport entre le nombre de photons gamma détectés dans le spectre et le nombre total de photons émis par l'échantillon. Comme tous les photons ne sont pas interceptés par le détecteur, le résultat mesuré doit être corrigé par cette efficacité pour obtenir l'activité réelle. Cette efficacité dépend de nombreux paramètres : l'énergie des photons, la nature et la géométrie du flacon utilisé, les dimensions du détecteur, la distance entre la source et le détecteur, le blindage ainsi que les matériaux environnants ,Pour estimer l'efficacité avec précision on utilise une source étalon dont les activités des émetteurs gamma sont connues et dont les caractéristiques physiques (densité, volume, géométrie) et chimique (composition chimique) sont similaires à celles des échantillons à

analyser. Cette source est mesurée dans les mêmes conditions expérimentales que les échantillons, ce qui permet de calculer l'efficacité de détection pour différentes énergies et d'établir ainsi la courbe d'efficacité nécessaire à la quantification des radionucléides.

L'efficacité est obtenue par la relation suivante :

$$\epsilon = \frac{N}{t \times I \times A \times m(v)} \quad (5)$$

Avec :

A= Activité du radionucléide(Bq)

t = Temps de comptage (sc)

I= Intensité (%)

$\epsilon$  = l'efficacité de détection du radio radionucléide (Bq/g ou Bq/mL)

N=le nombre de désintégration ou la surface du pic du radioélément

L'activité des radionucléides présents dans les sources a été corrigée à la date de son utilisation par l'équation suivante :

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda T} \quad \text{avec} \quad \lambda = \ln(2) / T \quad (3)$$

Tableau 3 les efficacité des radionucléides du standards

Radionucléide	Energie (KeV)	Efficacité
Pb-210	46,5	0,0641
Pb-212	238,63	0,0619
Pb-214	351,9	0,0492
Tl-208	583,1	0,0333
Bi-214	609	0,0320
Cs-137	661,657	0,0297
Ac-228	911,196	0,0218
K-40	1460,8	0,0132

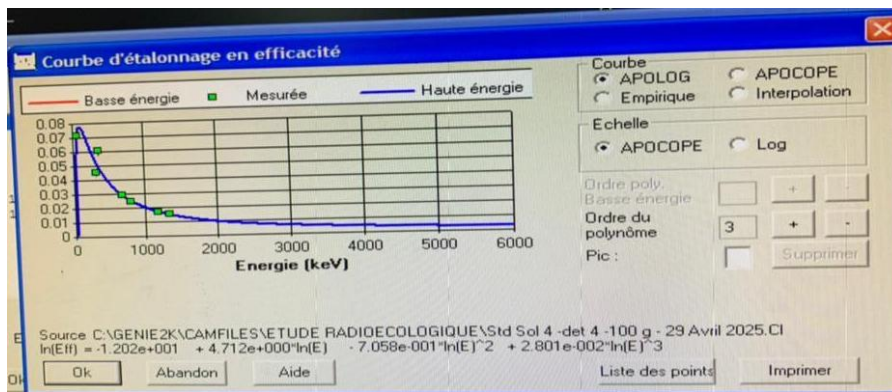


Figure 34 : Courbe d'étalonnage en efficacité

Une analyse qualitative et quantitative a été effectuée afin de caractériser les radioéléments et de déterminer leur activité spécifique.

- **Analyse qualitative**

Chaque échantillon de sédiment est analysé durant une période de 24 heures (86400 secondes). La visualisation des pics énergétique se fait à l'aide du logiciel Fitzpeaks. L'analyse qualitative consiste à identifier les radionucléides présents en se basant sur la position des pics énergétiques, puis à calculer leur activité spécifique en  $\text{Bq.kg}^{-1}$ . radionucléides présents en se basant sur la position des pics énergétiques, puis à calculer leur activité spécifique en  $\text{Bq.kg}^{-1}$ . consiste à identifier les

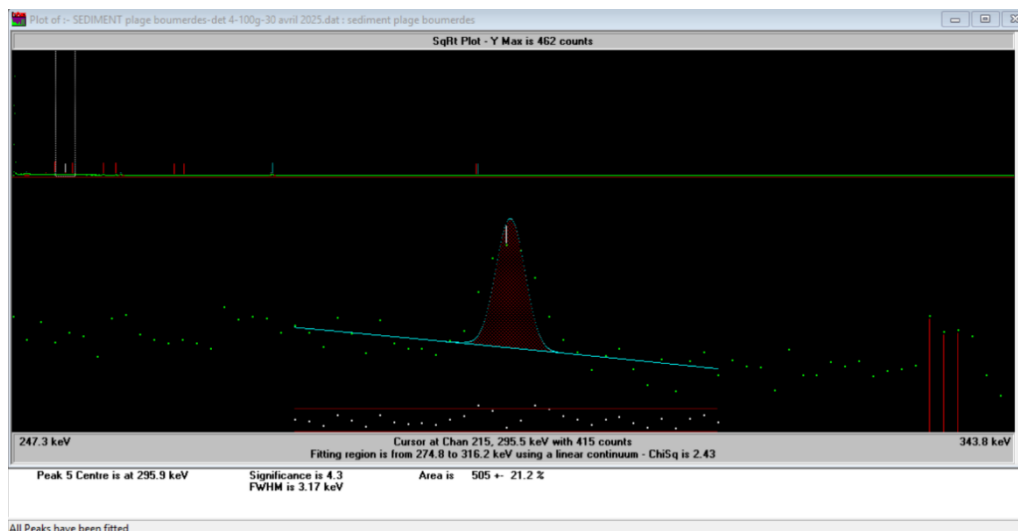


Figure. 35 : Exemple de spectre observé par Fitzpeaks

- **Analyse quantitative**

La quantification repose sur la mesure de la surface des pics obtenus, en lien avec un étalon de référence de géométrie identique. L'activité (en Bq) est directement proportionnelle au nombre de désintégrations détectées pendant le temps d'acquisition. L'activité d'un échantillon, exprimée en

becquerels (Bq), correspond au nombre de désintégrations nucléaires par seconde. L'intensité d'un pic dans le spectre gamma est directement proportionnelle à l'activité du radionucléide, puisqu'elle représente l'ensemble des désintégrations enregistrées pendant la durée d'acquisition.

L'activité est calculée par la relation suivante :

$$A = \frac{N_{net} - N_{BF}}{t \times I \times m \times \varepsilon} \quad (4)$$

Avec :

A= Activité du radionucléide(Bq)

t = Temps de comptage (seconds)

I= Intensité (%)

$\varepsilon$  = Efficacité de détection du radio radionucléide (Bq/g ou Bq/mL)

N= nombre de désintégration ou la surface du pic du radioélément

Les incertitudes absolues sur les activités massiques sont données par l'expression suivante :

$$\frac{\sigma A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\sigma \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{\sigma m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\sigma t}{t}\right)^2} \quad (5)$$

Où:

N: Nombre de désintégration

$\varepsilon$ : est l'efficacité de détection

I : est la probabilité d'émission en % ,

m : est la masse en g de l'échantillon à analyser ,

t : est le temps de comptage en seconde,

## 6. Caractéristiques sédimentaires

### 6.1. Analyse de la matière organique – Méthode de la perte au feu (LOI)

Le protocole adopté est celui de (Luczak et al., s. d.)

- **Séchage et pesée initiale**

2g de sédiments ont d'abord été lyophilisés afin d'éliminer l'humidité résiduelle. Ensuite, 0,5 g de sédiment ont été pesés et placés dans des creusets préalablement tarés. La masse du creuset contenant l'échantillon sec a été notée  $P_2$ .



Figure 36 Lyophilisation des Echantillons

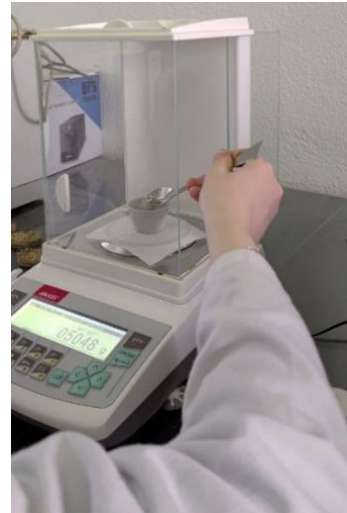


Figure 37 : Pesage des échantillons

- **Calcination**

Les échantillons ont été soumis à une calcination à une température de 480 °C pendant une durée de quatre heures à l'aide d'un four à moufle (Fig.5). Cette étape permet la combustion complète de la matière organique.

Après refroidissement des creusets dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité, la masse des creusets contenant les sédiments calcinés a été notée  $P_3$ .



Figure .38 : Calcination des échantillons à 480°C

- **Calcul de la perte au feu (LOI)**

La perte au feu, correspondant à la fraction de matière organique, est calculée selon la formule suivante :

$$LOI(\%) = \left( \frac{(P_2 - P_3)}{(P_2 - P_1)} \right) * 100 \quad (6)$$

$P_1$  : Masse du creuset vide

$P_2$  : Masse du creuset + sédiment sec

$P_3$  : Masse du creuset + sédiment après calcination

## 6.2. Analyse granulométrique

Les échantillons de sédiment de plages ont été destinés à l'analyse granulométrique, réalisée en deux étapes complémentaires.

- **Détermination de la teneur en péllites**

La teneur en péllites est déterminée par la différence entre le poids sec du sédiment mesuré lors de l'analyse granulométrique, avant et après une séparation humide réalisée à l'aide de tamis de 40, 63 ou 80  $\mu\text{m}$  (Rivière, 1977).

Dans le cadre de cette étude, le tamis de 63  $\mu\text{m}$  a été choisi afin de mettre en évidence la corrélation entre la concentration en métaux traces et radioélément et la proportion de la fraction fine, généralement définie par le pourcentage de particules dont le diamètre est inférieur à 63  $\mu\text{m}$ .

### Protocole expérimental

- Les échantillons de sable de plage (200 g chacun) ont été placés dans des boîtes de Pétri, puis sécher dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures (Figure 30).
- Une fois le séchage terminé, chaque échantillon a été pesé afin de déterminer son poids sec initial ( $P_1$ ).
- Les échantillons sont ensuite rincés à l'eau à travers un tamis de 63  $\mu\text{m}$ , avec une agitation manuelle pour faciliter l'élimination de la fraction péllitique (particules fines).
- Après ce lavage, les résidus retenus par le tamis sont replacés dans des boîtes de Petri, puis soumis à un second séchage à 105 °C pendant 24 heures.
- Une fois secs, les échantillons sont de nouveau pesés. Le poids obtenu après rinçage et séchage ( $P_2$ ) correspond à la fraction non péllitique. La différence entre les deux pesées donne la masse des péllites éliminées.



Figure. 39 : Première pesée 200g



Figure. 40: Rinçage

- La masse des péllites (P) est calculée selon la formule suivante :

$$P (g) = P1 - P2 \quad (7)$$

Où :

P : masse des péllites (en grammes)

P1 : poids sec initial du sédiment (avant rinçage)

P2 : poids sec final (après rinçage)

Le pourcentage des péllites dans les échantillons est ensuite déterminé par la formule :

$$\% \text{ Péllites} = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100 \quad (8)$$

- **Analyse granulométrique de la fraction grossière**

Les échantillons de sédiments ont été destinés à une analyse granulométrique réalisée conformément à la norme AFNOR NF P 94-056.

- Ils ont été préalablement séchés à 105 °C pendant 24 heures afin d'éliminer toute humidité.

- Un tamisage mécanique a ensuite été effectué à l'aide d'une tamiseuse de type Fritsch ANALYSETTE 3 SPARTAN, équipée d'une série de tamis normalisés à mailles décroissantes : 2 mm, 1 mm, 500  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 90  $\mu\text{m}$ , 63  $\mu\text{m}$  et 45  $\mu\text{m}$ .
- Le tamisage a été réalisé mécaniquement sur une table vibrante pendant dix minutes, en introduisant 500 g de sédiment sec dans la tamiseuse pour chaque échantillon.
- À l'issue du tamisage, les refus de chaque tamis (particules retenues) ont été pesés à l'aide d'une balance de précision, et la somme des masses obtenues a été vérifiée afin de garantir la qualité des résultats



Figure 41 ANALYSETTE 3 SPARTAN

# **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## RESULTATS ET DISSCUSSIONS

Ce chapitre présente les résultats obtenus à la suite des analyses réalisées sur les échantillons de sédiments prélevés le long du littoral algérois. L'objectif est d'interpréter les données relatives à la présence des microplastiques, des métaux traces et des radioéléments, en s'appuyant sur des indicateurs statistiques et des comparaisons avec des études antérieures. Les résultats sont discutés afin d'évaluer l'état de la pollution sédimentaire, d'identifier les sources potentielles de contamination et de mettre en lumière les implications environnementales de ces polluants dans le contexte côtier étudié.

### 1. Caractéristiques sédimentaires

#### 1.1. Teneur en matière organique (MO)

- **Plage Rocher noir (Boumerdes)**

Les teneurs en MO du Boumerdes varient entre 0.23 % et 8.40 % avec une moyenne d'environ 4,2 %. Cette variabilité peut résulter de plusieurs facteurs, notamment la nature mixte des apports organiques (marins, terrigènes et anthropiques), et l'apport d'une hydrodynamique irrégulière, ainsi que la granulométrie variable des sédiments, qui influence la capacité de rétention de la MO.

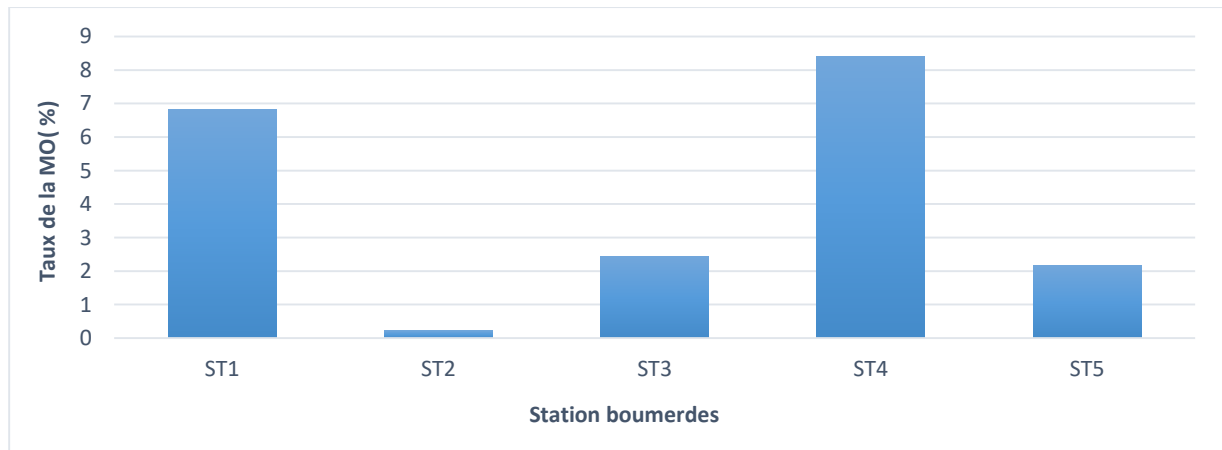


Figure .42 : Teneurs de la MO dans les sédiments de plage Rocher noir (Boumerdes)

- **Plage Bateau Cassé (Alger)**

À Bateau Cassé, la matière organique varie entre 2,91 % et 5,35 %, avec une moyenne de 3,9 %, les taux de matière organique sont modérés et relativement homogènes. Cette stabilité des concentrations suggère un environnement sédimentaire relativement uniforme, où les apports organiques sont réguliers et bien mélangés. L'absence de pics extrêmes peut indiquer une bonne

circulation hydrodynamique, qui favorise la dispersion des particules fines et des matières organiques, mais aussi l'absence d'influences ponctuelles majeures.

Ce profil est typique des zones côtières soumises à une pression anthropique modérée et bénéficiant d'un brassage naturel important.

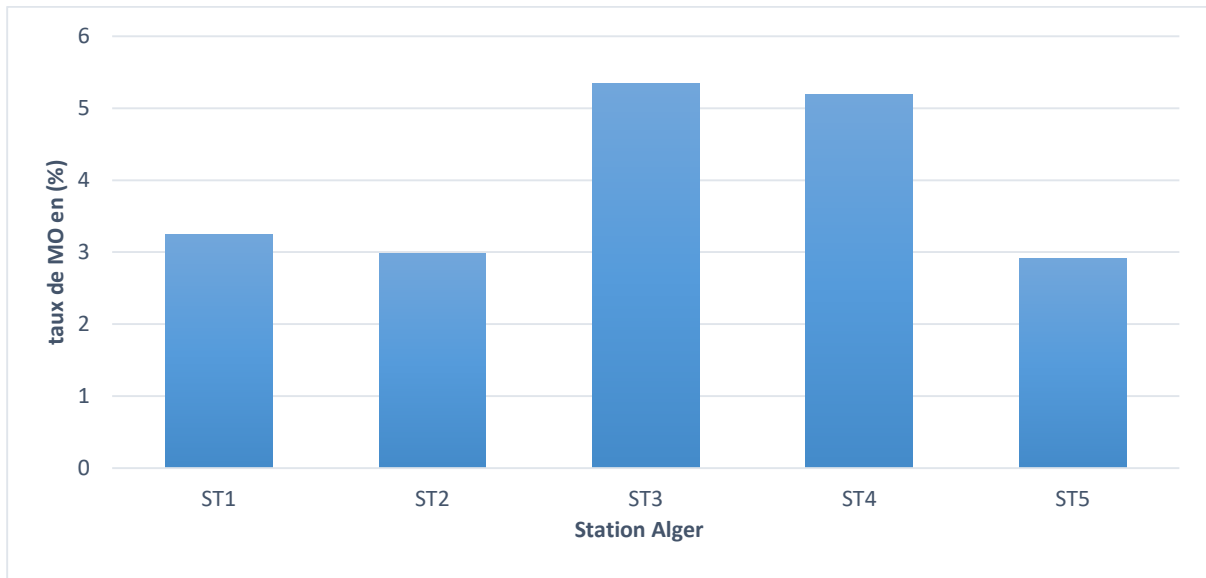


Figure. 43 :Teneurs de la MO dans les sédiments de plage Bateau cassé(Alger)

- **Plage Colonel Abbas (Tipaza)**

La plage Colonel Abbas présente des concentrations très élevées de MO, allant de 2,91 % à 19,3 %, avec une moyenne de 6,4 % teneurs en MO les plus élevées de l'ensemble des sites étudiés, avec des valeurs allant de 2,91 % à 19,3 % et une moyenne de 6,4 %. Cette plage se caractérise donc par une accumulation importante de matière organique, révélatrice de conditions de sédimentation

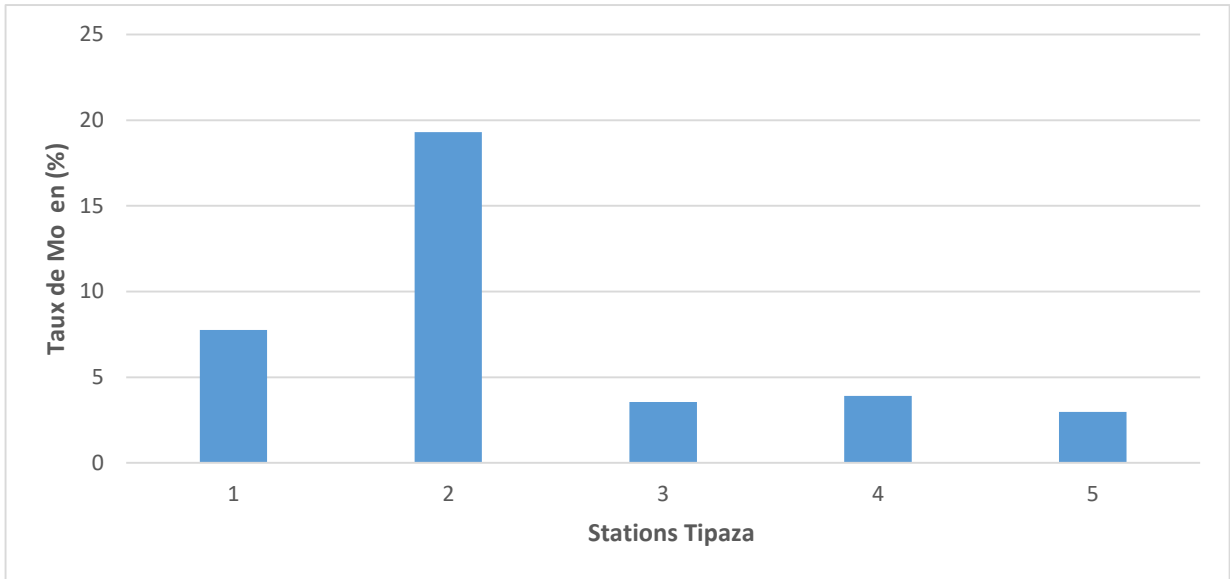


Figure.44 :Teneurs de la MO dans les sediments de plage Colonel abbas(Tipaza)

## 1.2.Analyse granulométrique

- **Taux des péllites**

Les résultats de l’analyse de la fraction péllitique des trois zones d’étude sont mentionnés dans le tableau 5

	Boumerdes	Alger	Tipaza
MIN	0,36	0,33	0,29
MAX	1,24 3,58	1,12	
MOY	0,74	1,38	0,69
ECART TYPE	0,30	0,91	0,29

Tableau 5 les valeurs moyennes et extrêmes de taux des péllites dans les zones d’étude

Le taux des péllites dans les sables de plage des trois zones d’étude est relativement faible. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la plage Bateau Cassé, située à Alger, avec un taux de 3,58%, tandis que la valeur minimale atteint 0,29%. Cette faible teneur en fraction péllitique s’explique principalement par l’hydrodynamisme élevé du milieu côtier, qui favorise le transport et la remise en suspension des particules fines. Ce processus naturel entraîne une sélection des sédiments, ne laissant en place que les grains les plus grossiers, caractéristiques des environnements à haute énergie tels que les plages ouvertes.

• **Analyse granulométrique de la fraction grossière**

**L'indice de classement de Trask (So) :** est une mesure granulométrique utilisée pour évaluer le degré de tri d'un sédiment. Il est défini par la formule :

$$So = \sqrt{\frac{Q3}{Q1}} \tag{9}$$

Où :

**Q<sub>1</sub> :** est le diamètre des grains pour lequel 25 % de l'échantillon est plus fin (premier quartile).

**Q<sub>3</sub> :** est le diamètre des grains pour lequel 75 % de l'échantillon est plus fin (troisième quartile).

L'indice de classement(So) permet d'évaluer l'uniformité granulométrique d'un sédiment, c'est-à-dire la répartition des tailles de grains. Un sédiment bien trié présente une granulométrie homogène, Selon Trask (1932)

valeur de l'indice So	Degré de classement
So < 0.5	Extremement bien classé
0.5 < So < 1	Tres bien classé
1 < So < 2.5	Bien classé
2.5 < So < 3	Normalement classé
3 < So < 4	Faiblement classé
4 < So	Très mal classé

**Indice d'asymetrie Sk :**Le coefficient d'asymétrie, également appelé skewness, permet de caractériser le degré de distorsion de la symétrie dans la distribution granulométrique d'un sédiment. Lorsque la skewness est égale à zéro, la distribution est considérée comme parfaitement symétrique, En revanche, une valeur négative de l'indice indique une asymétrie vers les grains fins, ce qui traduit une dominance de ces derniers dans l'échantillon, souvent bien triés. À l'inverse, une valeur positive reflète une asymétrie vers les grains grossiers, suggérant que ces fractions sont prédominantes et mieux représentées dans le sédiment. Ce paramètre fournit ainsi une information complémentaire à l'indice de classement, en précisant le sens de l'irrégularité dans la distribution des tailles de grains, il est défini par la formule :

$$SK = \frac{Q1 * Q3}{Md^2} \tag{10}$$

Où :

**Md** : le diamètre médian (devisé l'ensemble des diamètres en deux moitiés égales)

Tableau 4: Résultats de l'indice de Classement et l'indice d'asymétrie

Zone	So (indice de classement)	Interprétation	Sk (asymétrie)	Interprétation
Boumerdes	2,69	Normalement classé	0,16	Asymétrie légère vers les grossiers
Alger	2,32	Bien classé	0,21	Asymétrie modérée vers les grossiers
Tipaza	1,74	Bien classé	0,43	Forte asymétrie vers les grossiers

L'analyse des paramètres granulométriques des sédiments prélevés à Boumerdes, Alger et Tipaza, à travers l'indice de classement (So) et le coefficient d'asymétrie (Sk), révèle des différences notables entre les sites. Le sédiment de Tipaza présente un indice de tri de 1,74, indiquant un matériau très bien trié, composé de grains de taille relativement homogène. Alger affiche également un bon tri avec un So de 2,32, traduisant une distribution granulométrique assez homogène. En revanche, Boumerdes, avec un So de 2,69, se distingue par un tri moyen, ce qui reflète une plus grande variabilité dans les tailles de grains, possiblement liée à des apports sédimentaires irréguliers ou à une dynamique hydrodynamique plus fluctuante.

Concernant l'asymétrie, les trois sites présentent des valeurs positives inférieures à 1 de skewness, ce qui indique une distribution asymétrique forte décalée vers les particules fines. Cette asymétrie est particulièrement marquée à Tipaza ( $Sk = 0,43$ ) par rapport aux deux autres sites d'études, Alger et Boumerdes montrent des asymétries plus modérées (respectivement  $Sk = 0,21$  et  $0,16$ ), suggérant une répartition granulométrique un peu plus équilibrée. Ces résultats traduisent des conditions hydrodynamiques et sédimentaires distinctes entre les sites, avec un milieu plus homogène à Alger, plus variable à Boumerdes, et un environnement à forte dominance de gros grains mais bien triés à Tipaza

L'analyse des paramètres granulométriques des sédiments prélevés à Boumerdes, Alger et Tipaza, à travers l'indice de classement (So) et le coefficient d'asymétrie (Sk), révèle des différences notables entre les sites. Le sédiment de Tipaza présente un indice de tri de 1,74, indiquant un matériau très bien trié, composé de grains de taille relativement homogène. Alger affiche également un bon tri avec un So de 2,32, traduisant une distribution granulométrique assez

homogène. En revanche, Boumerdes, avec un  $S_o$  de 2,69, se distingue par un tri moyen, ce qui reflète une plus grande variabilité dans les tailles de grains, possiblement liée à des apports sédimentaires irréguliers ou à une dynamique hydrodynamique plus fluctuante.

Concernant l'asymétrie, les trois sites présentent des valeurs positives inférieures à 1 de skewness, ce qui indique une distribution asymétrique forte décalée vers les particules fines. Cette asymétrie est particulièrement marquée à Tipaza ( $Sk = 0,43$ ) par rapport aux deux autres sites d'études, Alger et Boumerdes montrent des asymétries plus modérées (respectivement  $Sk = 0,21$  et  $0,16$ ), suggérant une répartition granulométrique un peu plus équilibrée. Ces résultats traduisent des conditions hydrodynamiques et sédimentaires distinctes entre les sites, avec un milieu plus homogène à Alger, plus variable à Boumerdes, et un environnement à forte dominance de gros grains mais bien triés à Tipaza

## 2. Microplastiques

Les microplastiques observés dans les échantillons de sédiments présentent une grande diversité en termes de taille, de couleur et de forme. Cette variabilité reflète la multiplicité des sources de pollution et les différents degrés de dégradation des plastiques dans l'environnement marin. Les figures suivantes illustrent quelques exemples caractéristiques des microplastiques identifiés au microscope.

Figure.45 illustration des particules de microplastiques

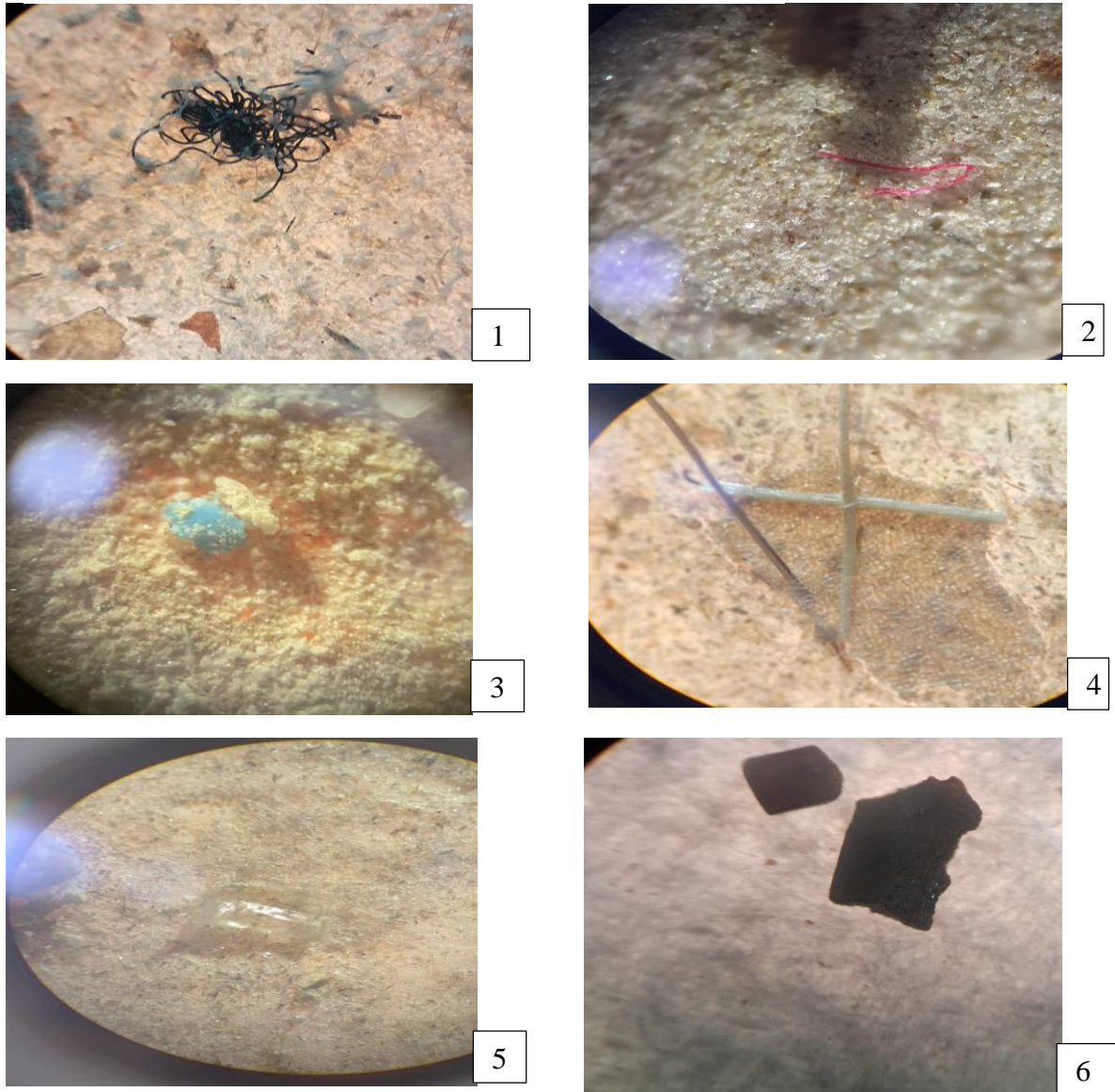


Fig.1 :Amas de fibres /Fig.2 : fibres rose / Fig.3 : Fragment bleu / Fig .5 :Film transparent

-6 : Fragments noir et rouge

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des microplastiques a été réalisée afin d'évaluer l'ampleur de la pollution par les microplastiques dans les sédiments côtiers. Les microplastiques sont des indicateurs pertinents de l'impact anthropique sur le milieu marin. Les résultats suivants présentent leur abondance leur morphologie et couleur, ainsi que leur répartition par site.

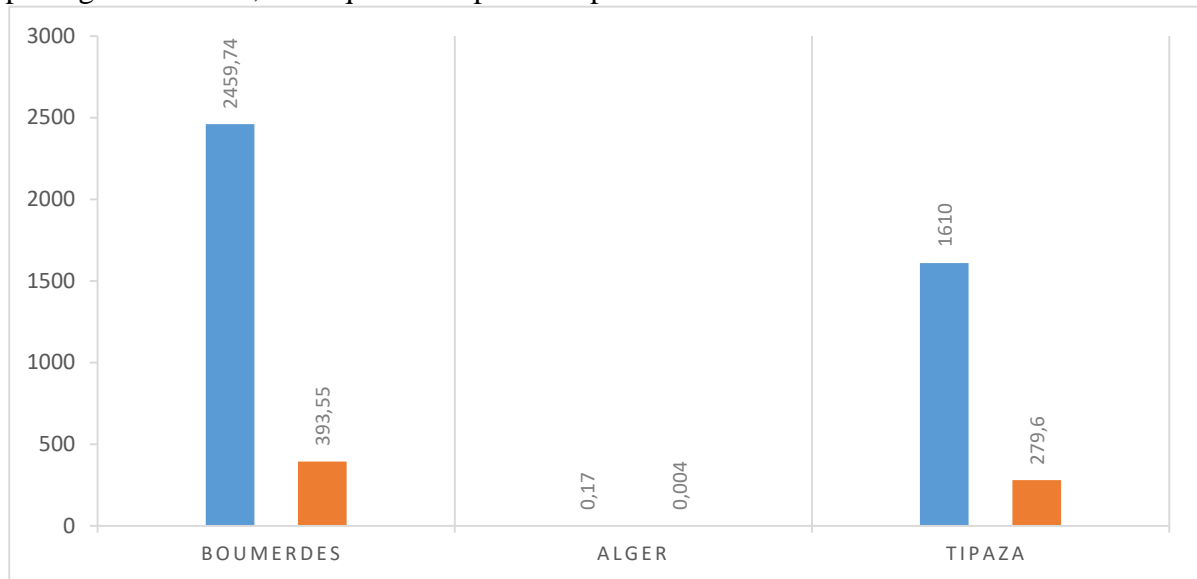


Figure .46 :Abondance des microplastiques dans les trois sites d'étude

Le tableau ci-dessous présente la moyenne des particules microplastiques observées dans les trois sites étudiés.

	<b>Abondance MPS/Kg</b>	<b>Abondance MPS/m<sup>2</sup></b>
<b>Boumerdes</b>	2459,77 ± 2883,99	393,55 ± 461,43
<b>Alger</b>	0,17 ± 0,082	0,004 ± 0,037
<b>Tipaza</b>	1610,01 ± 3674,50	257,6 ± 587,92

L'analyse quantitative des micro plastiques révèle une forte hétérogénéité spatiale entre les trois plages étudiées.

La plage de Rocher Noir, située dans la wilaya de Boumerdes, présente l'abondance la plus élevée, atteignant 2 460 (MPs/kg) et 393 microplastiques par mètre carré (MPs/m<sup>2</sup>), ce qui traduit une pollution plastique sévère. Cette situation peut s'expliquer par une fréquentation humaine importante, ainsi que par la présence d'un oued à proximité, qui charrie des rejets urbains ou industriels potentiellement riches en microplastiques et macro plastiques

La plage de Colonel Abbas, dans la wilaya de Tipaza, enregistre également une contamination notable, avec 1 610 MPs/kg et 280 MPs/m<sup>2</sup>. Cette pollution est probablement liée à une forte

pression touristique saisonnière, ainsi qu'à des apports multiples tels que les rejets domestiques, les déchets abandonnés sur la plage ou le ruissellement des eaux de surface.

En revanche, la plage de Bateau Cassé, dans la wilaya d'Alger, présente des niveaux extrêmement faibles, avec seulement 0,17 MPs/kg et 0,004 MPs/m<sup>2</sup>. Ces faibles concentrations peuvent être attribuées aux campagnes de nettoyage régulières observées sur le site, qui réduisent la charge plastique en surface. Par ailleurs, la présence abondante d'algues dans les sédiments prélevés lors de l'échantillonnage pourrait également contribuer à piéger les microplastiques, influençant ainsi leur détection.

- **Plage Rocher noir (Boumerdes)**

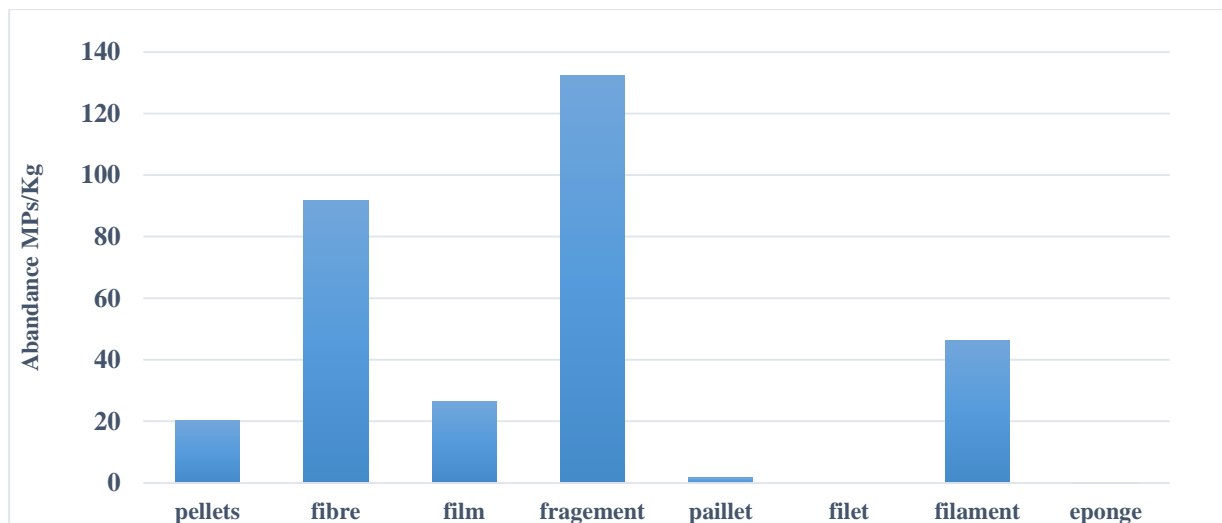


Figure.47 : Distribution des formes MPs de la plage Rocher Noir (Boumerdes)

La très forte abondance des fragments plastiques (132,32 MPs/kg) révèle un degré avancé de dégradation des plastiques macroscopiques (bouteilles, sacs rigides, contenants). Ainsi que la présence abondante des fibres plastiques (91,81 MPs/kg) indique un apport significatif de textiles synthétiques, ce qui peut être lié à des rejets d'eaux usées domestiques non traitées.

Les filaments (46,39 MPs/kg) et films plastiques (26,46 MPs/kg) peuvent traduire une pollution d'origine halieutique et domestique. La faible abondance de pailletés (1,63 MPs/kg) et d'éponges (0,33 MPs/kg) suggère une contamination ponctuelle, probablement liée à l'usage de cosmétiques ou de produits plastiques ménagers spécifiques.

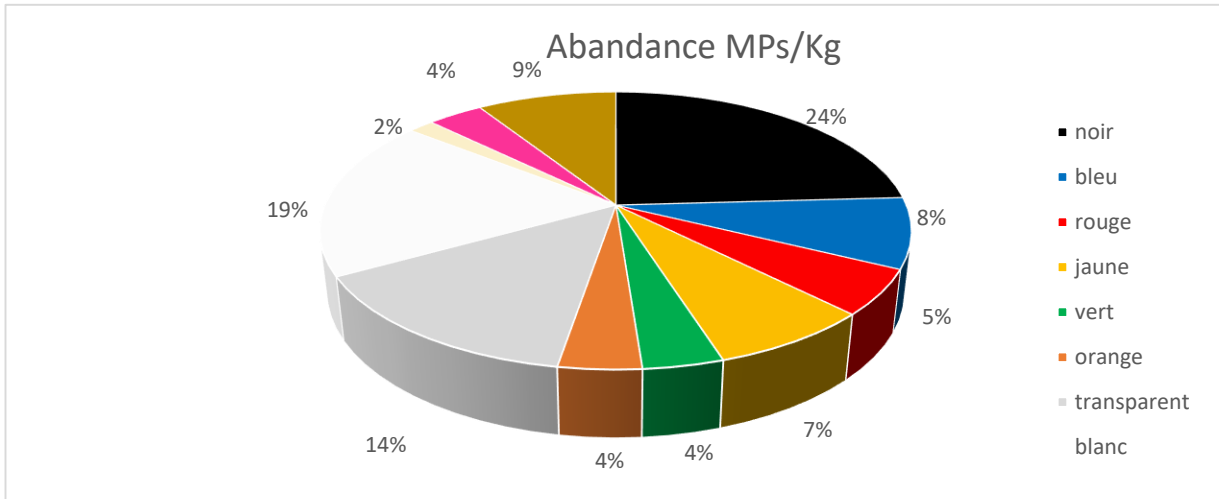


Figure. 48 : Distribution des couleurs MPs de la plage Rocher Noir ( plage Boumerdes)

La couleur noire domine nettement avec une concentration de 76,13 MP/kg. Les particules blanches (59,14 MP/kg) et transparentes (45,09 MP/kg), fréquemment issues des emballages alimentaires et des produits à usage unique, traduisent une pollution liée à la consommation courante. Les particules de couleur bleue, jaune et rouge sont généralement associées aux objets en plastique du quotidien ou aux engins de pêche, ce qui confirme la diversité des sources de pollution. Les couleurs moins fréquentes, telles que le vert, l’orange ou le rose, indiquent également une origine variée des déchets plastiques présents dans les sédiments.

- **Plage Bateau cassé (Alger)**

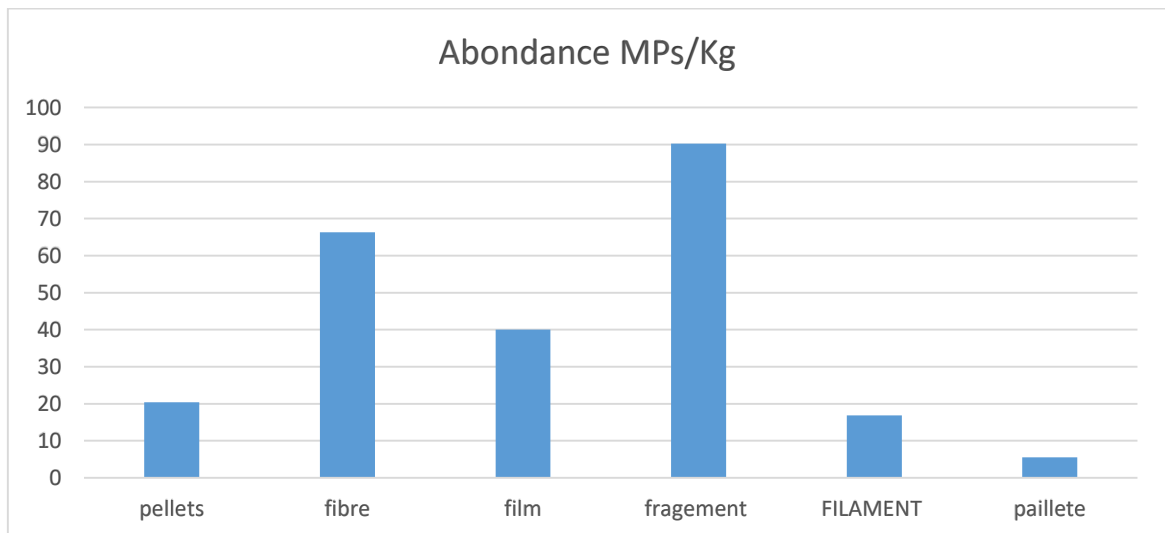


Figure. 49 : Distribution des formes MPs dans la plage Bateau Cassé (Alger)

Les fragments plastiques sont les plus abondants (90,28 MP/kg), ce qui témoigne de la dégradation progressive de déchets plastiques anciens présents dans l’environnement depuis une

longue période. Les fibres (66,34 MPs/kg) reflètent une pollution liée aux textiles synthétiques, souvent issus du lavage de vêtements ou du rejet d'eaux usées domestiques. Les films plastiques (40,04 MPs/kg), quant à eux, proviennent principalement d'emballages légers, notamment les sacs en plastique à usage unique. Les filaments (16,88 MPs/kg) sont caractéristiques d'une pollution d'origine maritime, liée aux filets de pêche, cordages ou équipements halieutiques. La présence de pellets plastiques (20,41 MPs/kg), qui sont des granulés industriels utilisés comme matière première, suggère une possible pollution d'origine industrielle. Enfin, les paillettes (5,50 MPs/kg) pourraient provenir de produits cosmétiques ou de plastiques à usage décoratif, indiquant une source domestique ponctuelle.

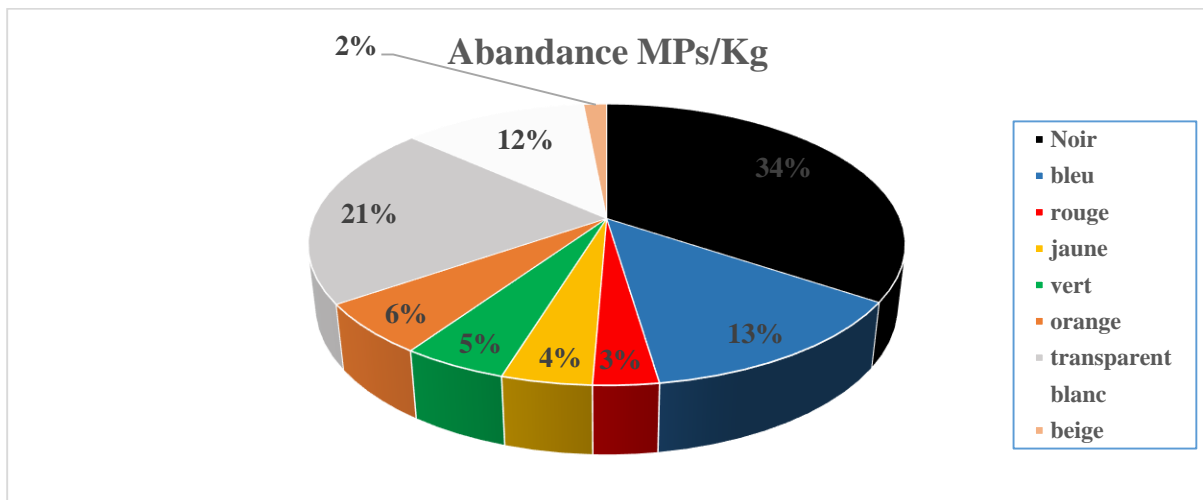


Figure. 50 : Distribution des couleurs MPs de la plage bateau cassé ( Alger)

Concernant les couleurs, la plus représentée est le noir, avec une concentration de 73,80 MPs/kg. La couleur bleue (51,03 MPs/kg), très fréquente dans les filets et cordes de pêche, indique une origine maritime marquée. La couleur transparente (47,89 MPs/kg) est généralement associée aux emballages, bouteilles et plastiques fins à usage unique. Les plastiques rouges et marron (18,06 MPs/kg chacun) traduisent une pollution anthropique diversifiée, provenant de divers objets du quotidien. Les couleurs jaune (5,10 MPs/kg), vert (4,71 MPs/kg), orange (5,89 MPs/kg) et rose (8,64 MPs/kg), bien que moins fréquentes, témoignent de la variété des déchets plastiques présents dans l'environnement côtier.

● **Plage Colonel Abbas (Tipaza)**

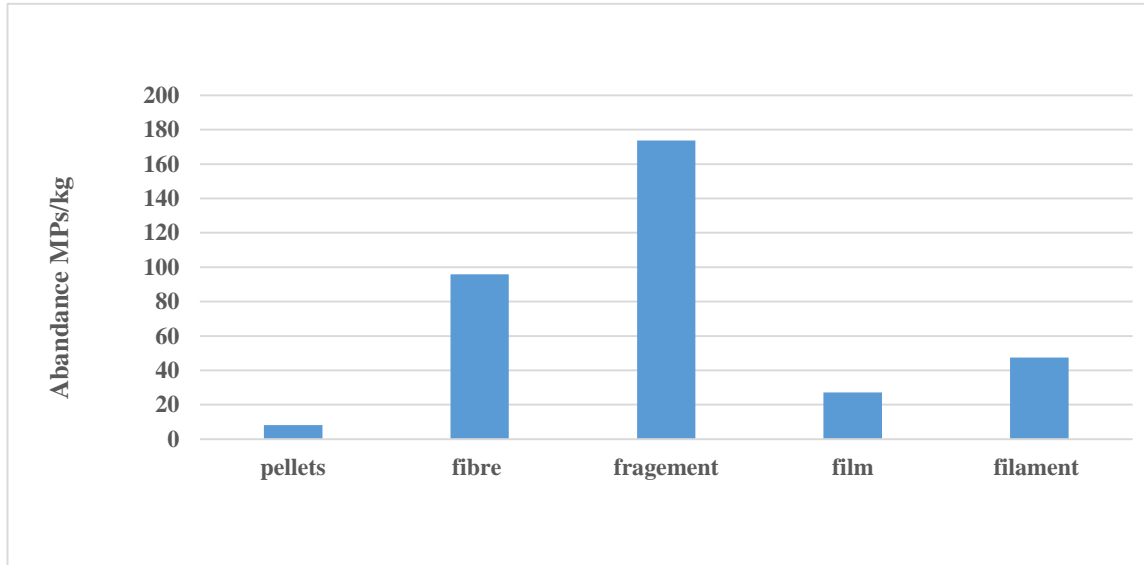


Figure .51 :Distribution des formes MPs de la plage Colonel Abbas (Tipaza)

Les fragments dominent largement (173,7 MPs/kg), ce qui témoigne d’une forte dégradation de plastiques macroscopiques tels que les bouteilles, emballages et déchets flottants déjà présents sur la plage. Les fibres (95,83 MPs/kg) proviennent très probablement de textiles synthétiques (vêtements, filets, cordages) et indiquent un apport significatif lié aux eaux usées domestiques ou aux activités de pêche. Les filaments (47,4 MPs/kg) confirment également une pollution d’origine maritime, associée à la présence d’engins de pêche, de lignes ou de filets. Les films plastiques (27,1 MPs/kg) pourraient quant à eux provenir de sacs plastiques fins, d’emballages ou de plastiques agricoles légers. Enfin, les pellets industriels (8,13 MPs/kg), bien que moins abondants, sont des granulés plastiques vierges utilisés dans l’industrie, ce qui suggère une source de pollution d’origine industrielle.

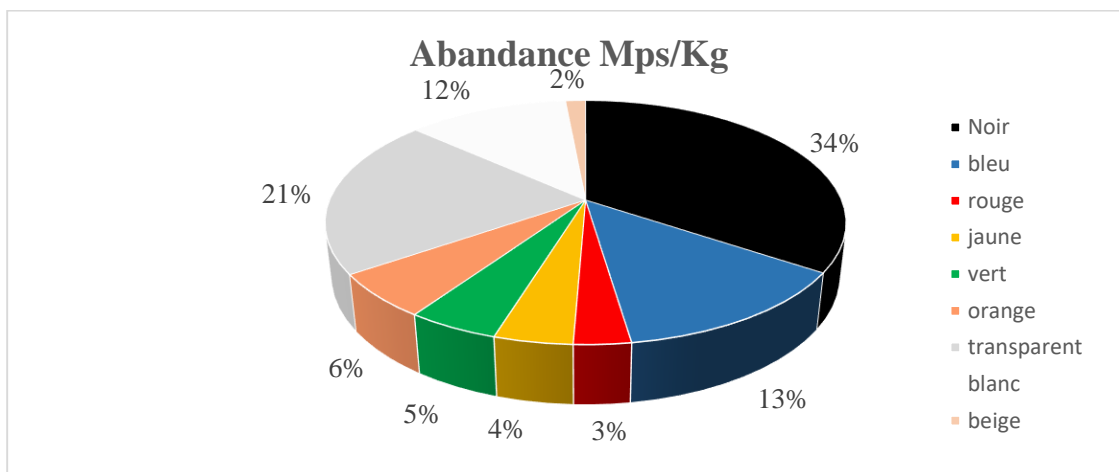


Figure.52 : Distribution des couleurs MPs de la plage Colonel Abbas (Tipaza)

La couleur noire est la plus dominante, avec une concentration de 101,58 MPs/kg. Les particules bleues (39,28 MPs/kg) et vertes (14,22 MPs/kg) sont couramment associées aux filets, cordages et textiles d'origine maritime. Les couleurs rouge, jaune et orange, bien que moins abondantes, sont fréquemment utilisées dans les plastiques d'usage courant, ce qui suggère une pollution d'origine domestique ou récréative.

• **Etude comparative**

Afin de mieux situer les niveaux de contamination observés dans les sites d'étude, une comparaison a été effectuée avec les résultats d'études similaires menées dans d'autres régions côtières, en Algérie et à l'échelle internationale. Le tableau (4) présente un aperçu comparatif des concentrations en microplastiques rapportées dans la littérature, permettant ainsi d'évaluer la gravité de la pollution relative aux site d'études.

*Tableau 5 Comparaison entre les résultats obtenues et d'autres études*

<b>Pays</b>	<b>Site</b>	<b>Abondance (MPs/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Abondance (MPs/kg)</b>	<b>Référence</b>
Algérie	Colonel Abbas (Tipaza)	279	1610	Présente étude
Algérie	Bateau Cassé (Alger)	0.004	0.17	Présente étude
Algérie	Rocher Noir (Boumerdès)	393.55	2460	Présente étude
Algérie	Guerbes (Skikda)	1889	188	Grini et al., 2022
Algérie	Kef Fatma (Skikda)	14 337	1433	Grini et al., 2022
Italie	Lido di Dante	1512	-	Lots et al., 2017
Turquie	Dikili	-	248	Lots et al., 2017
Malte	(non précisé)	1462	-	Karthik et al., 2018
UAE	Dubai	165	59.71	Aslam et al., 2020

L'analyse des microplastiques sur l'ensemble des trois plages étudiées (Bateau Cassé à Alger, Rocher Noir à Boumerdes et Colonel Abbas à Tipaza) révèle une pollution significative, caractérisée par une prédominance des fragments et des fibres sur tous les sites. Cette répartition relativement homogène souligne une contamination plastique diffuse, résultant de sources variées, aussi bien textiles que maritimes.

Les fragments, majoritaires, traduisent la dégradation progressive de plastiques de grande taille sous l'effet de facteurs environnementaux tels que l'exposition au rayonnement UV, au vent et à l'abrasion mécanique. La forte présence de fibres reflète quant à elle l'impact direct des effluents urbains, des textiles synthétiques et des eaux usées non traitées, particulièrement visible sur les sites de Rocher Noir et Colonel Abbas (**Andrady, 2011**).

Concernant les couleurs, les microplastiques les plus fréquents sont noirs, blancs et transparents, suivis par des teintes plus vives telles que le bleu, le rouge, le jaune et le vert. Les particules colorées, notamment bleues et rouges, sont souvent associées aux filets de pêche, vêtements ou objets plastiques jetés récemment. Cette diversité chromatique illustre la multiplicité des sources de pollution ainsi que son caractère continu dans le temps.

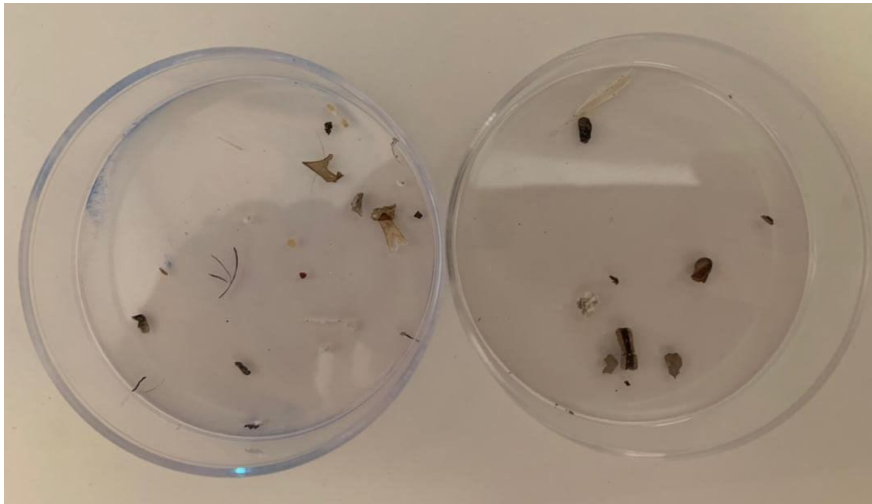
Enfin, les différences observées entre les sites, tant en termes d'abondance que de types de microplastiques, peuvent être liées à plusieurs facteurs locaux, notamment la fréquentation humaine, la gestion des déchets, ou encore les conditions hydrodynamiques spécifiques à chaque plage

La comparaison des résultats de la présente étude avec les données issues de la littérature montre que les plages de Rocher Noir et de Colonel Abbas présentent des niveaux d'abondance parmi les plus élevés signalés à l'échelle nationale et régionale. Par exemple, à Kef Fatma (Skikda), Grini et al. (2022) rapportent une concentration de 1 433 MPs/kg et une valeur exceptionnelle de 14 337 MPs/m<sup>2</sup>, contre 2 460 MPs/kg et 254 MPs/m<sup>2</sup> à Rocher Noir. À Guerbes (Skikda), l'abondance est bien plus faible (188 MPs/kg), bien que la densité surfacique reste élevée (1 889 MPs/m<sup>2</sup>).

Ainsi, les niveaux observés en Algérie, notamment à Boumerdès, dépassent ceux relevés dans plusieurs sites de la Méditerranée et du Golfe arabo-persique. Ces concentrations élevées s'expliquent par la proximité des plages avec des zones urbanisées, industrielles ou portuaires, ainsi que par une gestion des déchets côtiers encore limitée.

- **Identification des polymères**

L'identification des polymères constitutifs des microplastiques permet de mieux connaître leur origine et leur nature. En effet, la composition chimique des microplastiques reflète souvent les sources de pollution (emballages, textiles, équipements industriels, etc.). Les particules récupérées ont été analysées visuellement puis soumises à une identification complémentaire par ATR-FTIR. Cette étape a permis de distinguer plusieurs types de polymères fréquemment rencontrés dans l'environnement marin.



*Figure 53: les particules prélevés pour l'identification des polymères*

Les spectres infrarouges des particules prélevés dans les 3 sites d'études présentent une grande similarité, suggérant une composition chimique comparable. Les bandes d'absorption observées (situées aux alentours des valeurs mentionnés) indiquent la présence de plusieurs groupes fonctionnels caractéristiques, les principales bandes identifiées comprennent une large bande vers  $3420\text{ cm}^{-1}$  correspondant à l'étirement O–H des groupes hydroxyles, des étirements C–H autour de  $3000\text{ cm}^{-1}$ , ainsi que des bandes à  $2900$  et  $2800\text{ cm}^{-1}$  attribuées aux vibrations symétrique et asymétrique des groupes méthyle et méthylène. Une bande à  $2350\text{ cm}^{-1}$ , généralement associée à la présence de  $\text{CO}_2$  atmosphérique, a également été observée. La bande intense à  $1730\text{ cm}^{-1}$  est caractéristique de l'étirement C=O des groupes carboxyliques, tandis que les bandes à  $1577$  et  $1504\text{ cm}^{-1}$  indiquent la présence de cycles aromatiques par les vibrations C=C. D'autres bandes significatives apparaissent à  $1453$ ,  $1410$  et  $1342\text{ cm}^{-1}$  (déformations  $\text{CH}_2$ ),  $1240$  et  $1124\text{ cm}^{-1}$  (étirements C–O),  $1096$  et  $1050\text{ cm}^{-1}$  (déformation O–H et segment éthylène glycol), ainsi que des bandes inférieures à  $1000\text{ cm}^{-1}$  liées aux modes de wagging et bending des cycles aromatiques

substitués (972, 872, 848  $\text{cm}^{-1}$ ), et aux vibrations d'anneaux benzéniques tétrasubstitués (796 et 712  $\text{cm}^{-1}$ )

Selon Pereira et al. (2017), l'ensemble de ces bandes est caractéristique d'un polymère de type polyester, probablement du polyéthylène téréphtalate (PET), contenant :

- Des groupes esters (C=O, C–O),
- Des cycles aromatiques substitués,
- Des groupes hydroxyles (O–H),
- Des segments éthylène glycol (–CH<sub>2</sub>–CH<sub>2</sub>–O–).

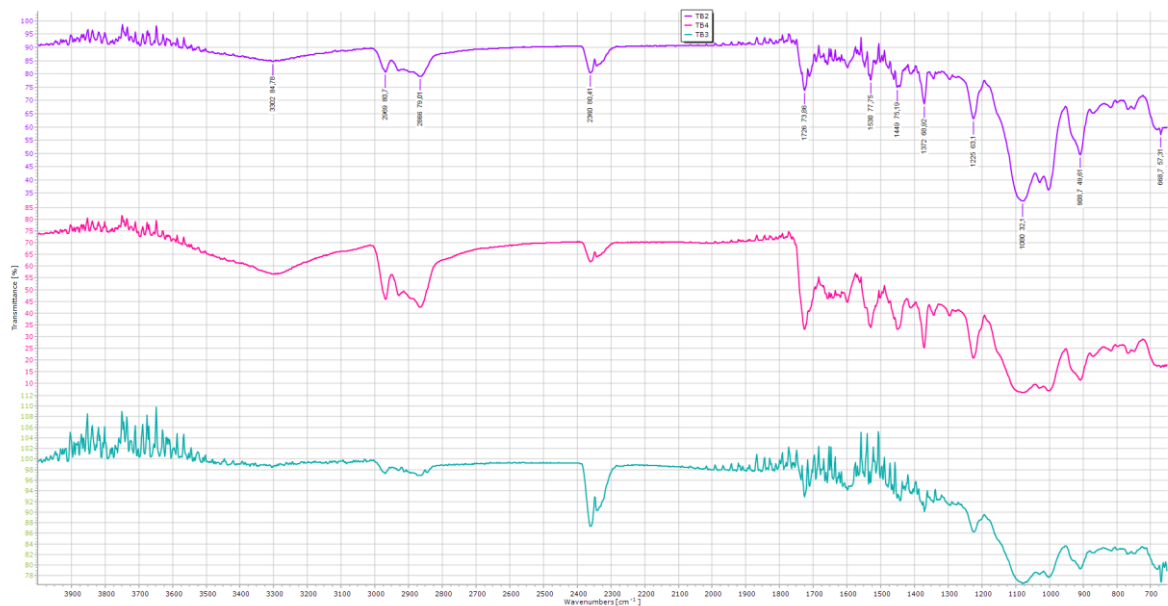


Figure .54 : Spectres obtenus par ATR-FTIR, identifiés comme étant du polystyrène

D'autres échantillons de la plage rocher noir ont révélé la présence de polystyrène (PS), identifié par des bandes spécifiques à 3026  $\text{cm}^{-1}$  (=C–H aromatique), 2920  $\text{cm}^{-1}$  (C–H aliphatique), 1601 et 1493  $\text{cm}^{-1}$  (C=C aromatique), ainsi qu'à 1452, 1027 et 906  $\text{cm}^{-1}$ . Les bandes très caractéristiques du PS à 755 et 698  $\text{cm}^{-1}$  La combinaison de ces bandes caractéristiques du polystyrène. Ces bandes sont cohérentes avec celles rapportées par Fang et al. (2010)

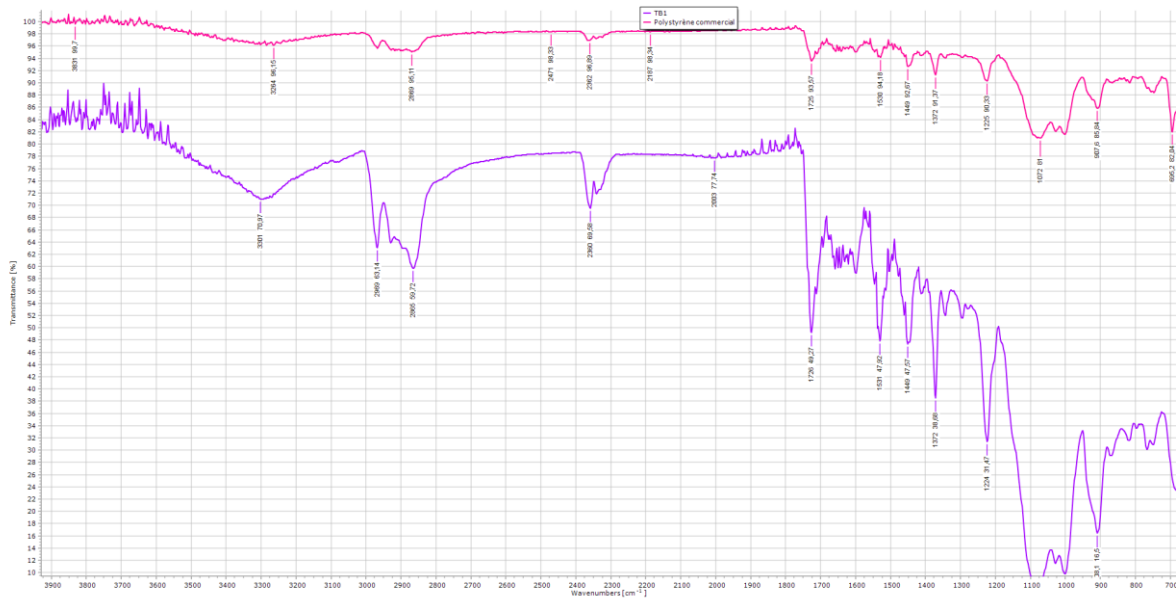


Figure 55 Spectre infrarouge obtenu par ATR-FTIR pour l'échantillon TB, comparé à un spectre de référence de polystyrène commercial

L'analyse spectroscopique infrarouge (FTIR) a permis d'identifier les polymères présents dans les échantillons prélevés sur les plages de Bateau Cassé, Colonel Abbas et Rocher Noir. Les spectres obtenus présentent, dans l'ensemble, des bandes caractéristiques d'un polymère de type polyester, probablement le polyéthylène téréphtalate (PET), largement utilisé dans les bouteilles, les textiles et les emballages. Dans certains échantillons, notamment ceux issus de la plage de Rocher Noir, la présence de polystyrène (PS) a également été mise en évidence, confirmée par ses bandes spécifiques répertoriées dans la littérature.

Toutefois, de légers décalages dans les positions des bandes et des variations d'intensité ont été observées entre les échantillons, par rapport aux spectres de polymères purs. Ces différences sont probablement dues à des facteurs environnementaux, tels que l'exposition prolongée aux rayonnements UV, l'oxydation, l'hydrolyse, l'abrasion, le contact avec l'eau de mer, ou encore l'enfouissement partiel dans le sable. Ces processus altèrent progressivement la structure chimique des polymères et peuvent entraîner des modifications de leurs signatures spectrales, rendant leur identification plus complexe.

### 3. Métaux lourds

L'analyse conjointe des éléments traces métalliques, de la composition granulométrique et de la teneur en matière organique permet de mieux comprendre le comportement des polluants dans les sédiments. Ces paramètres sont étroitement liés, car la texture fine et la richesse organique favorisent souvent la rétention des métaux. Les résultats obtenus donnent un aperçu de la qualité physico-chimique des sédiments dans les différentes stations d'étude.

- Métaux toxiques

Parmi les métaux trace les plus fréquemment retrouvés dans les milieux contaminés figurent le mercure (Hg), le cadmium (Cd), l'arsenic (As), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le plomb (Pb), en raison de leur toxicité et de leur persistance dans l'environnement (Hazrat et al., 2019).

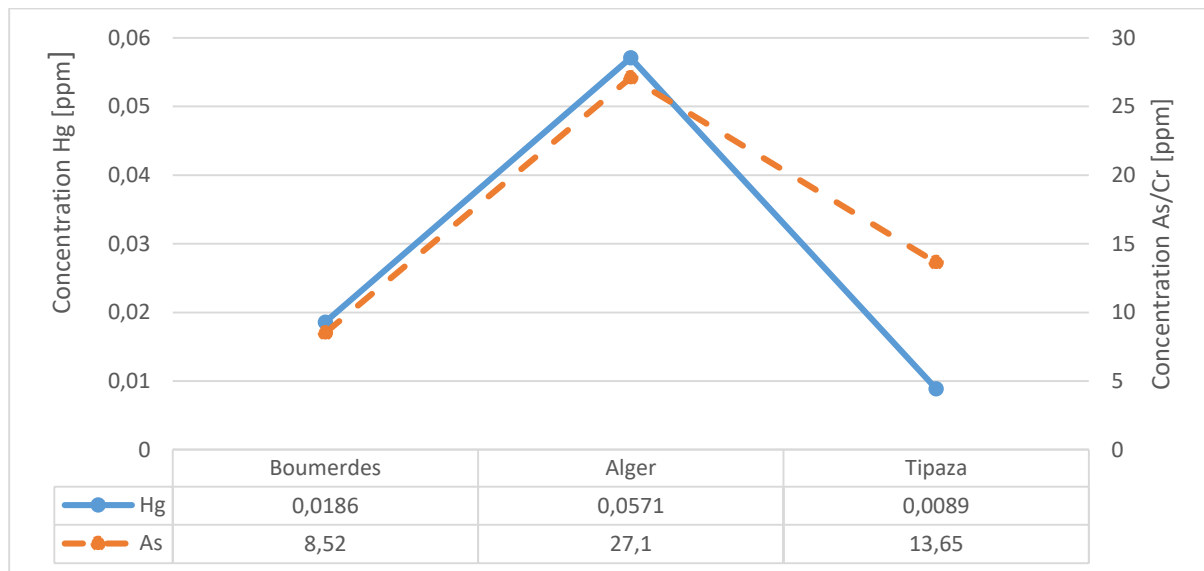


Figure.56 Courbe de distribution des concentrations du Hg et As

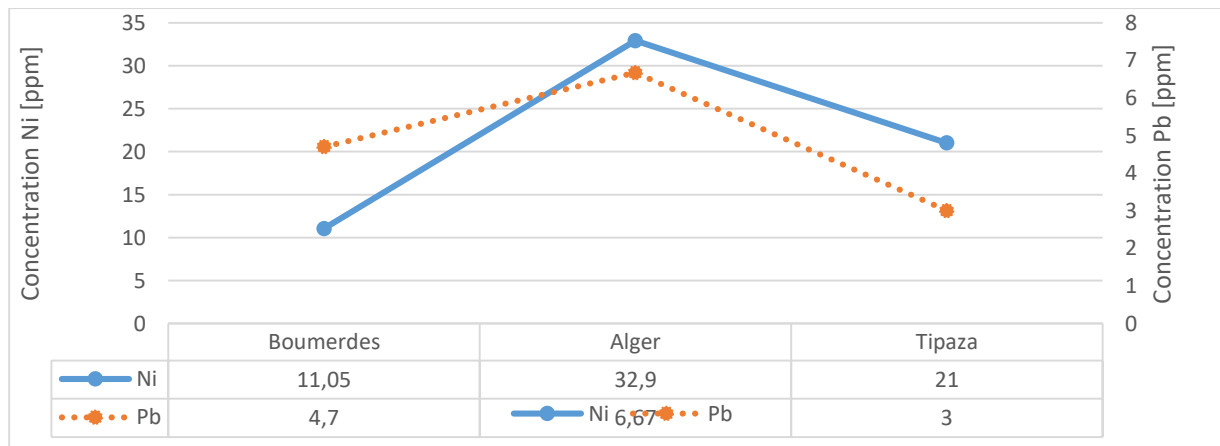


Figure 57 Courbe de distribution des concentrations du Ni et Pb

Les concentrations dans les sédiments des plages étudiées révèlent une contamination relativement faible et homogène, à l'exception de quelques légères variations localisées. La répartition régulière

des autres métaux (Hg, As, Cr, Ni, Pb) suggère une pression anthropique modérée, probablement liée à des sources diffuses de pollution, telles que le ruissellement urbain ou les rejets domestiques. Le cadmium, n'a pas été détecté dans les échantillons, sa concentration étant inférieure à la limite de détection de la spectrométrie EDXRF (1 ppm). Cela témoigne une concentration très faible de ce métal.

• **Oligo-éléments**

Afin d'évaluer la distribution spatiale des oligoéléments dans les sédiments, des courbes de variation ont été tracées pour chaque élément analysé. Ces représentations graphiques permettent de visualiser les différences de concentrations selon les sites d'échantillonnage et de mettre en évidence d'éventuelles tendances ou anomalies liées à des sources de pollution spécifiques.

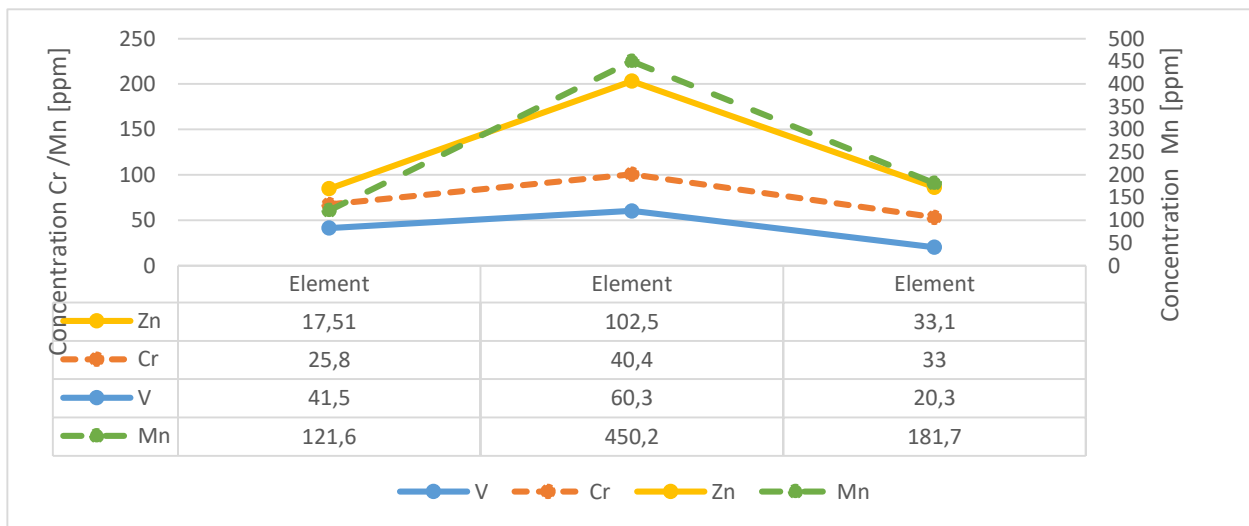


Figure. 58 : Courbe de distribution des concentrations du Zn et Cr et Mn

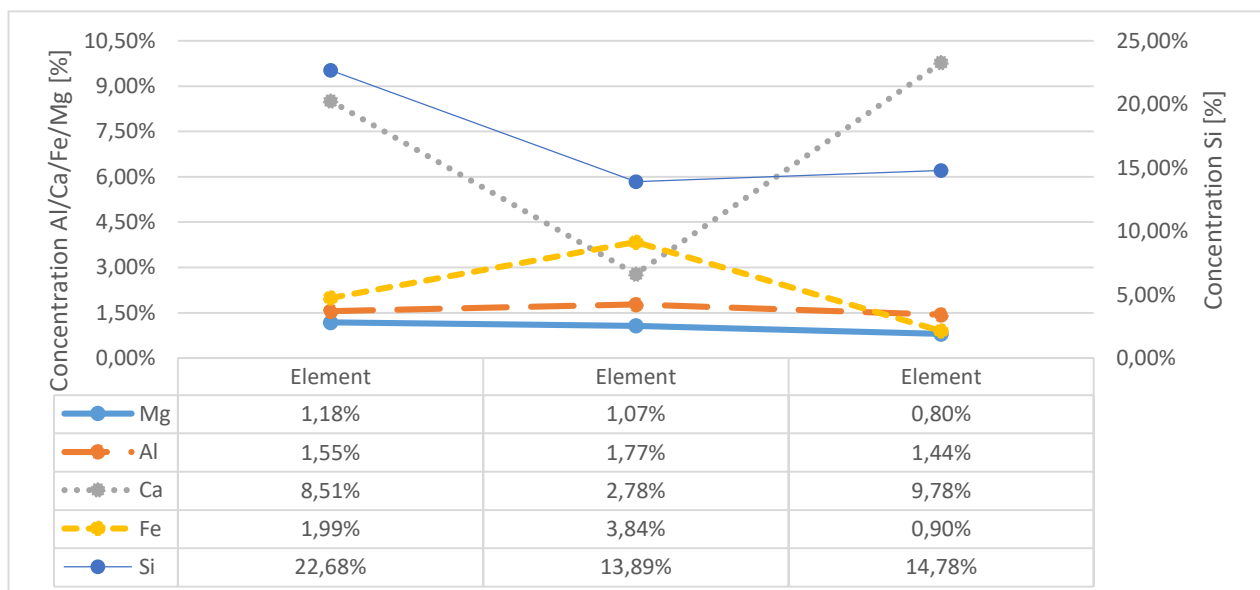


Figure 59 Courbe de distribution des concentrations du Mg, Al, Ca, Fe, Si

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les concentrations des oligo-éléments montrent une distribution relativement homogène entre les plages. Les faibles variations observées peuvent être attribuées à l'influence de certaines activités anthropiques localisées.

Les concentrations moyennes des métaux analysés dans les sédiments des plages étudiées ont été comparées à celles rapportées dans plusieurs pays du bassin méditerranéen, notamment l'Italie, Malte, l'Égypte et la Libye. Cette comparaison permet d'évaluer le niveau relatif de contamination des sites échantillonnés.

Tableau 6 Comparaison des résultats obtenus par rapport aux études effectués en Méditerranée

Métal	MOY des résultats (ppm)	Italie (Balassone et al., 2016) (ppm)	Malte (Azzopardi et al., 2022)(ppm)	Égypte (El-Sorogy et al., 2016) (ppm)	Libye (Nour et al., 2017) (ppm)
<b>Cr</b>	33	28 – 308	–	0.104 – 0.290	–
<b>Ni</b>	22	18 – 83	–	113.9 – 894.2	6.2 – 62.3
<b>V</b>	41	38 – 548	–	115.2 – 652.3	–
<b>Zn</b>	7	–	0.98 – 16.05	53.3 – 387.9	10.3 – 48.8
<b>Cu</b>	7	–	0.23 – 40.81	7.6 – 42.7	2.3 – 37.5
<b>Pb</b>	4,7	–	1.26 – 102.8	214.3 – 476.5	2.2 – 38.2
<b>As</b>	16,4	–	–	215.4 – 399.2	–
<b>Sr</b>	208,3	357 – 1005	54.2 – 489.2	82.8 – 175	–
<b>Co</b>	5,8	–	1.3 – 8.5	50.2 – 89.4	1.2 – 15.2
<b>Cd</b>	< 1	–	0.01 – 0.24	21.1 – 37	0.19 – 2.19
<b>Fe</b>	22433,3	–	50.9 – 125.1	44,9 – 198,1	889 – 5389
<b>Mn</b>	251,1	–	2.4 – 19.1	450 – 640	7.2 – 129.3

De manière générale, les concentrations observées dans les trois sites d'études sont inférieures ou comparables aux valeurs les plus basses rapportées dans la littérature régionale. Certains métaux comme le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) ou encore le nickel (Ni) présentent des niveaux significativement plus faibles que ceux observés dans des zones fortement urbanisées ou industrialisées d'Égypte ou de Malte. Cela suggère une pression anthropique relativement modérée

sur les plages étudiées, ainsi qu'un état de contamination faible à modéré, sans signes de pollution métallique aiguë.

L'absence de cadmium (Cd) dans les échantillons, en dessous de la limite de détection de la méthode utilisée, renforce l'idée d'un environnement peu impacté par des rejets industriels directs. Quant aux oligo-éléments, leur répartition homogène laisse supposer une influence majoritairement naturelle avec peu de perturbations d'origine humaine.

### 4. Radioéléments

Pour compléter l'évaluation environnementale, une analyse des radioéléments présents dans les sédiments a été effectuée. Cette approche vise à détecter la présence éventuelle de radionucléides naturels ou artificiels susceptibles d'induire un risque radiologique. Les résultats suivants présentent les niveaux des concentrations spécifiques mesurées dans les différentes plages échantillonnées.

Les radionucléides identifiés dans les échantillons de sédiments sont exclusivement d'origine naturelle. Aucune trace de radionucléides artificiels n'a été détectée. Ces radionucléides naturels se répartissent en trois principales catégories, correspondant aux chaînes de désintégration de l'uranium-238, du thorium-232 et du potassium-40.

- **Famille de l'Uranium-238 (U-238)**

Le Bismuth-214 (Bi-214) et le Plomb-214 (Pb-214) sont deux radionucléides issus de la chaîne de désintégration naturelle de l'uranium-238. Leurs activités massiques mesurées dans les sédiments présentent une répartition relativement homogène entre les sites.

Le Bi-214 présente des valeurs comprises entre  $4,83 \pm 1,83$  Bq/kg à Tipaza et  $9,94 \pm 3,43$  Bq/kg à Alger, avec une moyenne de  $7,60 \pm 4,09$  Bq/kg.

Le Pb-214 affiche une activité moyenne de  $11,20 \pm 3,33$  Bq/kg, avec une valeur minimale enregistrée à 6,90 Bq/kg.

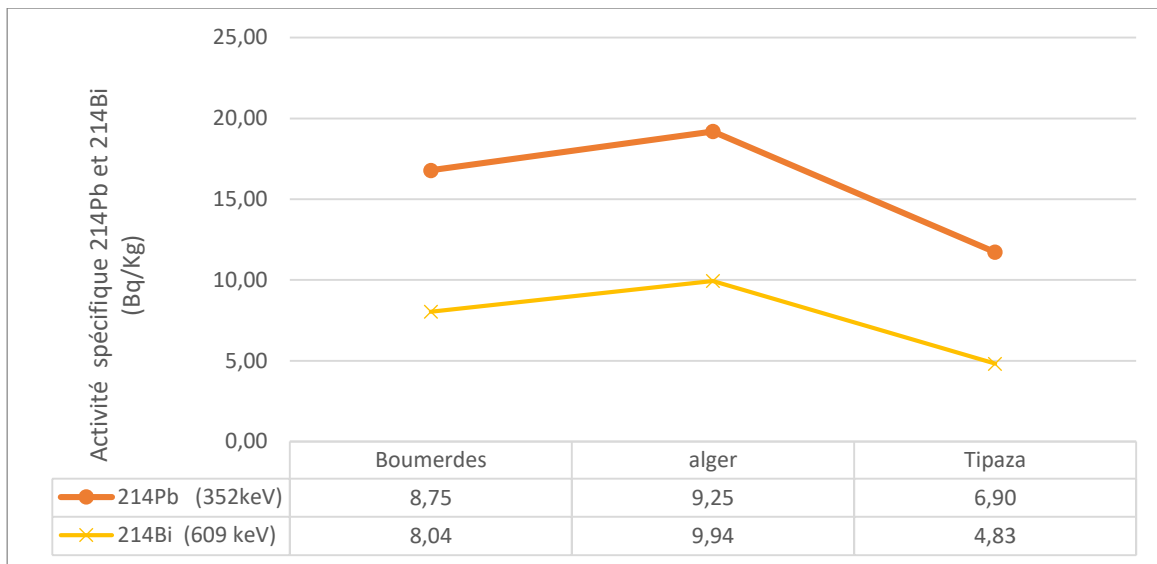


Figure 60 Courbe de distribution des activités spécifiques 214Pb et 214Bi

● **Famille du Thorium-232 (Th-232)**

Le Plomb-212 (Pb-212) et l'Actinium-228 (Ac-228) proviennent de la désintégration naturelle du thorium-232.

Le Pb-212 présente une valeur minimale de  $10,03 \pm 2,27$  Bq/kg et une moyenne de  $8,30 \pm 13,56$  Bq/kg, avec des activités plus élevées observées à Alger.

L'Ac-228 varie entre  $6,37 \pm 0,6$  Bq/kg à Tipaza et  $11,06 \pm 1,05$  Bq/kg à Alger, avec une moyenne de  $8,98$  Bq/kg.

Ces niveaux d'activité traduisent une présence modérée mais naturelle de thorium dans les

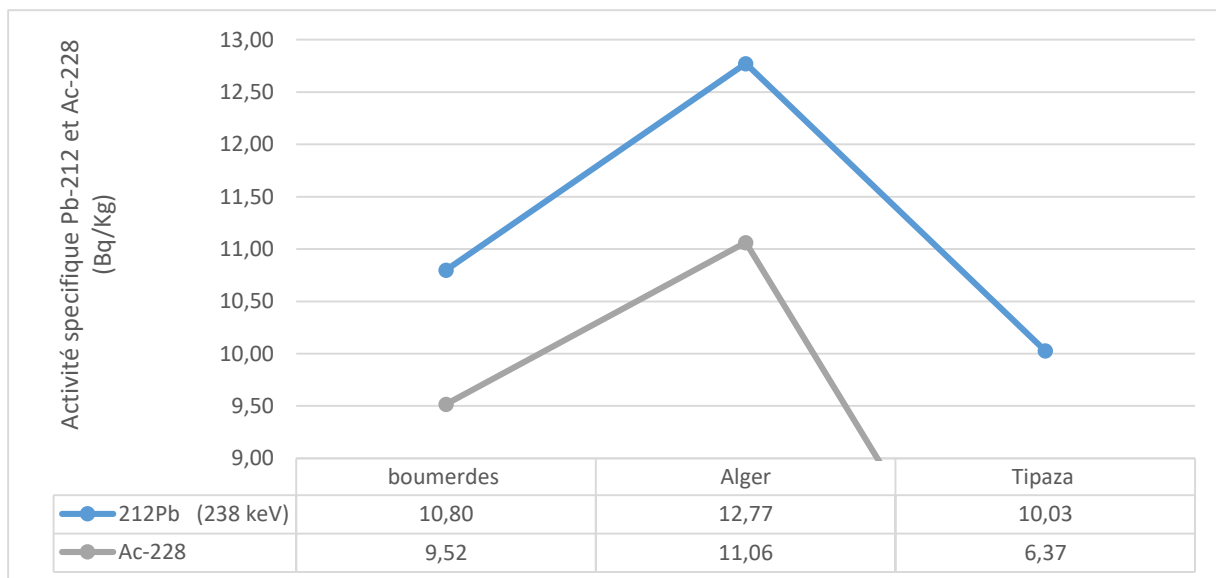


Figure . 61 : Courbe de distribution des activités spécifiques 212Pb et 228Ac

sédiments des zones étudiées.

● **Potassium-40 (K-40)**

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le K-40 est un isotope naturel indépendant, ne faisant pas partie des chaînes de désintégration de l'uranium ou du thorium. Son activité spécifique varie de  $87,77 \pm 15,19$  Bq/kg à Tipaza à  $300,66 \pm 50,06$  Bq/kg à Alger. Ces valeurs traduisent une teneur relativement élevée en potassium dans certains sites, en lien probable avec la composition minéralogique des sédiments.

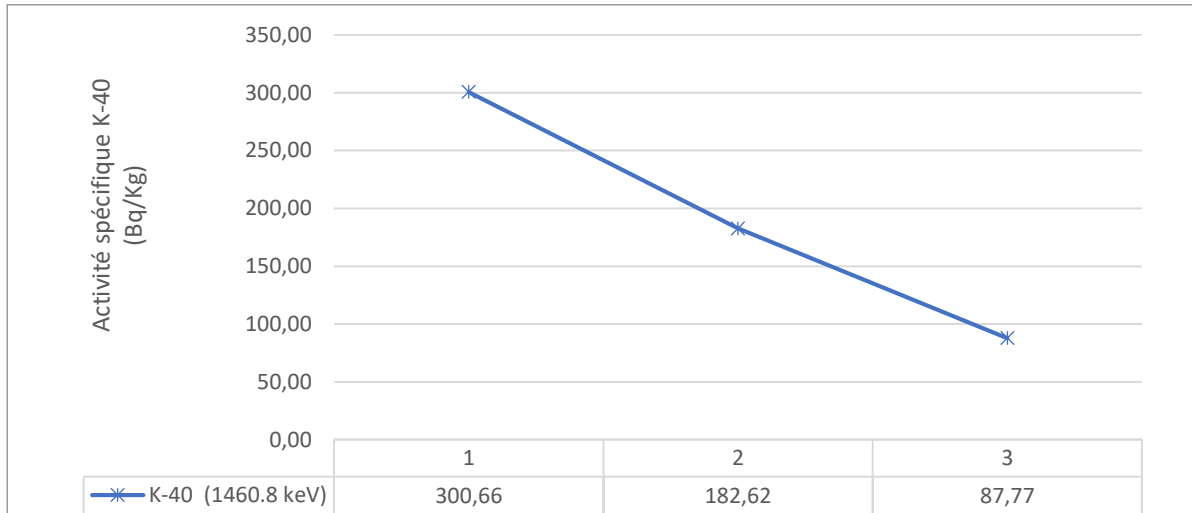


Figure .62 : Courbe de distribution des activités spécifiques 40K

L'ensemble des résultats obtenus indique que la radioactivité des sédiments des plages étudiées est principalement d'origine naturelle. Les radionucléides identifiés appartiennent majoritairement aux séries de désintégration de l'uranium-238 et du thorium-232, ainsi qu'au potassium-40, un isotope naturel indépendant. Leurs concentrations restent globalement modérées et homogènes, avec quelques variations localisées plus marquées à Alger, ce qui pourrait être lié à des particularités géologiques ou minéralogiques locales.

Par ailleurs, l'absence des isotopes artificiels marqueur de pollution radioactive anthropique tel que césium-137, confirme qu'aucune contamination récente d'origine industrielle ou nucléaire n'a affecté les sites étudiés. Ces observations suggèrent que les niveaux de radioactivité mesurés reflètent les conditions naturelles du milieu, sans impact significatif des activités humaines

# **CONCLUSION & PERSPECTIVES**

Le présent mémoire a porté sur l'évaluation de la pollution sédimentaire de trois plages du littoral algérois – Rocher Noir (Boumerdes), Colonel Abbas (Tipaza) et Bateau Cassé (Alger) – en intégrant l'étude des microplastiques, des métaux traces, des radionucléides naturels, de la matière organique et des propriétés granulométriques. Cette approche pluridisciplinaire a permis de dresser un état des lieux environnemental détaillé de ces zones côtières.

L'analyse des microplastiques a révélé une forte hétérogénéité spatiale, avec une contamination particulièrement marquée sur le site de Rocher Noir, où la présence dominante de fragments et de fibres indique des sources multiples de pollution, liées aux activités humaines, aux rejets urbains. L'identification des polymères par FTIR a mis en évidence la présence de polyestère et de polystyrène, confirmant l'origine domestique et industrielle des particules détectées.

Les concentrations en métaux traces mesurées dans les sédiments se sont révélées relativement faibles dans l'ensemble, ne dépassant pas les seuils de référence communément admis pour les milieux côtiers. L'absence de cadmium, métal particulièrement toxique, renforce l'idée d'une pression anthropique modérée dans les zones étudiées.

L'évaluation de la radioactivité naturelle a permis d'identifier des radionucléides issus des familles de l'uranium-238, du thorium-232 et du potassium-40, à des niveaux considérés comme faibles à modérés. L'absence de radionucléides artificiels, tels que le césium-137, témoigne d'un environnement non affecté par une pollution radioactive d'origine anthropique.

Sur le plan sédimentologique, les résultats granulométriques ont mis en évidence des sédiments globalement bien classés, à dominance de grains grossiers, traduisant des conditions hydrodynamiques actives.

Les teneurs en matière organique varient d'un site à l'autre, avec des valeurs plus élevées à Colonel Abbas, probablement en lien avec une accumulation de dépôts organiques d'origine mixte.

Dans l'ensemble, cette étude met en évidence une pollution multifactorielle, dont l'intensité et la nature diffèrent selon les sites. Les microplastiques apparaissent comme l'élément le plus préoccupant, à la fois par leur abondance, leur persistance et leur origine diversifié

À l'issue de ce travail, plusieurs recommandations peuvent être formulées en vue d'améliorer les méthodologies d'analyse, de renforcer la gestion environnementale et d'explorer des solutions de traitement durables :

- Renforcer la fréquence et la couverture spatiale des campagnes de suivi des polluants sédimentaires le long du littoral algérien.

- Élargir la zone d'étude à d'autres plages et baies afin de disposer d'un diagnostic plus représentatif de la pollution côtière.
- Inclure les microplastiques de petite taille (< 250 µm) dans les études prochaines, en raison de leur toxicité accrue et leur capacité à pénétrer les tissus biologiques.
- Utiliser des filtres métalliques ou à quadrillage lors de l'extraction et de l'observation des microplastiques, conformément aux protocoles standardisés, pour une meilleure répartition et identification.
- Appliquer les techniques Micro-FTIR et MEB pour l'identification précise des polymères et la visualisation des particules fines.
- Analyser l'association microplastiques-polluants (métaux lourds et radioéléments) pour mieux comprendre les risques environnementaux globaux.
- Développer des actions de sensibilisation locale, ciblant les pêcheurs, touristes, riverains et autorités locales.

Ce travail a posé les bases d'une évaluation intégrée de la pollution sédimentaire sur le littoral algérois. Néanmoins, plusieurs axes de recherche méritent d'être approfondis

- Création d'une base de données nationale environnementale dédiée au littoral algérien, intégrant les concentrations de polluants (microplastiques, métaux, radioéléments) à l'échelle spatio-temporelle, afin de mieux identifier les sources de contamination et suivre leur évolution.
- L'étude des mécanismes d'interactions complexes entre les microplastiques, les métaux lourds et les radionucléides incluant les phénomènes d'adsorption, de transport, de relargage et de synergie toxique constitue également un enjeu majeur, en particulier à travers des expérimentations en conditions contrôlées.
- Le développement de modèles de dispersion et de prédiction des polluants, intégrant les paramètres hydrodynamiques et morphosédimentaires, permettrait d'anticiper les dynamiques de contamination dans les milieux côtiers.
- L'exploration de techniques analytiques de pointe, telles que la spectroscopie Raman, la spectrométrie de masse à plasma inductif (ICP-MS) ou la micro-spectroscopie FTIR, contribuerait à détecter les concentrations infimes et les formes nanoparticulaires souvent ignorées.
- La mise en œuvre d'approches interdisciplinaires, combinant la biogéochimie, l'écotoxicologie, la radioécologie et les sciences sociales, s'impose pour une

compréhension globale et intégrée des pressions environnementales affectant les écosystèmes côtiers.

- Renforcer les études sur les plastiques biodégradables issus de ressources renouvelables constitue une priorité afin de développer des alternatives durables aux plastiques conventionnels, tout en réduisant leur impact environnemental.

Références Bibliographiques

**Ames, T. S. M., Khalik, W. M. A. W. M., Ong, M. C., Shao, Y. T., Pan, H.-J., & Bhubalan, K. (2021).** Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4>

**Andrady, A. L. (2011).** Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

**Arienzo, M., Ferrara, L., & Trifuoggi, M. (2021).** The dual role of microplastics in marine environment: Sink and vectors of pollutants. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 642. <https://doi.org/10.3390/jmse9060642>

**Aslam, H., Ali, T., Mortula, M. M., & Attaelmanan, A. G. (2020).** Evaluation of microplastics in beach sediments along the coast of Dubai, UAE. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110739. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110739>

**Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (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>

**Azzopardi, I. M., Lia, F., & Costa, C. (2022).** Assessment of heavy metal distributions in sand beaches in the Maltese Islands. *Applied Sciences*, 12(14), 7192. <https://doi.org/10.3390/app12147192>

**Balassone, G., Aiello, G., Barra, D., Cappelletti, P., De Bonis, A., Donadio, C., Guida, M., Melluso, L., Morra, V., Parisi, R., Pennetta, M., & Siciliano, A. (2016).** Effects of anthropogenic activities in a Mediterranean coastland: The case study of the Falerno-Domitio littoral in Campania, Tyrrhenian Sea (southern Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 271–290. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.004>

**Carpenter, E. J., & Smith, K. L. (1972).** Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*, 175(4027), 1240–1241. <https://doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>

Chapitre 6. (s. d.).

**Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011).** Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

**Delacroix, D., Guerre, J.-P., & Leblanc, P. (2006).** Radionucléides & radioprotection : Guide pratique. EDP Sciences.

**El-Sharkawy, M., Alotaibi, M. O., Li, J., Du, D., & Mahmoud, E. (2025).** Heavy metal pollution in coastal environments: Ecological implications and management strategies: A review. *Sustainability*, 17(2), 701. <https://doi.org/10.3390/su17020701>

**El-Sorogy, A. S., Tawfik, M., Almadani, S. A., & Attiah, A. (2016).** Assessment of toxic metals in coastal sediments of the Rosetta area, Mediterranean Sea, Egypt. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 398. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4985-3>

**Fang, J., Xuan, Y., & Li, Q. (2010).** Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the PS colloidal crystals. *Science China Technological Sciences*, 53(11), 3088–3093. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4110-5>

**GESAMP. (2016).** Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment (Rep. Stud. GESAMP No. 90).

**Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. (2018).** Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 64, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.10.009>

Handbook on the Toxicology of Metals. (s. d.).

Jakimska, A., Konieczka, P., Skóra, K., & Namieśnik, J. (s. d.). Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, part I: The role and impact of heavy metals on organisms.

**Thèse de doctorat. Chimie Analytique. France :** Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) **Juge, C. L. (2022).** Caractérisation de nanoplastiques et microplastiques dans des matrices environnementales par des méthodes thermiques et séparatives.

**Kurnaz, A., Küçükömeroğlu, B., Keser, R., Okumusoglu, N. T., Korkmaz, F., Karahan, G., & Çevik, U. (2007).** Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*, 65(11), 1281–1289. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2007.06.001>

**Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016).** Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment*, 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>

**McComb, J. (2014).** Understanding biogeochemical cycling of trace elements and heavy metals in estuarine ecosystems. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 5(3). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000e148>

**Pereira, A. P. D. S., Silva, M. H. P. D., Lima Júnior, É. P., Paula, A. D. S., & Tommasini, F. J. (2017).** Processing and characterization of PET composites reinforced with geopolymer concrete waste. *Materials Research*, 20(suppl 2), 411–420. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2017-0734>

**PlasticsEurope. (2016.).**

**Potters, G. (2013).** Marine pollution (1st ed.). Bookboon.

**Rangel-Buitrago, N., Rizzo, A., Neal, W. J., & Mastronuzzi, G. (2023).** Sediment pollution in coastal and marine environments. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 115023. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115023>

**Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012).** Heavy metal toxicity and the environment. In A. Luch (Ed.), *Molecular, clinical and environmental toxicology* (Vol. 101, pp. 133–164). Springer Basel. [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)

United Nations Convention on the Law of the Sea. (1983).

**Vives I Batlle, J., Aoyama, M., Bradshaw, C., Brown, J., Buessler, K. O., Casacuberta, N., Christl, M., Duffa, C., Impens, N. R. E. N., Iosjpe, M., Masqué, P., & Nishikawa, J. (2018).** Marine radioecology after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident: Are we better positioned to understand the impact of radionuclides in marine ecosystems? *Science of The Total Environment*, 618, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.005>

---

**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>

# ANNEXES

	Station	TB1		TB2		TB3		TB4		TB5	
	Fraction	(1-5)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	
Forme	pellets	0	1	12	12	23	1	1	2	10	
	fibre	45	16	22	39	27	20	19	51	42	
	film	16	0	10	1	13	2	7	22	10	
	fragment	79	26	38	33	91	33	31	23	51	
	paillet	0	0	0	0	2	0	3	0	0	
	filet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Filament	37	9	0	18		7	7	34	30	
	EPONGE	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
couleur	noir	35	12	20	44	45	23	14	0	40	
	bleu	16	2	10	6	20	0	6	16	3	
	rouge	10	1	6	4	8	0	5	16	1	
	jaune	10	2	6	16	15	5	9	2	8	
	vert	8	0	2	4	6	1	2	12	1	
	orange	8	4	6	4	6	5	3	0	1	
	transparent	56	10	10	9	15	3	9	13	13	
	blanc	12	5	10	6	15	18	17	19	79	
	beige	3	0	2	2	8	0	0	1	0	

	rose	9	1	4	2	8	3	3	3	2	
	marron	3	16	8	3	10	6	0	2	40	
Total		170	52	84	103	156	63	68	84	188	968
Abondance MPS/Kg		8638.21	3256.105	157.6991	3348.505	302.2377	193.447	179.9	5706.5	355.065	2459.74718
Abondance MPS/m2		1382.11	520.9768	25.23186	535.7607	48.35804	30.9516	28.79	913.04	56.8105	393.559549

Tableau de classification des MP dans la plage Rocher noir (Boumerdes)

*Tableau 7 Classification des MP dans la plage de Boumerdes*

	Station	TCA1		TCA2		TCA3		TCA4		TCA5	
	Fraction	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)
FORME	pellets	0	1	0	4	2	10	0	4	1	2
	fibres	50	45	42	13	20	20	44	14	11	24
	film	0	9	7	8	15	10	12	6	1	12
	fragment	33	16	30	112	60	40	44	63	75	40
	Filament	16	11	8	24	10	20	12	15	11	13
COULEUR	noir	48	20	28	60	15	15	20	22	53	19
	bleu	3	14	20	13	15	12	5	12	7	15
	rouge	0	9	4	0	4	4	0	1	2	2

jaune	4	1	5	7	8	4	0	7	0	0	
vert	1	0	5	5	14	14	0	2	0	1	
orange	0	0	5	17	5	5	4	11	0	4	
transparent	16	32	5	11	10	10	54	11	14	22	
blanc	10	4	5	9	10	15	3	8	16	24	
beige	2	0	0	0	5	5	1	0	0	0	
rose	2	0	2	1	6	6	0	2	0	0	
marron	10	3	8	38	15	10	25	15	1	4	
<b>Total</b>	<b>99</b>	<b>82</b>	<b>87</b>	<b>161</b>	<b>107</b>	<b>100</b>	<b>112</b>	<b>102</b>	<b>99</b>	<b>91</b>	<b>1040</b>
Abondance (Mps/kg)	153.9	255	270.51	642.9	325.6	408.9	394.63	304	13165	179.399	1610.01
Abondance (Mps/m2)	24.63	40.8	43.282	102.9	52.1	65.42	63.141	49	2106	28.7038	257.601

Tableau de classification des MPs dans la plage Colonel Abbas( Tipaza )

*Tableau 8 Classification des Mps dans la plage colonel Abbas*

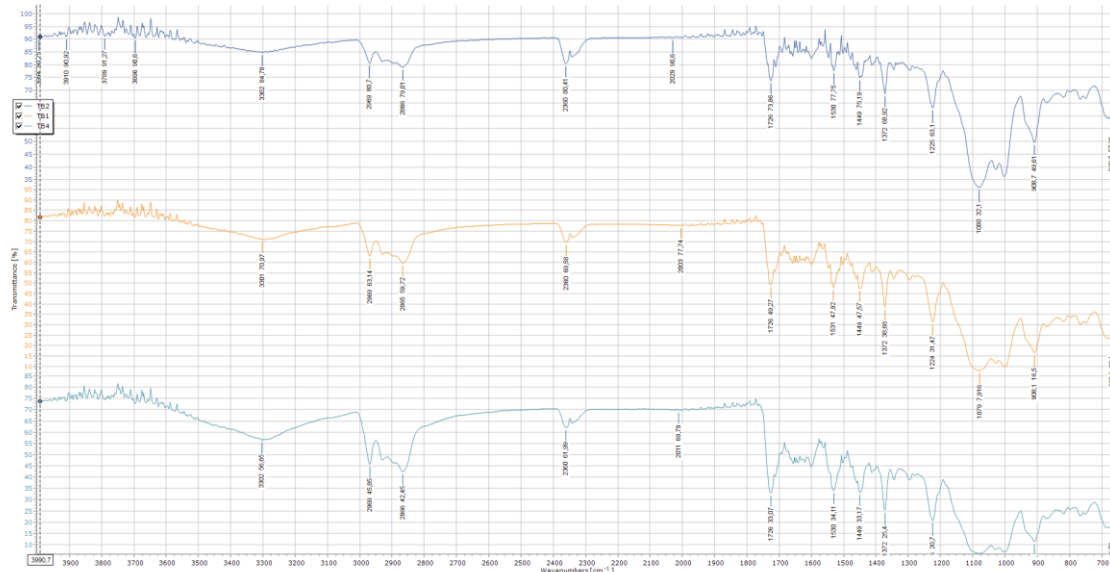
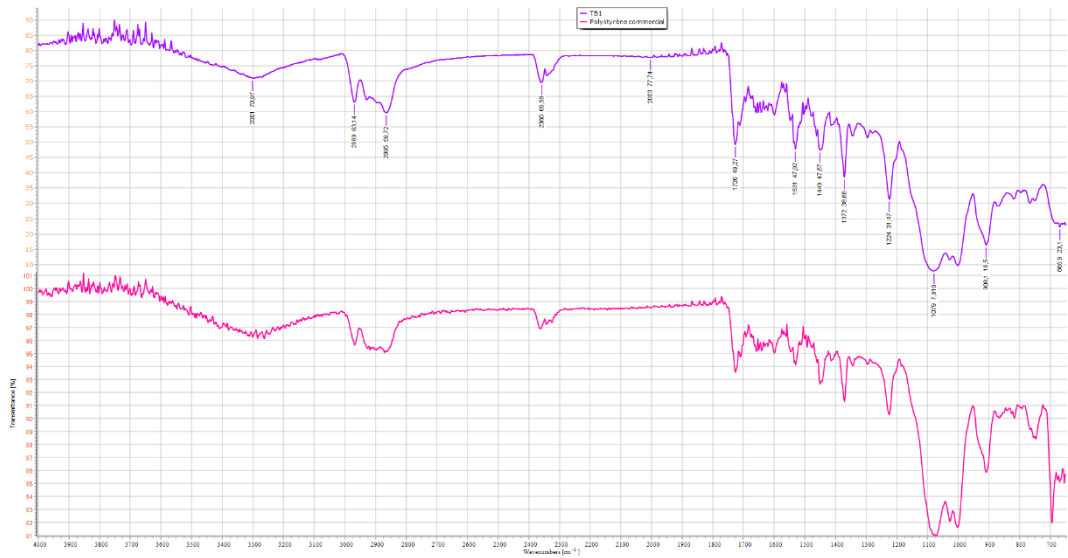
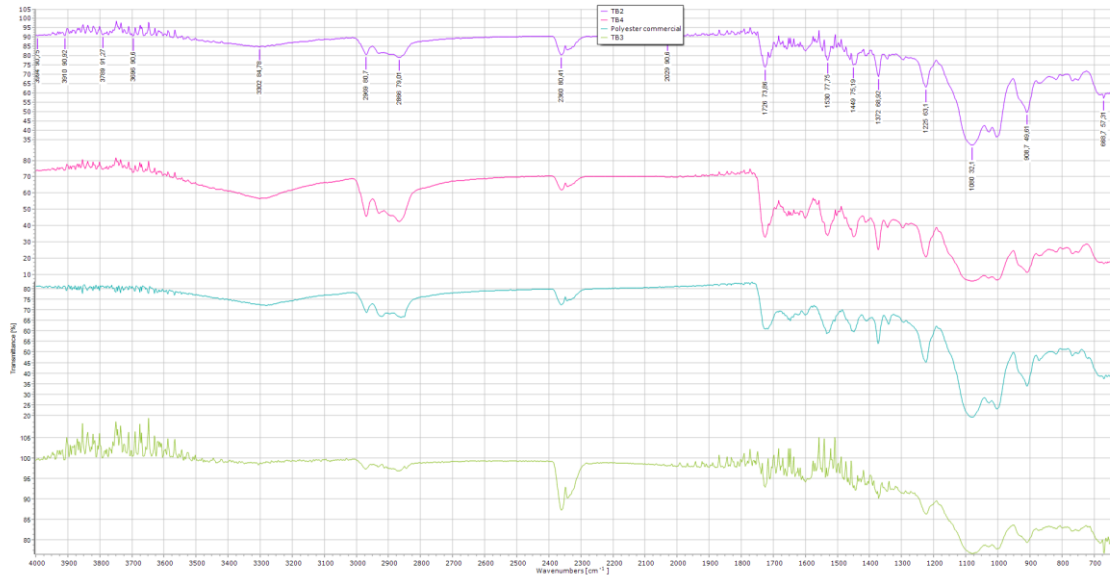
Tableau de classification de MPs dans la plage Bateau cassé (Alger)

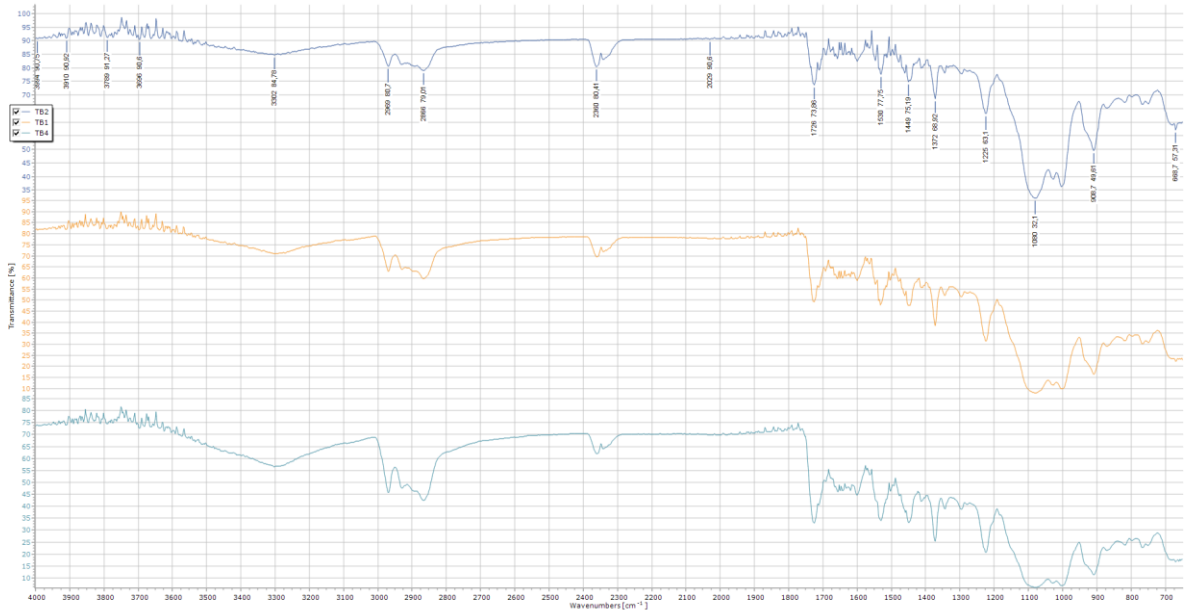
Tableau 9 Tableau de classification de MPs dans la plage Bateau cassé (Alger)

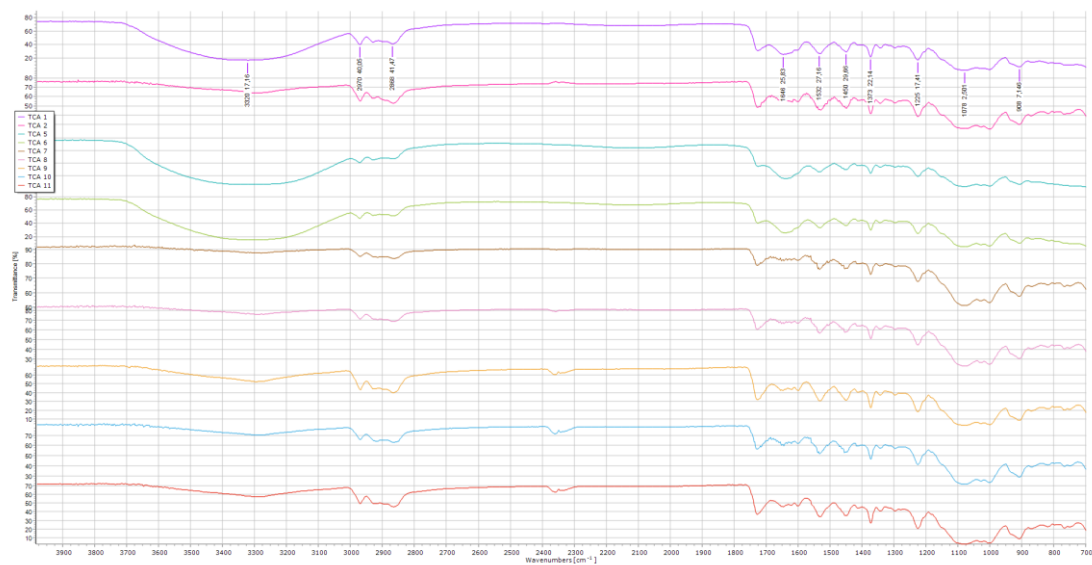
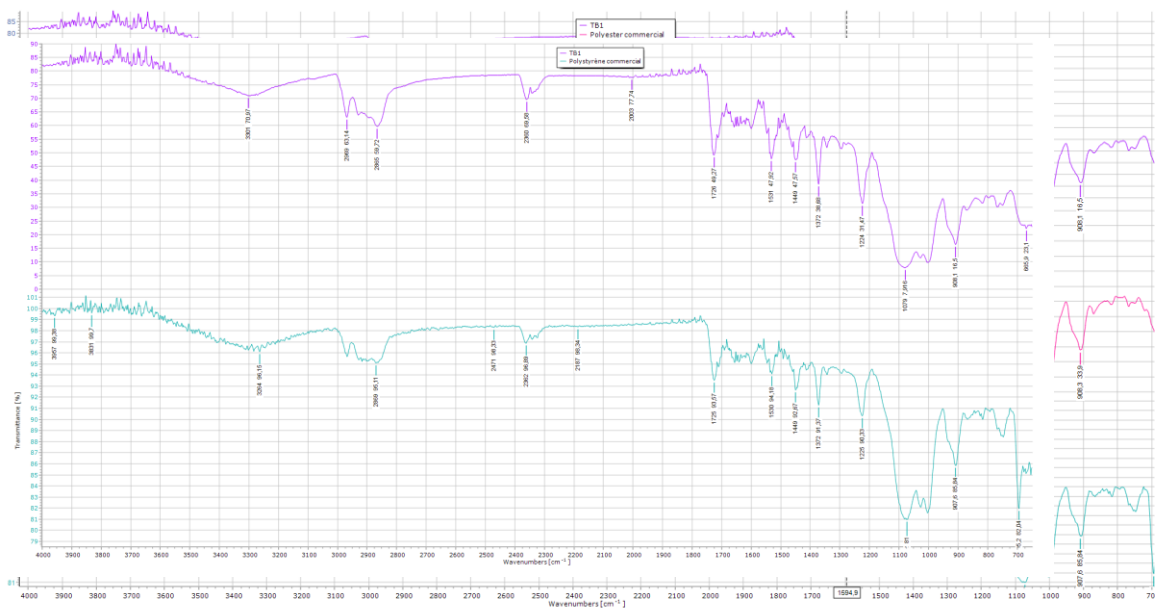
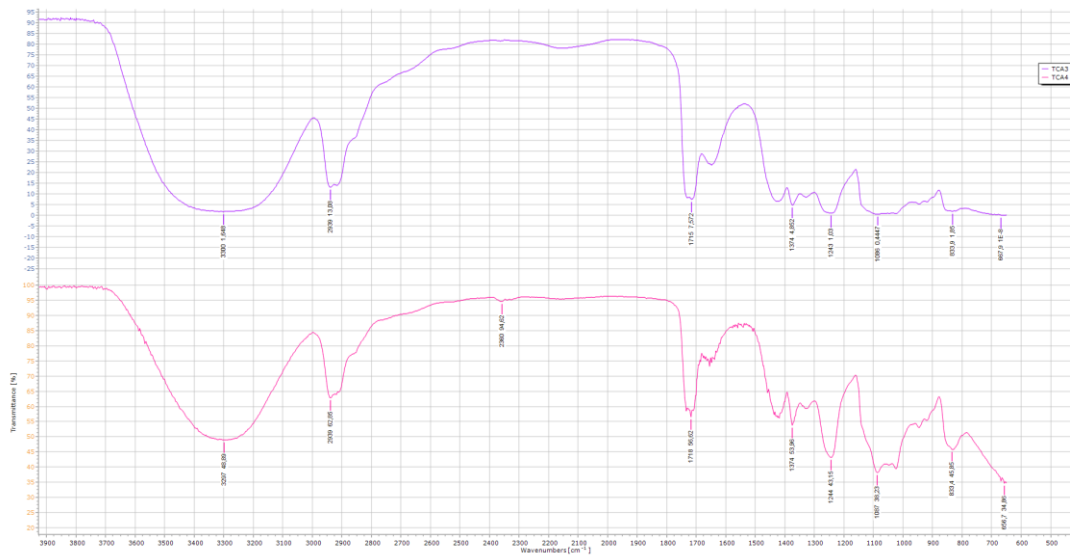
Station		TBC1		TBC2		TBC3			TBC4		TBC5	
Fraction		(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)		(1-5)	(1-300)	(1-5)	(1-300)
FORME	pellets	14		10	10	19	5	21	21	13	11	36
	fibre	26		92	98	69	11	53	53	96	110	150
	film	35		25	72	40	32	63	33	10	26	17
	fragment	77		60	120	80	17	66	26	103	90	124
	filament	33		97	13	23	25	20	25	64	60	24
	paillette	1		0	7	11	30	3	2	0	0	9
COULEUR	noir	25		83	112	90	20	87	17	43	65	126
	bleu	30		30	60	28	10	69	89	93	100	97
	rouge	18		9	24	8	5	1	13	30	5	22
	jaune	6		16	2	3	0	0	0	11	27	1
	vert	5		0	1	1	0	0	0	2	3	0
	orange	14		9	2	6	7	9	5	13	2	23
	transparent	20		34	37	20	18	26	32	39	30	12
	blanc	51		33	4	48	43	21	2	18	25	28
	beige	4		0	50	6	0	0	0	1	2	5
rose	3		8	12	5	3	2	2	1	15	12	

	marron	10	62	16	27	14	11	21	35	23	34	
totale		186	284	320	242	120	226	160	286	297	360	
abondance (MPs/kg)		0.0111	0.0008	0.0464	0.00047	0.86643	0.000488	0.00065	0.756774	0.020177	0.00068	0.17039193
abondance (MPs/m <sup>2</sup> )		0.0029	0.0045	0.0051	0.0038	0.0019	0.0036	0.0025	0.0045	0.0047	0.0057	0.00396

Spectres de la spectroscopie infrarouge (FTIR)







Elément	Transect Boumerdes		Transect bateau cassé		Transect Colonel Abbas	
	Concentration (ppm)	Uncertainty	Concentration (ppm)	Uncertainty	Concentration (ppm)	Uncertainty
Mg	11800	0,51	10700	0,81	8000	2,6
Al	15530	0,033	17730	0,035	14380	0,034
Si	226770	0,032	138910	0,025	147820	0,025
P	310	0,0022	226	0,0019	106	0,0019
S	1168,5	0,0008	1028,8	0,0007	1342,5	0,00071
K	4370	0,0013	2572	0,0018	2344	0,0017
Ca	27821	0,0027	85128	0,008	97783	0,0088
Ti	736	0,0011	1054	0,0021	831	0,0015
V	20,3	1,2	60,3	2,4	41,5	1,7
Cr	25,8	4,4	40,4	7,1	33	6,5
Mn	121,6	2	450,2	6	181,7	3,2
Fe	8990	0,0011	38387	0,004	19929	0,0023
Co	5,25	0,9	5,57		5,6	
Ni	11,05	0,91	32,9	1,5	21	1,3
La	10,9	1	27	1,8	21	1,4
Nd	18,7	3,6	21,7	2,8	22,7	4,1
Ce	3,2	6,7	48	15	32	10
Ba	132	42	113	65	217	47
Cu	4,27	0,8	11,1	1,2	5,5	1
Zn	17,51	0,85	102,5	2	33,1	1,2
As	8,52	0,68	27,1	1,2	13,65	0,87
Rb	24,13	0,56	18,9	0,67	15,46	0,58
Sr	79,78	0,91	261,2	1,8	283,9	1,8
Y	4,07	0,76	10,5	1	9,68	0,93
Zr	23,1	1,1	45,3	1,7	23,9	1,5
Pb	6,67	0,87	4,7	1,6	3	1,1
Ga	4,4	0,47	3,67	0,69	4,13	0,58

**ANNEXE 3**

Br	5	0,36	6,46	0,49	9,6	0,47
Cd	0,16	0,1	0	0	0	0
Mo	1	0,6	2	0,7	2	110
Nb	1	0,5	4,1	1,6	0,7	1,5
Cs	0	0	1,6	0,9	0	0
Hg	0,063	0,02	0,229	0,1	0,251	0,12
Sb	0	0	7,2	4,8	1,3	4,6

Métaux lourds

Tl-208 (583 keV)

Code Ech.	T(s)	M (g)	M (kg)	I	Efficiency	$\sigma_{\epsilon}$	N real(cps)	$\Delta N_{\text{real}}$ (%)	BF	$\Delta N_{\text{BF}}$ (%)	N Net (cps)	$\Delta N_{\text{net}}$	Activity (Bq/Kg)	$\Delta A$
Boumerdes	86400	100	0,10	0,3	0,0333	0,001	602,00	17,40			602,00	6,80	6,97	0,58
alger	86400	100	0,10	0,3	0,0333	0,001	771,00	12,80			771,00	6,80	8,93	0,74
Tipaza	86400	100	0,10	0,3	0,0333	0,001	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00

214Bi (609 keV)

Code Ech.	T(s)	M (g)	M (kg)	I	Efficiency	$\sigma_{\epsilon}$	N real(cps)	$\Delta N_{\text{real}}$ (%)	BF	$\Delta N_{\text{BF}}$ (%)	N Net (cps)	$\Delta N_{\text{net}}$	Activity (Bq/Kg)	$\Delta A$
Boumerdes	86400	100	0,10	0,4549	0,0320	0,00	1011,00	80,40	150,00	33,10	861,00	86,95	8,04	7,00
alger	86400	100	0,10	0,4549	0,0320	0,00	1250,00	9,30	150,00	33,10	1100,00	34,38	9,94	3,46
Tipaza	86400	100	0,10	0,4549	0,0320	0,00	607,00	18,10	150,00	33,10	457,00	37,73	4,83	1,84

Ac-228 (911 keV)

Code Ech.	T(s)	M (g)	M (kg)	I	Efficiency	$\sigma_{\epsilon}$	N real(cps)	$\Delta N_{\text{real}}$ (%)	BF	$\Delta N_{\text{BF}}$ (%)	N Net (cps)	$\Delta N_{\text{net}}$	Activity (Bq/Kg)	$\Delta A$
Boumerdes	84600	100	0,10	0,262	0,0219	0,00	462,00	4,10			462,00	9,00	9,52	1,00
Alger	84600	100	0,10	0,262	0,0219	0,00	537,00	19,40			537,00	9,00	11,06	1,16

Tipaza	84600	100	0,10	0,262	0,0219	0,00	309,00	30,90			309,00	9,00	6,37	0,67
K-40 (1460.8 keV)														
Code Ech.	temps de Comptage (s)	Mass (g)	Mass (kg)	Intensité	Efficiency	$\sigma_{\epsilon}$	N real(cps)	$\Delta N_{real}$ (%)	BF	$\Delta N_{BF}$ (%)	N Net (cps)	$\Delta N_{net}$	Activity (Bq/Kg)	$\Delta A$
Boumerdes	86400	100	0,10	0,1055	0,0133	0,00	3645,00	4,10	226,00	15,20	3419,00	15,74	300,66	50,06
alger	86400	100	0,10	0,1055	0,0133	0,00	2214,00	5,10	226,00	15,20	1988,00	16,03	182,62	30,91
Tipaza	86400	100	0,10	0,1055	0,0133	0,00	1064,00	9,40	226,00	15,20	838,00	17,87	87,77	16,39

Transect Rocher noir ,Boumerdes					
	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05
2mm	8,58	8,46	5,12	3,6	2,63
1mm	14,58	29,31	29,03	26,08	15,93
500µm	203,9	178,86	88,03	207,81	169,92
250µm		263,04	322,28	247,85	287,7
125µm	250,5	41,87	56,33	25,79	41,74
90µm	0,08	0,27	0,12	0,15	0,11
63µm	0,02	0,18	0,8	0,05	0,05
45µm	0,03	0,1	0	0	0,04
Transect Colonel Abbas ,Tipaza					
	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05
2mm	0,81	0,07	2,03	131,27	62,06
1mm	4,12	1,52	3,7	153,33	431,26
500µm	51,86	80,5	28,35	7,08	6,84
250µm	330,43	292,7	230,99	88,51	0,1
125µm	124,84	124,22	234,99	125,32	0
90µm	0,19	0,05	0,66	0,57	0
63µm	0	0,02	0,1	0	0
45µm	0	0	0	0	0

## Indice de Classement de Trask(1932) et indice d'asymétrie

Tableau 10 résultats Indice de Classement de Trask(1932) et indice d'asymétrie

	Boumerdes	Alger	Tipaza
Q1	13,82	18,75	33,17
Q3	100,03	101,34	100,06
So	2,69	2,32	1,74
Sk	0,16	0,21	0,43

Transect Bateau Cassé ,Alger					
	ST01	ST02	ST03	ST04	ST05
2mm	2,27	0,67	1,38	3,08	34,52
1mm	20,17	13,52	19,47	187,74	154,45
500µm	170,74	133,9	162,13	123,22	186,21
250µm	294,86	335,15	309,29	342,69	122,29
125µm	110,4	18,19	8,28	189,18	34,52
90µm	0,15	0,08	0,01	0,08	3,19
63µm	0,11	0,05	0	0,05	0
45µm	0,12	0	0	0,01	0

## Taux des pellites

Tableau 11 taux des pellites transect Boumerdes

Transect Boumerdes	P1	P2	%
ST1	176,25	174,53	0,9758865
ST2	191,45	189,08	1,2379211
ST3	185,99	184,95	0,5591698
ST4	185,6	184,58	0,549569
ST5	189,34	188,65	0,3644238

Tableau 12 taux des pellites transect Tipaza

Transect Tipaza	P1	P2	%
ST1	176,25	174,53	0,9758865
ST2	166,68	164,82	1,1159107
ST3	158,95	158,26	0,4340988
ST4	181,42	180,29	0,6228641
ST5	194,41	193,84	0,2931948

Tableau 13taux des pellites transect

Transect	P1	P2	%
Alger			
ST1	188,94	187,92	0,5399
ST2	184,5	182,7	0,9756
ST3	179,44	178,84	0,3344
ST4	191,46	188,69	1,4468
ST5	194,06	187,11	3,5814

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
 République Algérienne Démocratique et Populaire  
 وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
 Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
 المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
 Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



## Attestation de participation

Cette attestation est délivrée à

**Mme. KOUIDER Hiba**

A participé à la conférence intitulée « Interactions anthropiques avec la mer et le littoral : Perspectives scientifiques et stratégiques » CIAMEL 2025 » qui a eu lieu à l'ENSSMAL le 28 mai 2025 par une communication écrite intitulée :

«Preliminary study of microplastics and mercury in beach sediments along algiers coastline»»,

Co-auteurs: DERARDJA H., TAIEB ERRAHIMANI D., INAL A.

Alger, le 28 mai 2025



الأستاذة: ليندة بن حاجة  
 المديرة

Directrice de l'ENSSMAL

Figure 63 Attestation de participation à la conférence CIAMEL