

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme D'ingénieur en sciences de la mer  
et d'aménagement du littoral

**Spécialité :** Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

## **Thème :**

# **Contribution à la détection et à la gestion de la pollution plastique dans les eaux côtières de l'Algérois via des techniques de Télédétection Spatiale**

Présenté par :

➤ **Nada Rihab BENHADJ AMAR**

Soutenu le 30/06/2024 devant le jury composé de :

M<sup>me</sup>Sengouga Amina  
M<sup>me</sup> Keraghel Mehdi  
M<sup>me</sup>HaridRomaissa

Maitre assistante A (ENSSMAL)  
Maitre de conférence B (ENSSMAL)  
Maitre de conférence B (ENSSMAL)

Présidente  
Promotrice  
Examinatrice

Promotion : 2023 – 2024



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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme De Master en sciences de la mer et  
d'aménagement du littoral

**Spécialité :** Ingénierie de l'Environnement Marin et Côtier

### **Thème :**

## **Contribution à la détection et à la gestion de la pollution plastique dans les eaux côtières de l'Algérois via des techniques de Télédétection Spatiale**

Présenté par :

➤ **Nada Rihab BENHADJ AMAR**

Soutenu le 30/06/2024 devant le jury composé de :

M<sup>me</sup>Sengouga Amina  
M<sup>me</sup> Keraghel Mehdi  
M<sup>me</sup>HaridRomaissa

Maitre assistante A (ENSSMAL)  
Maitre de conférence B (ENSSMAL)  
Maitre de conférence B (ENSSMAL)

Présidente  
Promotrice  
Examinatrice

Promotion : 2023 – 2024

*À la mémoire de mon grand-père Huinou,*

*Même si mes souvenirs de toi sont peu nombreux, ta présence  
bienveillante continue de résonner en moi. Tu étais une figure  
emblématique de notre famille, et ton héritage de sagesse perdure  
dans nos cœurs.*

*Que ce travail soit un humble hommage à l'homme remarquable  
que tu étais même à travers les brumes du temps.*

## DEDICACES

### *À Maman et Papa,*

Vous avez consacré chaque instant à veiller sur mes sœurs et moi, sacrifiant sans relâche votre temps, votre énergie et vos rêves pour notre bien-être et notre éducation. Votre dévouement inébranlable et votre amour sans limites sont les piliers sur lesquels nous nous appuyons chaque jour. Cette dédicace est un modeste hommage à votre détermination, à votre patience infinie et à votre amour inconditionnel. Que vos sacrifices et votre générosité soient reconnus et honorés, car vous êtes les héros silencieux qui ont façonné nos vies avec tant de soin et de tendresse.

### *À mes chères sœurs, Aya et Houda,*

Vous êtes bien plus que mes sœurs, vous êtes mes meilleures amies. À travers les hauts et les bas de la vie, votre soutien et votre amour sans faille ont été mes plus grands réconforts. Comme l'a si bien dit Aya, avec le temps, nous avons appris à être à la fois sœurs et amies.

### *À mes grands-parents,*

Mima et Mani, vos sourires ont illuminé mon enfance et ont été des sources constantes de réconfort et d'amour. En dépit des années qui passent, la chaleur de votre affection reste gravée dans mon cœur. Jado, ton influence et ta présence ont également marqué mon parcours, et je vous suis infiniment reconnaissante pour les moments partagés.

### *À ma famille BENHADJ AMAR, CHABIRA et KACEDALI,*

Ce travail est également dédié à vous tous, en témoignage de l'influence positive que vous avez eue sur mon parcours. Votre présence et votre soutien ont été des éléments essentiels dans ma vie d'étudiante, et je tenais à vous exprimer ma reconnaissance à travers cette dédicace.

## REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer ma sincère gratitude envers chacune des personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement ma promotrice, M<sup>me</sup> KERAGHEL Mehdiya, pour son accompagnement précieux tout au long de ce parcours. Votre soutien inébranlable et vos encouragements m'ont motivé à donner le meilleur de moi-même. Votre dévouement scientifique et disponibilité permanente ont été des atouts essentiels pour la réussite de ce travail.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers M<sup>me</sup> SENGOUGA Amina, qui a présidé cette soutenance avec honneur, ainsi qu'à M<sup>me</sup> HARID Româissa pour avoir accepté d'examiner ce travail. Vos remarques pertinentes et votre expertise ont enrichi le contenu de ce mémoire.

Un immense merci à mes enseignants pour leur partage de savoir et leur passion tout au long de mon parcours académique.

Je ne saurais oublier ma famille, pilier incontestable de mon existence. Vos sacrifices et soutien indéfectible ont été mes sources de force et d'inspiration. Chaque pas que j'ai accompli dans ce parcours académique a été guidé par votre présence aimante et vos encouragements constants.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance spécialement à la famille KACEDALI, qui m'a offert un accueil chaleureux et un soutien inconditionnel pendant ces cinq années. Votre générosité et présence ont été des cadeaux précieux qui ont illuminé mon chemin.

Enfin, un sincère merci à mes amies et camarades de classe, qui ont partagé avec moi tant de moments de joie, d'apprentissage et d'entraide.

## SOMMAIRE

Liste des figures .....	vii
Liste des tableaux .....	ix
Liste des abréviations .....	x
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>1 GENERALITES .....</b>	<b>4</b>
1.1 Notions sur la Pollution Plastique .....	4
1.1.1 Définition de la Matière Plastique.....	4
1.1.2 Classification de la Matière Plastique .....	4
1.1.3 Sources de la Pollution Plastique .....	6
1.1.4 Dangers du Plastique .....	7
1.2 Les déchets plastiques en Méditerranée .....	9
1.3 Le plastique sur les côtes algériennes.....	11
1.4 Stratégie nationale et réglementation Algérienne de gestion des déchets plastiques.	12
1.4.1 Cadre légal et institutionnel .....	12
1.4.2 Cadre opérationnel .....	14
1.4.3 Analyse critique de la prise en charge de la gestion des déchets marins par les textes juridiques .....	14
1.5 Notions sur la télédétection.....	16
1.5.1 Mission Sentinel-2.....	16
1.5.2 Les techniques de classification d'image .....	17
<b>2 ZONE D'ETUDE : l'Algérois.....</b>	<b>19</b>
2.1 Situation géographique et administrative .....	19
2.1.1 Baie d'Alger.....	21
2.1.2 Baie de Zemmouri.....	21
2.1.3 Baie de Bou Ismail .....	22

2.2	Conditions météorologiques : Les Précipitations.....	23
2.3	Réseau hydrographique .....	23
2.4	Les sources de pollution .....	27
2.4.1	Baie d'Alger.....	27
2.4.2	Baie de Zemmouri.....	28
2.4.3	Baie de Bou Ismail .....	28
<b>3</b>	<b>MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>31</b>
3.1	Logiciels utilisés.....	31
3.1.1	SNAP.....	31
3.1.2	ArcGIS.....	31
3.1.3	ENVI.....	33
3.2	Méthode 1 : Détection des débris macroplastiques par des indices spectraux .....	33
3.2.1	Acquisition des données .....	33
3.2.2	Prétraitements des images Sentinel-2.....	34
3.2.3	Traitement des images Sentinel-2 .....	36
3.2.4	Cartographie.....	38
3.2.5	Validation et vérification des résultats .....	38
3.3	Méthode 2 : Détection de la contamination plastique par le script de Copernicus ....	39
3.3.1	Description générale du script .....	39
3.3.2	Téléchargement des images satellitaires.....	40
3.3.3	Traitement et cartographie des images du script.....	41
3.4	Etude de l'occupation du sol.....	41
3.4.1	Acquisition des données .....	42
3.4.2	Prétraitement des images Sentinel-2 .....	42
3.4.3	Traitement des images Sentinel-2 .....	43
3.4.4	Cartographie.....	44

<b>4</b>	<b>RESULTATS ET DISCUSSION.....</b>	<b>46</b>
4.1	Méthode 1 : Détection des débris macroplastiques par des indices spectraux .....	46
4.1.1	Identification des débris plastiques .....	46
4.1.2	Limitations rencontrées .....	51
4.2	Méthode 2 : Détection de la contamination plastique par le script de Copernicus ....	52
4.3	Etude des sources de pollution.....	59
4.3.1	Etude de l'occupation du sol.....	59
4.3.2	Autres sources de pollution.....	62
4.4	Recommandations pour une gestion durable des déchets plastiques marins en Algérie .....	65
4.4.1	Renforcement du cadre réglementaire.....	65
4.4.2	Amélioration des infrastructures de gestion des déchets.....	65
4.4.3	Sensibilisation et éducation environnementale .....	66
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>70</b>
	<b>Annexes .....</b>	<b>79</b>
	Annexe 1 .....	I
	Annexe 2 .....	III
	Annexe 3 .....	IV
	<b>Résumé</b>	

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Production annuelle mondiale de plastique en millions de tonnes.....	6
Figure 2: Interactions complexes des plastiques tout au long de leur Cycle de Vie. ....	7
Figure 3: Estimation du volume de déchets plastiques déversés dans la mer Méditerranée par pays, en tonnes par an. (Source : GAUDIAUT, 2022) .....	10
Figure 4: Tendence temporelle des importations de plastique en Algérie.....	11
Figure 5: Situation géographique de la zone d'étude. ....	19
Figure 6: Les communes côtières incluses dans la zone d'étude.....	20
Figure 7: Situation géographique de la baie d'Alger.....	21
Figure 8: Situation géographique de la baie de Zemmouri. ....	22
Figure 9: Situation géographique de la baie de Bou Ismail. ....	22
Figure 10 : Les cumuls de précipitations mensuelles moyennes des trois stations : Baraki, Birmandreis, El Hamiz. Source : (GAOUAOU & HAMROUCHE, 2022).....	23
Figure 11: Carte des réseaux hydrographiques de la zone d'étude. (Source: DOUIBI & FERDI, 2020).....	24
Figure 12: Débits mensuels moyens des oueds (El Harrache, El Hamiz, Mazafranet Isser) d'après les données de l'ANRH. ....	26
Figure 13: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou Ismail. ....	29
Figure 14: Interface de l'outil Sen2Cor.....	35
Figure 15: Interface de l'outil ACOLITE.....	35
Figure 16: Résultat du Mosaïquage des trois baies. ....	36
Figure 17 : Résultat du Mosaïquage de la wilaya de Tipaza. ....	43
Figure 18: Cartes représentant la répartition des débris plastiques potentiels pour chaque saison. ....	48
Figure 19: Cartes représentant la répartition de la contamination plastique potentielle pour chaque saison sur une échelle bleu foncé/jaune (le bleu foncé représente l'absence de contamination, le jaune correspond à la présence de plastique). ....	53

Figure 20: Cartes représentant le résultat de la classification supervisée de la contamination plastique potentielle pour chaque saison. ....	54
Figure 21 : Cartes représentant la répartition spatio-temporelle de la contamination plastique potentielle durant l'année 2023-2024 sur une échelle bleu foncé/jaune (le bleu foncé représente l'absence de contamination, le jaune correspond à la présence de plastique). ....	57
Figure 22 : Cartes représentant la répartition spatio-temporelle de la contamination plastique potentielle durant l'année 2023-2024 sur une échelle bleu foncé/jaune (le bleu foncé représente l'absence de contamination, le jaune correspond à la présence de plastique). ....	58
Figure 23 : Cartes d'occupation du sol de la wilaya d'Alger. ....	59
Figure 24 : Cartes d'occupation du sol de la wilaya de Boumerdes. ....	59
Figure 25 : Cartes d'occupation du sol de la wilaya de Tipaza. ....	60
Figure 26 : Superficies et pourcentages des classes d'occupation du sol dans les communes côtières des trois wilayas. ....	60
Figure 27 : Carte des sources de pollution dans la wilaya d'Alger. ....	62
Figure 28 : Carte des sources de pollution dans la wilaya de Boumerdes. ....	63
Figure 29 : Carte des sources de pollution dans la wilaya de Tipaza. ....	63

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Estimations des apports de déchets plastiques et concentrations fournies dans la littérature.....	9
Tableau 2: Synthèse des travaux réalisés en Algérie sur les microplastiques. ....	12
Tableau 3: Lois relatives au Développement Durable, à la Protection de l'Environnement et à la Gestion des Déchets (Source: AND, 2020).....	13
Tableau 4 : Missions évolutives des institutions environnementales en Algérie. ....	15
Tableau 5: Caractéristiques des bandes spectrales de Sentinel-2 (Source : TACONET, 2019)..	16
Tableau 6 : Les communes côtières incluses dans la zone d'étude. ....	20
Tableau 7: Les caractéristiques des oueds de la zone d'étude. (Source: DOUBI & FERDI, 2020: Données récoltées entre 1989 et 2019).....	25
Tableau 8 : Les activités polluantes en baie d'Alger. (Source: PAC, 2006) .....	27
Tableau 9: Méthodes de détection du plastique existantes. ....	32
Tableau 10: Liste des images Sentinel-2 capturées au-dessus des trois baies. ....	33
Tableau 11: Liste des images téléchargées après intégration du script. ....	40
Tableau 12: Liste des images Sentinel-2 capturées au-dessus des trois wilayas. ....	42
Tableau 13 : Nombre des échantillons de chaque classe. ....	43
Tableau 14: Tableau récapitulatif du nombre de pixels de plastique trouvé par image satellitaire.....	47
Tableau 15: Estimation de la surface et la masse du plastique détecté. ....	47
Tableau 16: Quantification de la contamination plastique potentielle. ....	52

## LISTE DES ABBREVIATIONS

<b>ANRH</b>	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
<b>BOA</b>	Bas de l'Atmosphère “Bottom of Atmosphere”
<b>CET</b>	Centres d'Enfouissement Technique
<b>COGRAL</b>	Corps Gras d'Alger
<b>DSM</b>	Modèle Numérique de Surface “Digital Surface Model”
<b>ENAP</b>	Entreprise Nationale des Peintures
<b>ENCG</b>	Entreprise Nationale des Corps Gras
<b>ENCP</b>	Entreprise Nationale des Plastiques et Caoutchoucs
<b>ENVI</b>	Environnement pour la Visualisation d'Images “Environment for Visualizing Images”
<b>EPAL</b>	Entreprise Portuaire d'Alger
<b>EPBH</b>	Entreprise De Production De Bières
<b>EPIC</b>	Établissements Publics à caractère Industriel et Commercial
<b>ESA</b>	Agence Spatiale Européenne “EuropeanSpace Agency”
<b>FDI</b>	Indice des Débris Flottants “FloatingDebris Index”
<b>GPW</b>	Global Plastic Watch
<b>HDPE</b>	Polyéthylène Haute Densité “High Density Polyethylene”
<b>HRSA</b>	Huilerie Raffinerie Savonnerie d'Alger
<b>LDPE</b>	Polyéthylène Basse Densité “Low Density Polyethylene”
<b>LS-8</b>	Landsat-8
<b>ME</b>	Ministère de l'Environnement
<b>ML</b>	Machine Learning
<b>MSI</b>	Instrument Multispectral “MultiSpectral Instrument”
<b>nd</b>	no-data
<b>NDVI</b>	Indice de Végétation par Différence Normalisée “NormalizedDifferenceVegetation Index”
<b>NDWI</b>	Indice de l'Eau Normalisée “NormalizedDifference Water Index”
<b>NIR</b>	Proche Infrarouge “Near-Infrared”
<b>ONS</b>	Office National des Statistiques
<b>PE</b>	Polyéthylène
<b>PEBD</b>	Polyéthylène Basse Densité
<b>PEHD</b>	Polyéthylène Basse Densité
<b>PET</b>	Polyéthylène Téréphtalate
<b>PNAE-DD</b>	Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable

<b>POPs</b>	Polluants Organiques Persistants
<b>PP</b>	Polypropylène
<b>PRISMA</b>	PrecursoreIperspettraledellaMissioneApplicativa
<b>PROGDEM</b>	Programme National de Gestion Intégrée des Déchets Ménagers et Assimilés
<b>PS</b>	Polystyrène
<b>PU</b>	Polyuréthane
<b>PVC</b>	Polychlorure de Vinyle
<b>RGPH</b>	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
<b>ROI</b>	Région d'Intérêt "Region Of Interest"
<b>RSA</b>	Raffinerie Savonnerie d'Alger
<b>S-2</b>	Sentinel-2
<b>Sen2Cor</b>	Sentinel-2 Correction
<b>SIG</b>	Systèmes d'Information Géographique
<b>SMOS</b>	Humidité du Sol et Salinité des Océans "SoilMoisture and OceanSalinity"
<b>SNAP</b>	Plateforme d'Application Sentinel "Sentinel Application Platform"
<b>SNGID</b>	Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets
<b>SWIR</b>	Infrarouge à Ondes Courtes "Short-WaveInfrared"
<b>TOA</b>	Haut de l'Atmosphère "Top of Atmosphere"
<b>UP</b>	Unité de Production
<b>VH</b>	Vertical-Horizontale
<b>VRE</b>	Végétation "Red Edge"
<b>ZSL</b>	Apprentissage Sans Coupure "Zero-Shot Learning"

# Introduction

## INTRODUCTION GENERALE

La pollution plastique, omniprésente dans les océans du monde entier, pose un problème environnemental majeur en raison de la flottabilité et de la durabilité des plastiques (TEUTENet *al.*, 2007). Ces matériaux adsorbent des substances toxiques au cours de leur parcours dans l'environnement, conduisant certains chercheurs à les considérer comme des déchets dangereux (ROCHMANet *al.*, 2013). Par le biais de la photodégradation et d'autres processus de vieillissement, les plastiques se fragmentent et se dispersent dans l'océan (BARNESet *al.*, 2010), convergeant dans les gyres subtropicaux (LAWet *al.*, 2014). L'impact de cette pollution, notamment par ingestion ou enchevêtrement, affecte toute la faune marine, des zooplanctons aux cétacés, en passant par les oiseaux et les reptiles marins (GREGORY, 2009).

D'après MATHIS (2021), malgré de nombreux projets visant à nettoyer les océans, les solutions actuelles restent souvent localisées et insuffisantes pour traiter le problème à grande échelle. Les interventions en mer sont généralement aléatoires et limitées, et les données d'observation actuelles ne suffisent pas pour décrire la distribution globale des déchets marins. Les campagnes de quantification sont souvent limitées aux régions côtières et dépendent des conditions météorologiques, et les méthodes d'observation varient, rendant les résultats non comparables (ARCANGELIet *al.*, 2020 ; CÓZAREt *al.*, 2015 ; FAUREt *al.*, 2015 ; GAJŠTet *al.*, 2016 ; RUIZ-OREJÓNNet *al.*, 2016 ; SCHMIDTet *al.*, 2017 ; VAN DER HALet *al.*, 2017 ; ZAMBIANCHIet *al.*, 2014). La modélisation numérique peut compléter les données manquantes, mais elle nécessite une validation empirique. C'est dans ce contexte que la télédétection se révèle être une solution prometteuse pour le suivi continu des déchets marins (MARTINEZ-VICENTEet *al.*, 2019).

La télédétection permet d'acquérir à distance des informations sur la surface terrestre en mesurant les rayonnements électromagnétiques réfléchis par les objets étudiés<sup>1</sup>. Les satellites peuvent ainsi compléter les données obtenues par chalutage à la surface des océans (GARABA&DIERSSEN, 2018). Les efforts pour utiliser la télédétection dans la détection des plastiques ont montré des résultats prometteurs, avec de nombreux travaux démontrant un potentiel raisonnable de détection et de cartographie des déchets plastiques (GARABA&DIERSSEN, 2018). La communauté scientifique et les agences spatiales travaillent actuellement à l'élaboration de missions satellitaires pertinentes pour quantifier cette pollution (TOPOUZELIset *al.*, 2020, 2019).

---

<sup>1</sup>Larousse, 'Définitions : télédétection'

# Introduction

---

Avec une bande littorale de 2148 km, l'Algérie abrite un écosystème fragile. Le littoral algérois est particulièrement vulnérable en raison de la densité de population élevée et des activités industrielles et économiques intenses (AND, 2020). Ces activités exercent une pression environnementale considérable, transportant des déchets plastiques vers les côtes par le biais des cours d'eau et du lessivage côtier (AND, 2020). Malgré le problème des débris marins, plusieurs études fondamentales en Algérie explorent le potentiel de détection de la pollution plastique à travers des enquêtes in-situ et des observations en laboratoire (BELABED&TAHAR, 2019 ; BENCHEIKH&CHIHEB, 2021 ; BOUHALI, 2023 ; BOUMIMEZ&HASSAINE, 2018 ; BOURAS&BENAÏSSA, 2020 ; ELBACHIR&HAMZA, 2021 ; LABADLA&SOUAÏSSID, 2021 ; OUDINA&AGRANE, 2018 ; SETTIT *et al.*, 2021 ; TAIBI *et al.*, 2016). Cependant, l'évaluation des débris plastiques marins reste longue et coûteuse.

À cette fin, cette étude se propose de mener les premières investigations sur la télédétection des débris plastiques dans le littoral Algérois, en se concentrant sur la baie d'Alger, Zemmouri et Bou Ismail. Les questions principales que ce mémoire souhaite aborder sont les suivantes :

- Les techniques de télédétection spatiale sont-elles efficaces pour la détection et la quantification des débris plastiques dans les eaux côtières de l'Algérois ?
- Quelles sont les différentes sources potentielles de pollution plastique dans la baie d'Alger, Zemmouri et Bou Ismail ?
- Quels sont les défis et lacunes dans la gestion des déchets marins en Algérie ? et quelles recommandations peuvent être formulées pour une gestion durable des déchets plastiques marins ?

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre offre une synthèse bibliographique qui définit les termes clés associés à la pollution plastique. Il met également en lumière le cadre législatif et institutionnel, notamment la stratégie nationale et la réglementation algérienne de gestion des déchets plastiques.

Le deuxième chapitre se concentre sur la zone d'étude, l'Algérois, en détaillant ses caractéristiques et en soulignant les principaux facteurs contribuant à la pollution plastique.

Le troisième chapitre présente les données et les méthodes utilisées pour étudier la pollution plastique dans la zone d'étude.

Enfin, le quatrième chapitre expose les résultats obtenus ainsi que leur discussion.

# Généralités

## 1 GENERALITES

### 1.1 Notions sur la Pollution Plastique

#### 1.1.1 Définition de la Matière Plastique

Le plastique représente un matériau synthétique issu souvent du traitement du pétrole brut, avec la capacité d'être façonné et moulé en diverses formes, ce qui en fait un matériau extrêmement polyvalent (FRANCE INDUSTRIE, 2020).

En Algérie, bien qu'il n'y ait pas de définition précise du plastique dans la législation, le Dictionnaire environnement en ligne décrit que : Les matières plastiques (classique, non biodégradable), sont des matériaux organiques de synthèse basés sur l'emploi de macromolécules (polymères), il est notamment utilisé pour les emballages, en raison de sa flexibilité (capacité à lui donner une forme voulue) et de sa légèreté.

C'est à partir de la fin du XIXe siècle que sont mis au point les premiers plastiques synthétiques, résultant alors de la transformation chimique de polymères naturels tels que la cellulose et la caséine. Au XXe siècle, avec l'essor de la chimie et le développement de nouvelles matières plastiques pétro-sourcées, le plastique s'est progressivement imposé comme une matière incontournable pour répondre à de nombreux défis de notre société (HESTINet *al.*, 2022).

#### 1.1.2 Classification de la Matière Plastique

Les matières plastiques dérivent de polymères, des macromolécules formées par la transformation du charbon, du pétrole ou du gaz naturel. Chaque polymère possède des propriétés, une structure et une taille distinctes, pouvant être améliorées par l'ajout d'additifs tels que des charges ou des plastifiants (GUILLEMOT&PATRASCU, 2019).

##### 1.1.2.1 Classification par taille

D'après TheOceanCleanup<sup>2</sup>, **les microplastiques** font référence à des particules de plastique mesurant moins de 5 millimètres. Ils peuvent comprendre des fragments, des flocons, des fibres ou des granulés de pré-production, également appelés nurdles. Les microplastiques primaires, tels que les nurdles et les microbilles cosmétiques, sont délibérément produits dans cette plage de taille. D'autre part, les microplastiques secondaires proviennent de la

---

<sup>2</sup>TheOceanCleanup est une organisation internationale non gouvernementale d'ingénierie environnementale à but non lucratif qui développe des technologies visant à débarrasser les océans du plastique.

## Généralités

---

dégradation d'objets plus grands, se manifestant sous forme de fragments, de fibres, d'écailles de peinture, etc.

**Les macroplastiques**, généralement définis comme des objets plus grands que 5 millimètres, sont également sous-catégorisés à TheOceanCleanup. Cette classification distingue *les mésoplastiques* (0,5 à 5 cm), *les macroplastiques* (5 à 50 cm) et *les mégaplastiques* (> 50 cm). Cette approche nuancée reconnaît la gamme diversifiée de tailles de la pollution plastique. La surveillance complète du spectre complet de tailles de la pollution plastique est impérative, étant donné que les objets plus grands laissés dans l'environnement peuvent se fragmenter progressivement en composants plus petits, nécessitant une compréhension de son évolution au fil du temps (JULIENNE, 2019).

### 1.1.2.2 Classification selon la composition

Selon la base de données « Classification des matières plastiques » de l'Institut Nationale de la Recherche Scientifique (GUILLEMOT&PATRASCU, 2019) du Québec, deux grandes catégories de plastiques se distinguent :

- **Les plastiques thermoplastiques:** fondent sous l'effet de la chaleur et se solidifient par refroidissement. Les Thermoplastiques représentent une catégorie prédominante, couvrant environ 90 % des plastiques employés dans le domaine de l'emballage ainsi que dans la fabrication d'autres articles à usage unique, communément appelés plastiques jetables (A.N.D, 2019). D'après Paprec<sup>3</sup>, les trois principaux sont : le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et le polychlorure de vinyle (PVC). Ensuite, viennent le polystyrène et les polyesters thermoplastiques. Ces matériaux se distinguent par une flexibilité remarquable dans la production d'une variété d'articles quotidiens (exemple : bouteille d'eau, bouchon de bouteille, flacon de lessive, etc.).
- **Les plastiques thermodurcissables:** subissent une transformation irréversible, conservant ainsi leur forme une fois constitués. Ils constituent une classe distincte de matériaux synthétiques qui, après avoir subi un processus de chauffage et de mise en forme initial, conservent leur structure de manière permanente, étant incapables d'être refondus et remodelés ultérieurement (A.N.D, 2019). Parmi ces plastiques, on compte les polyimides utilisés pour la fabrication de circuits imprimés ou de câbles. On trouve également les polyesters insaturés qui entrent dans la composition de laques, vernis et colles (SEA Plastics, 2020).

---

<sup>3</sup>Paprec ou Groupe Paprec : entreprise française de collecte et recyclage de déchets industriels et ménagers.

# Généralités

## 1.1.3 Sources de la Pollution Plastique

La production de plastique à l'échelle mondiale a connu une augmentation exponentielle en l'espace d'une seule vie humaine. La quantité est passée de 2 millions de tonnes en 1950 à plus de 390 millions de tonnes en 2021 (UFFELEN, 2021). Cependant, il est important de noter que ces chiffres ne tiennent pas compte des fibres synthétiques, ce qui indique que la production réelle est nettement plus élevée.

De manière remarquable, plus de la moitié de la production totale de plastique a été introduite sur le marché après l'année 2000 (Figure 1). Les projections suggèrent que d'ici 2050, la production devrait quadrupler par rapport aux niveaux de 2019, atteignant environ 1480 millions de tonnes (JUNTILLA, 2021). Pour mettre cela en perspective, cela représente près de trois fois le poids total de la population mondiale actuelle.

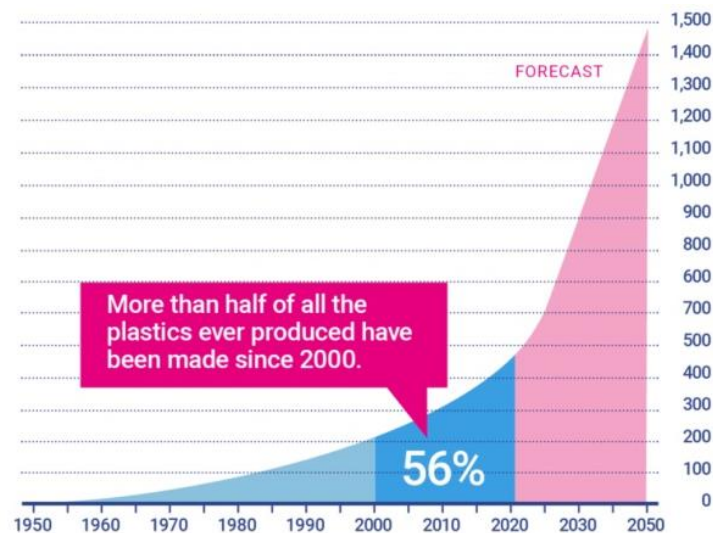


Figure 1: Production annuelle mondiale de plastique en millions de tonnes.

(Source: JUNTILLA, 2021)

La pollution plastique trouve ses racines dans diverses origines. Environ 80 % du plastique présent dans les océans provient de sources terrestres, avec 6,1 millions de tonnes de déchets plastiques rejetées dans la sphère marine en 2019, dont 1,7 million entraîné par les cours d'eau (OECD, 2022).

Les activités industrielles, les navires de transport, les activités agricoles, la pêche, le tourisme côtier et les activités nautiques sont autant de contributeurs à la pollution plastique. De plus, les phénomènes météorologiques tels que les tempêtes, ouragans, catastrophes naturelles, orages et fortes pluies déplacent les déchets plastiques des terres agricoles et des agglomérations urbaines vers les océans.

# Généralités

La gestion des déchets joue également un rôle crucial. À l'échelle mondiale, seuls 9 % des déchets plastiques sont recyclés, 19 % sont incinérés, et 50 % finissent dans des décharges. Les 22 % restants sont abandonnés dans des décharges sauvages, brûlés à ciel ouvert ou rejetés dans l'environnement terrestre ou marin (OECD, 2022). La saturation des réseaux d'assainissement urbains contribue également au déversement direct des eaux usées et de leurs déchets dans les milieux naturels.

La Figure 2 aide à visualiser les interactions complexes auxquelles les plastiques sont soumis tout au long de leur cycle de vie et situe les chiffres présentés au-dessus dans leur contexte.

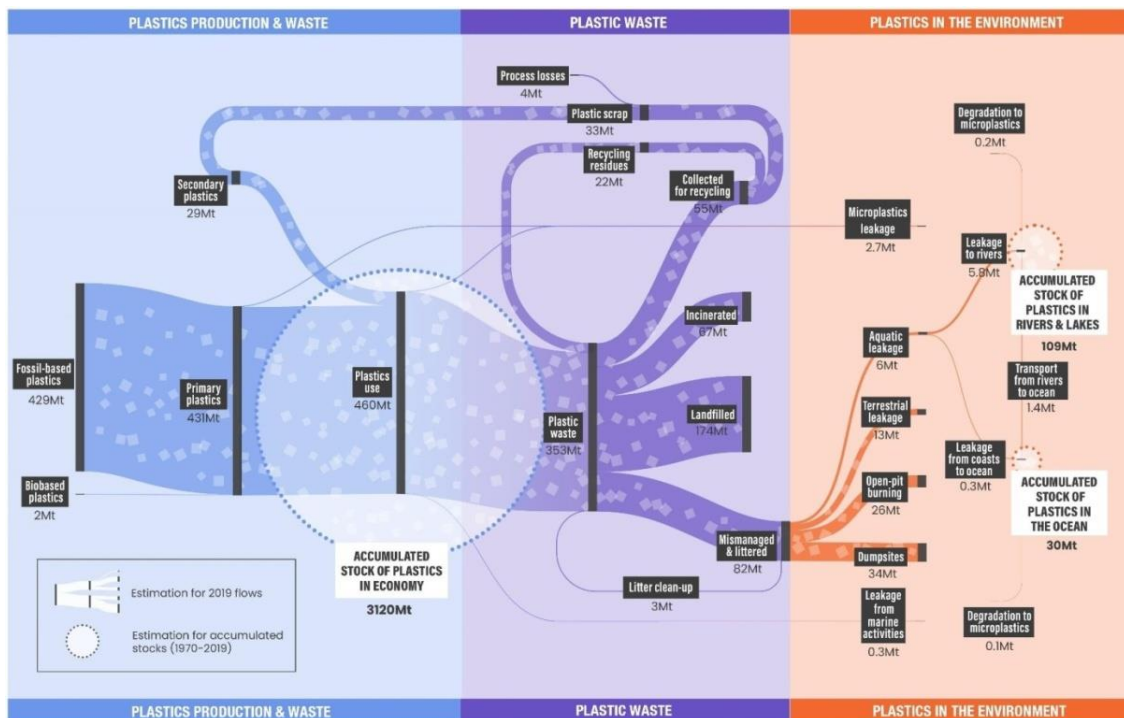


Figure 2: Interactions complexes des plastiques tout au long de leur Cycle de Vie.

(Source: OECD, 2022)

## 1.1.4 Dangers du Plastique

La prolifération des plastiques combinée à une gestion inadéquate des déchets en fin de vie a conduit à une fuite généralisée et persistante de plastiques. La longévité des plastiques est particulièrement préoccupante. Par exemple, des produits en plastique à usage unique tels que des sacs en plastique LDPE et des bouteilles de lait HDPE pourraient avoir des demi-vies estimées de 5 à 250 ans sur terre et de 3 à 58 ans dans les environnements marins (CHAMAS *et al.*, 2020). En revanche, les tuyaux en HDPE nécessitent des milliers d'années pour se dégrader complètement, avec une demi-vie estimée de 1 200 ans (CHAMAS *et al.*, 2020).

## Généralités

---

Dans les milieux aquatiques, les effets négatifs les plus visibles sur la faune marine sont l'enchevêtrement des organismes marins dans les débris plastiques flottants et l'augmentation de la mortalité suite à l'ingestion de macro et microplastiques par des espèces marines telles que les moules, les tortues, les poissons et les oiseaux marins. Au moins 690 espèces de la faune sauvage, ainsi que les récifs coralliens, sont connues pour être affectées (GALL&THOMPSON, 2015). Cependant, les conséquences négatives des plastiques vont au-delà de ces impacts de premier ordre. Des microplastiques ont été documentés dans le tube digestif de plusieurs types de moules et de poissons destinés à la consommation humaine (LUSHER *et al.*, 2017). Ainsi, l'ingestion de fruits de mer contaminés par des microplastiques a également été identifiée comme une voie d'exposition potentiellement importante pour les humains.

La contamination par les microplastiques n'est pas exclusive aux environnements marins - elle a également été documentée dans les environnements d'eau douce et terrestres, ainsi que dans les aliments et les boissons, tels que l'eau du robinet et l'eau en bouteille (KOSUTH *et al.*, 2018; MINTENIG *et al.*, 2019). Les humains sont également exposés aux microplastiques en inhalant des particules et des fibres en suspension dans l'air, et des microplastiques ont été signalés tant dans les environnements intérieurs qu'extérieurs (ALLEN *et al.*, 2019 ; GASPERI *et al.*, 2018). Alors que la majorité des émissions de microplastiques ont tendance à rester proches de leur source, où elles augmentent les niveaux de concentration de particules en suspension au niveau du sol, certaines particules peuvent parcourir de longues distances, en fonction de l'emplacement et des conditions atmosphériques.

Les plastiques peuvent également agir comme un réservoir et un vecteur de transport pour les produits chimiques et les polluants organiques persistants (POPs), qui s'accumulent à la surface des plastiques en mer. La fragmentation des plastiques peut intensifier la lixiviation des substances chimiques dans l'environnement environnant.

De plus, la fuite de plastiques en mer entraîne des coûts économiques substantiels pour les communautés côtières en raison des impacts négatifs potentiels sur la pêche et le tourisme. Les plastiques peuvent affecter la durabilité des pêcheries, tandis que la pollution plastique sur les plages dissuade les visiteurs, causant des difficultés financières aux communautés locales dépendantes du tourisme. BEAUMONT *et al.* (2019) estiment que le coût économique de la perte des services écosystémiques marins est d'environ 3 300 dollars par tonne de plastique marin par an.

# Généralités

## 1.2 Les déchets plastiques en Méditerranée

Considérée comme la mer la plus touchée par la pollution à l'échelle mondiale, la Méditerranée subit une transformation alarmante en devenant un immense dépôt de déchets plastiques. Cette situation découle de la densité élevée de population, des flux touristiques et maritimes importants, et de l'absence de systèmes de gestion efficace des déchets dans plusieurs pays riverains. Ces facteurs contribuent à des niveaux records de pollution, mettant en danger la vie marine et la santé humaine (COZARET *et al.*, 2015). Selon BOUCHER&BILLARD (2020), la quantité totale de plastique accumulée dans la mer Méditerranée atteint actuellement environ 1,2 million de tonnes. Les chercheurs soulignent l'incertitude entourant cette estimation, car la plupart des recherches antérieures se concentrent principalement sur les plastiques à la surface de la mer, une fraction négligeable du stock total (Tableau 1).

Tableau 1: Estimations des apports de déchets plastiques et concentrations fournies dans la littérature.

(Source : BOUCHER&BILLARD, 2020)

Combien de plastique flotte actuellement dans la mer Méditerranée ?			
Micro- et macroplastiques (tonnes)	Commentaire		Source
1 000 – 3 000			COZARET <i>et al.</i> (2015)
873 – 2 576	Uniquement en se basant sur les échantillonnages de manta-trawl extrapolés à l'ensemble de la mer Méditerranée		SUARIA <i>et al.</i> (2016)
2 3150	(1 compartiment, celui de la fraction flottante)		ERIKSEN <i>et al.</i> (2014)
1 455			RUIZ-OREJON <i>et al.</i> (2016)
288 – 1 840	Fournit également les quantités de plastique dans d'autres compartiments, qui représentent largement la majeure partie par rapport à la fraction flottante		BOUCHER&BILLARD (2020)

Combien de plastique fuit-il chaque année ?			
Macroplastiques (tonnes/an)	Microplastiques (tonnes/an)	Commentaire	Source
150 000 – 500 000	70 000 – 130 000	Estimation pour les mers européennes, la grande majorité étant considérée comme entrant en Méditerranée.	ALESSI <i>et al.</i> (2018)
570 000		Données actualisées sur les fuites annuelles dans l'ensemble de la mer Méditerranée.	DALBERG ADVISORS (2019)
745 232 (Faible: 447,139; élevé: 1,192,372)		Estimations des fuites en utilisant trois taux de libération différents : faible : 15 %, central : 25 % et élevé : 40 %.	JAMBECKET <i>et al.</i> (2015)
216 269	13 196	Empreinte annuelle de plastique en mer estimée pour la mer Méditerranée, provenant de 33 pays.	BOUCHER&BILLARD (2020)

## Généralités

BOUCHER&BILLARD (2020) soulignent qu'environ 229 000 tonnes de déchets plastiques rejoignent la Méditerranée chaque année, avec une fourchette possible de 150 000 à 610 000 tonnes. Ces débris se composent principalement de macroplastiques (94%) et de microplastiques (6%). En raison de la forte population en bord de mer en Égypte (102 millions d'habitants) et d'un taux de gestion inadéquate des déchets atteignant 95%, le pays contribue massivement à cette pollution, représentant environ 75 000 tonnes par an, soit près d'un tiers du total. Les principaux pays émetteurs suivants sont l'Italie (38 000 tonnes), la Turquie (25 000 tonnes) et **l'Algérie (14 000 tonnes)**.

En général, les "points chauds de la pollution plastique" sont fréquemment localisés près des embouchures des grands fleuves comme le Nil, le Rhône ou le Pô, ainsi que près des grandes villes côtières. Les exemples incluent **Alger**, Alexandrie, Barcelone, Naples et Izmir (BOUCHER&BILLARD, 2020).

Comme le montre la Figure 3, la pollution plastique n'est pas confinée aux seules zones côtières. Certains pays non limitrophes de la Méditerranée mais faisant partie de son réseau fluvial, comme le Soudan (Nil) ou la Suisse (Rhône), contribuent également de manière significative aux déchets plastiques. L'étude indique que 35 % des rejets de macroplastiques en mer proviennent de zones situées à moins de 23 km des côtes, tandis que les 65 % restants proviennent de l'intérieur des terres, transportés par ruissellement vers le milieu marin.

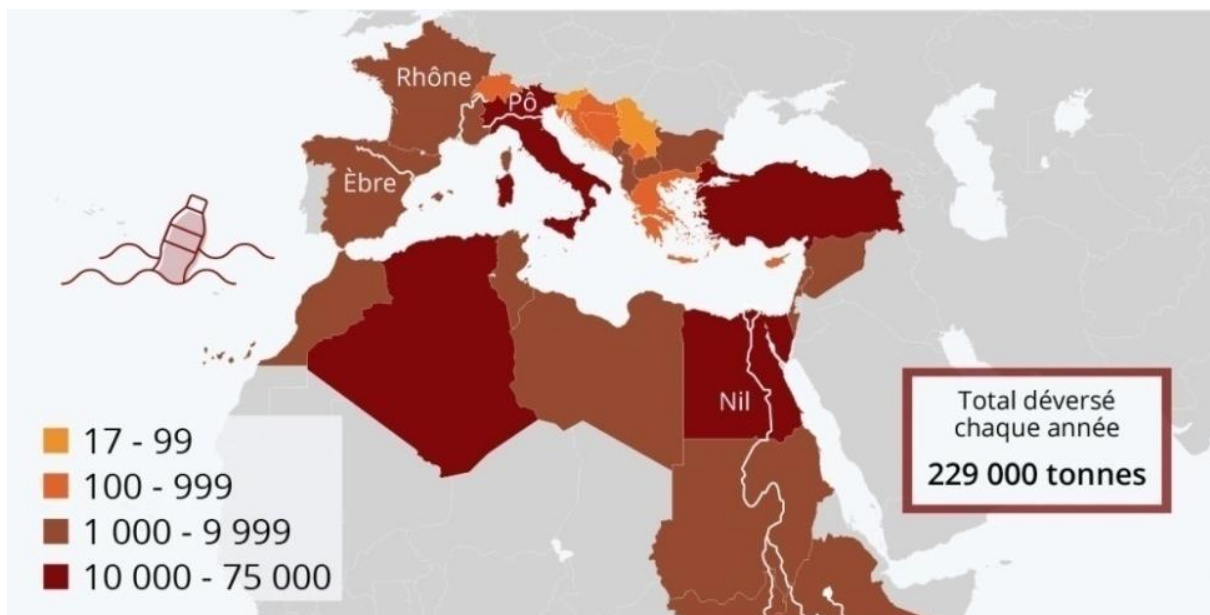


Figure 3: Estimation du volume de déchets plastiques déversés dans la mer Méditerranée par pays, en tonnes par an. (Source : GAUDIAUT, 2022)

## 1.3 Le plastique sur les côtes algériennes

D'après BABAYEMI *et al.* (2019), l'Algérie est classée parmi les six pays ayant la part la plus élevée d'utilisation de plastique en Afrique. La tendance temporelle des importations de plastiques vierges en Algérie montre une augmentation constante, passant de 0,096 Mt en 1992 à environ 1,38 Mt en 2016. De 1992 à 2017, environ 13,14 Mt de plastique ont été importées, représentant environ 11,2 % des importations totales de plastiques primaires sur le continent africain (Figure 4).

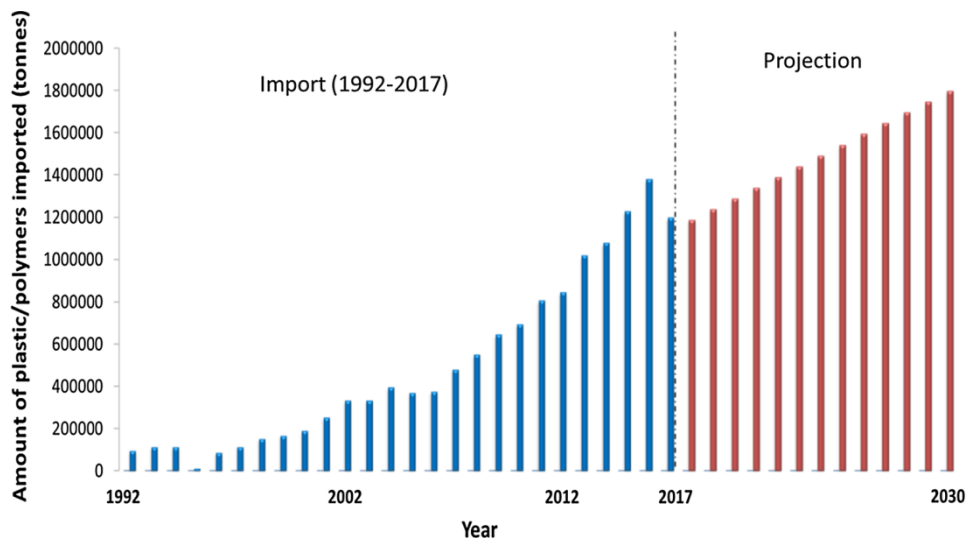


Figure 4: Tendance temporelle des importations de plastique en Algérie.

(Source: BABAYEMI *et al.*, 2019)

Environ 0,52 Mt de déchets plastiques sont mal gérés dans le pays chaque année (JAMBECK *et al.*, 2015). Des concentrations élevées de déchets plastiques flottants ( $> 2$  cm) et de microplastiques ( $> 200 \mu\text{m}$ ) ont été signalées dans le bassin offshore algérien (SUARIA & ALIANI, 2014). Des niveaux plus élevés de microplastiques ont également été trouvés dans les sédiments de surface des côtes nord-africaines de la mer Méditerranée (TATA *et al.*, 2020).

Cependant, l'étendue et l'impact de la pollution microplastique dans l'environnement marin algérien demeurent largement spéculatifs, car aucune donnée de référence n'existe actuellement pour les eaux côtières algériennes. L'Algérie se trouve ainsi dans une position où peu d'études spécifiques ont été menées (Tableau 2). Ceci est notable malgré la considération générale selon laquelle l'environnement marin de l'Algérie est particulièrement susceptible à l'accumulation de débris marins (MANSUI *et al.*, 2020), en raison de la modernisation accrue du pays, de son développement économique et de son contexte hydrodynamique particulier.

# Généralités

Tableau 2: Synthèse des travaux réalisés en Algérie sur les microplastiques.

Référence	Zone d'étude	Matrice étudiée	Paramètres étudiés
AMENOUCHÉ&DOUMANDJI (2015)	Baie de Bou Ismail	Eau de surface	Qualification et quantification des microplastiques.
TAIBI <i>et al.</i> (2016)	Plages de Mostaganem	Sédiment	Qualification et quantification des micro- et macroplastiques.
ODINA&AGRANE (2018)	Cote Jijelienne	Sédiment, eau de surface	Qualification et quantification des microplastiques.
BELABED&TAHAR (2019)	Golfe d'Annaba	Eau de surface	Quantification des microplastiques
TATA <i>et al.</i> (2020)	Golfe d'Annaba	Sédiment	Abondance, répartition et caractéristiques des microplastiques.
BENCHEIKH&CHIEB (2021)	Golfe d'Annaba	Sédiment	Evaluation quantitative et qualitative des micro-déchets.
SETITI <i>et al.</i> (2021)	Baie de Bou Ismail	Eau de surface	Quantification, caractérisation et distribution spatio-temporelle des microplastiques flottants.
ZEGHDANI <i>et al.</i> (2023)	Golfe de Bejaia	Biote	Intensité de la consommation de plastique par les poissons. Morphotype, taille et couleur des particules de plastique récupérées.

## 1.4 Stratégie nationale et réglementation Algérienne de gestion des déchets plastiques

### 1.4.1 Cadre légal et institutionnel

Depuis le début des années 2000, un ensemble significatif de lois a été élaboré pour aligner l'Algérie sur ses engagements internationaux et aborder les questions environnementales dans le contexte du développement durable. Les principaux piliers du droit environnemental sont principalement énoncés dans les textes de lois mentionnés dans le Tableau 3.

Dans le domaine de la gestion des déchets, la loi 01-19 est renforcée par plusieurs textes d'application, tout en se basant sur les principes suivants :

- Prévention et réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source.
- Organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets.
- Valorisation des déchets par le réemploi, le recyclage et d'autres actions visant à obtenir des matériaux réutilisables ou de l'énergie à partir de ces déchets.
- Traitement écologiquement rationnel des déchets.
- Information et sensibilisation des citoyens sur les risques liés aux déchets, leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques.

## Généralités

Tableau 3: Lois relatives au Développement Durable, à la Protection de l'Environnement et à la Gestion des Déchets (Source: AND, 2020)

Loi	Intitulé/ Contenu
La loi n°01-19 du 12/12/2001	Relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Elle définit les principes de base qui conduisent à une gestion intégrée des déchets, de leur génération à leur élimination.
La loi n°03-10 du 19/07/2003	Relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable. Elle consacre les principes généraux d'une gestion écologique rationnelle.
La loi n°04-20 du 25/12/2004	Relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Elle définit clairement les responsabilités de chacun des acteurs impliqués dans le domaine de la prévention au niveau des zones et des pôles industriels. La Commune est la collectivité territoriale de base de l'Etat. Elle est dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière.
La loi n° 11-10 du 22/06/2011	La Commune exerce ses prérogatives dans tous les domaines de compétence qui lui sont dévolus par la loi. Elle concourt avec l'Etat, notamment, à l'administration et à l'aménagement du territoire, au développement économique, social et culturel, à la sécurité, ainsi qu'à la protection et l'amélioration du cadre de vie des citoyens.

Dans le secteur de la gestion des déchets en Algérie, divers intervenants, aussi bien à l'échelle nationale que locale, jouent un rôle central. Au niveau national, le Ministère de l'Environnement, à travers l'Agence Nationale des Déchets, accompagne les acteurs locaux tels que les collectivités locales. De même, le Ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire octroie un soutien financier et logistique crucial aux Assemblées Populaires Communales pour la gestion des déchets urbains. D'autres ministères spécialisés, tels que ceux de la Santé, de l'Industrie, de l'Agriculture et de la Pêche, sont également impliqués dans des aspects spécifiques de la gestion des déchets.

À l'échelle locale, la responsabilité de la gestion des déchets repose principalement sur les Assemblées Populaires Communales, les Établissements Publics à caractère Industriel et Commercial (EPIC) de collecte et de nettoyage, ainsi que les EPIC de Gestion des Centres d'Enfouissement Technique (CET).

En outre, des acteurs privés, tels que les opérateurs économiques actifs dans la collecte et le transport des déchets, ainsi que ceux impliqués dans le traitement, contribuent significativement à cette dynamique. Ces opérateurs privés participent à des activités variées, de la collecte des déchets municipaux au traitement par le biais de procédés tels que le recyclage, la récupération et l'incinération (AND, 2020).

De nombreuses associations, actives dans le domaine de la protection de l'environnement, contribuent également de façon effective à ce propos, et ce via des activités de vulgarisation et

## Généralités

---

de sensibilisation des citoyens ainsi que l'organisation de campagnes de nettoyage et de bénévolat au niveau des espaces communs, naturels, etc.

### 1.4.2 Cadre opérationnel

Depuis de nombreuses années, la gestion des déchets est devenue une préoccupation majeure à la fois au niveau local et national, impliquant l'ensemble des acteurs, qu'ils soient citoyens, publics ou privés. Elle est aujourd'hui reconnue comme un pilier essentiel de la politique de développement durable. Dans cette perspective, le Ministère de l'Environnement (ME) a initié, en collaboration avec divers secteurs concernés, une politique nationale de gestion des déchets, avec des objectifs clairement définis, notamment :

- La préservation de l'hygiène publique et la propreté des agglomérations.
- L'amélioration du cadre de vie des citoyens et la protection de leur santé.
- L'élimination saine et écologiquement rationnelle des déchets.
- La valorisation des déchets recyclables.
- Le développement d'une économie verte, respectueuse de la nature et profitable.
- La création d'emplois.

Afin de concrétiser ces objectifs, diverses stratégies et programmes ont été élaborés, parmi lesquels figurent :

- Le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD).
- Le Programme National de Gestion Intégrée des Déchets Ménagers et Assimilés (PROGDEM).
- Le Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES).
- La Stratégie Nationale de Gestion Intégrée des Déchets à l'horizon 2035 (SNGID-2035).

### 1.4.3 Analyse critique de la prise en charge de la gestion des déchets marins par les textes juridiques

Depuis son indépendance en 1962, l'Algérie a connu des transformations politiques et environnementales. Malgré les défis de la reconstruction, les préoccupations environnementales ont progressivement été intégrées dans les chartes et constitutions du pays (Annexe 1). Cependant, la gestion des déchets marins en Algérie, notamment les déchets plastiques, présente encore de nombreuses lacunes et reste un problème urgent et complexe nécessitant une attention immédiate.

## Généralités

---

### 1.4.3.1 Limites et insuffisances de la législation environnementale

L'Algérie a fait de nombreux progrès en matière de protection de l'environnement, mais leur mise en œuvre reste limitée. Les textes législatifs existants sont confrontés à des restrictions et des lacunes, ce qui entrave l'efficacité des politiques environnementales. Souvent, les lois et règlements relatifs à l'environnement ont été créés en réponse aux pressions et aux normes internationales, négligeant les besoins locaux. D'après TABTI (2024), cette approche est compliquée par un foisonnement de réglementations et d'institutions, en grande partie à cause de la faiblesse des capacités institutionnelles chargées de les appliquer. Cette faiblesse conduit à une incohérence dans l'application des lois.

En outre, la gestion des questions environnementales a fréquemment changé de portefeuille ministériel, mettant en évidence les défis structurels et institutionnels. KAMTO (2014) soulève des questions cruciales : *"Quelles institutions pour une mise en œuvre effective du droit de l'environnement? Comment ces institutions doivent-elles opérer et à quelles conditions peuvent-elles être efficaces?"*.

Cette situation souligne la nécessité urgente de réévaluer et de réformer les institutions environnementales notamment celles chargées de la gestion des déchets marins en Algérie afin d'assurer une application efficace des lois environnementales, tout en tenant compte des particularités locales.

### 1.4.3.2 Instabilité institutionnelle dans la gestion de l'environnement

L'Algérie a connu une instabilité institutionnelle significative dans la gestion de l'environnement depuis son indépendance, illustrée par la succession de divers ministères avec des missions évolutives (Tableau 4). Cette évolution institutionnelle témoigne de l'importance croissante accordée à la protection de l'environnement en Algérie. Toutefois, cette instabilité a entraîné des inefficacités structurelles et opérationnelles. D'après TABTI (2024), la succession rapide de ministères avec des missions parfois redondantes ou mal coordonnées a souvent abouti à une application incohérente des politiques environnementales.

Tableau 4 : Missions évolutives des institutions environnementales en Algérie.

Période	Institution	Missions évolutives
1962 – 1977	Ministère de l'Agriculture et de la Réforme	Protection des ressources naturelles, sans une vision intégrée de la gestion environnementale.
1977 – 1983	Ministère de l'Environnement	Première tentative de structuration dédiée à la gestion environnementale globale.

# Généralités

Période	Institution	Missions évolutives
1983 – 1991	Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement	Intégration de la gestion de l'eau dans les politiques environnementales.
1991 – 2002	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature	Protection de la biodiversité et les écosystèmes.
2002 – 2014	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement	Coordination des politiques environnementales avec la planification territoriale.
2014 – 2019	Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables	Promotion des énergies alternatives pour réduire la dépendance aux énergies fossiles.
Depuis 2019	<i>Novembre 2020</i> : Ministère de l'Environnement <i>Septembre 2022</i> : Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables	Orientation stratégique vers une transition écologique et énergétique.

## 1.5 Notions sur la télédétection

### 1.5.1 Mission Sentinel-2

Le satellite Sentinel-2 est une mission spatiale du programme Copernicus de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) qui consiste en deux satellites, Sentinel-2A et Sentinel-2B, placés en orbite héliosynchrone. Il est spécialisé dans l'observation de la surface de la Terre et dispose d'un instrument multispectral haute résolution (MSI) équipé de 13 bandes spectrales couvrant une large gamme du spectre visible et infrarouge, offrant une résolution spatiale allant jusqu'à 10 mètres pour certaines bandes (Tableau 5).

Tableau 5: Caractéristiques des bandes spectrales de Sentinel-2 (Source : TACONET, 2019)

Bandes de Sentinel-2	Longueurs d'onde centrales (µm)	Résolution (m)
<b>Bande 1 - Aérosol côtier</b>	0,443	60
<b>Bande 2 – Bleu</b>	0,490	10
<b>Bande 3 – Vert</b>	0,560	10
<b>Bande 4 – Rouge</b>	0,665	10
<b>Bande 5 - VRE1</b>	0,705	20
<b>Bande 6 - VRE2</b>	0,740	20
<b>Bande 7 - VRE3</b>	0,783	20
<b>Bande 8 – PIR</b>	0,842	10
<b>Bande 8A – PIR étroit</b>	0,865	20
<b>Bande 9 - Vapeur d'eau</b>	0,945	60
<b>Bande 10 - SWIR Cirrus</b>	1,375	60
<b>Bande 11 - SWIR-1</b>	1,610	20
<b>Bande 12 – SWIR-2</b>	2,190	20

*Abréviations: VRE : Végétation "Red Edge"; PIR : Proche Infra-Rouge; SWIR : Short Wave Infra-Red*

### 1.5.2 Les techniques de classification d'image

Les méthodes de classification regroupent des zones de l'image présentant des réponses spectrales similaires en classes distinctes. Ces techniques reposent sur des principes d'apprentissage automatique et se divisent en deux catégories : supervisée et non supervisée. Dans le cadre d'un apprentissage non supervisé, les pixels de l'image sont regroupés en fonction de leur similarité à l'aide de techniques de clustering<sup>4</sup>, et les classes d'occupation des sols sont définies ultérieurement (PELLETIER, 2017).

Cependant, la majorité des recherches sur l'extraction de l'occupation du sol à partir d'images satellites privilégient les méthodes de classification supervisée basées sur les pixels (DERDJINI, 2017). Cette technique repose sur une connaissance préalable du terrain étudié. La démarche scientifique reste cohérente entre les différentes méthodes de classification, bien que le choix des algorithmes de classification puisse varier (DERDJINI, 2017).

---

<sup>4</sup>Le clustering est une étape clé dans la classification non supervisée qui consiste à regrouper automatiquement les pixels de l'image en clusters (classes spectrales homogènes), sans aucune information a priori sur les types d'occupation du sol (KNUDBY, 2021).

Zone d'étude

### 2 ZONE D'ETUDE : L'ALGEROIS

Ce chapitre a pour objectif de présenter la zone d'étude : l'Algérois. L'analyse du littoral comprendra une description de sa situation géographique, administrative, hydrographique et hydrodynamique, ainsi qu'une présentation de son évolution démographique et urbanistique. Cette sélection est motivée par la forte dynamique démographique qu'elle y connaît ainsi que les modes de production et de consommation responsables des dégradations que subit le littoral algérois depuis quelques décennies. De plus, ce choix a été influencé par les résultats du site Global Plastic Watch<sup>5</sup>, qui a identifié en 2021, 74 sites de déchets plastiques le long du littoral algérien, dont 27 se trouvent à moins de 250 mètres des cours d'eau. L'Algérois englobe 10 de ces sites, dont 4 sont situés dans cette intégrale.

#### 2.1 Situation géographique et administrative

La zone d'étude s'étend sur 120 km, elle englobe toute la zone de l'Algérois, comprenant la baie de Bou Ismail à l'Ouest, la baie de Zemmouri à l'Est, et la baie d'Alger au centre (Figure 5). Trois wilayas sont incluses dans cette zone, à savoir Alger, Tipaza et Boumerdes, avec respectivement 57, 28 et 32 communes, dont 43 sont des communes côtières. Les communes côtières incluses dans la zone d'étude sont présentées dans la Figure 6 et le Tableau 6.

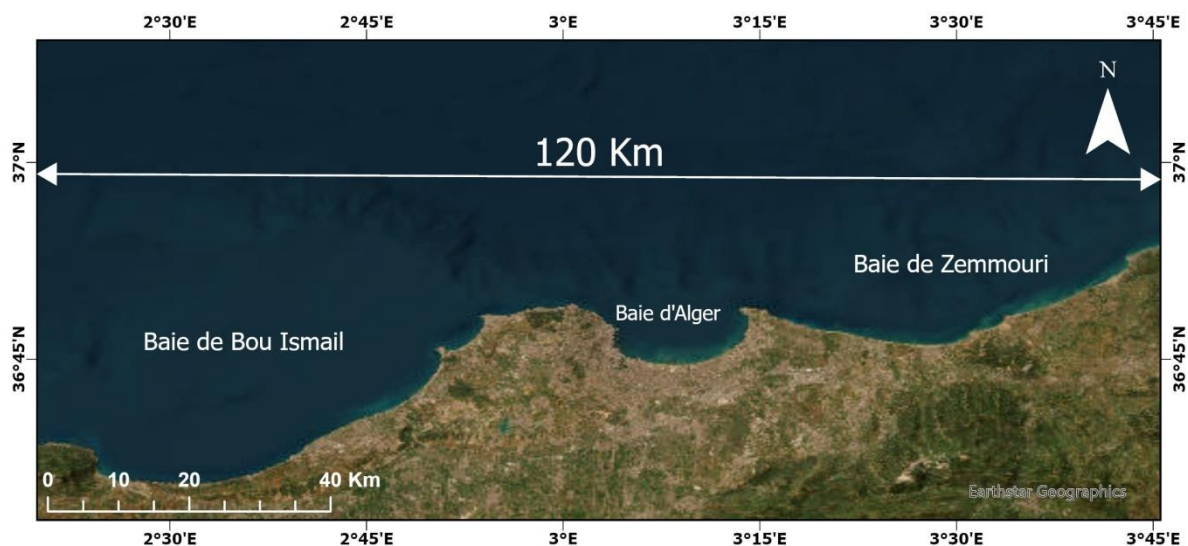


Figure 5: Situation géographique de la zone d'étude.

---

<sup>5</sup>Global Plastic Watch (GPW) est une plateforme numérique qui cartographie la pollution plastique dans le monde en temps quasi réel en utilisant une combinaison unique d'imagerie satellite et d'intelligence artificielle. <https://globalplasticwatch.org/>

## Zone d'étude

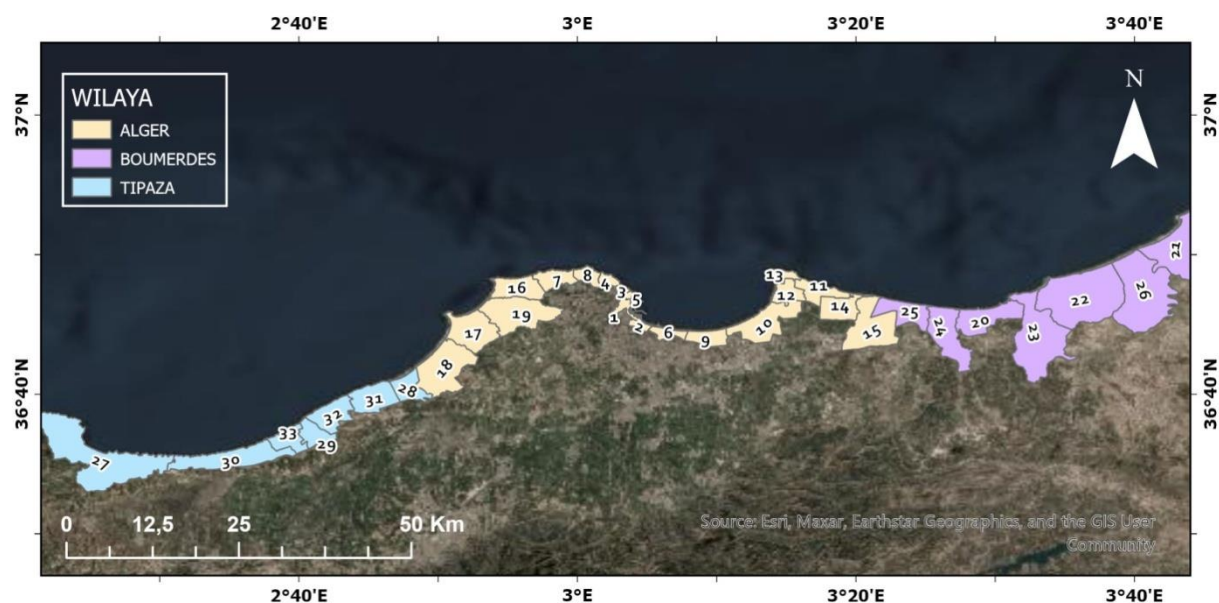


Figure 6: Les communes côtières incluses dans la zone d'étude.

Les numéros représentent les communes côtières spécifiées sur le tableau suivant :

Tableau 6 : Les communes côtières incluses dans la zone d'étude.

Wilaya	Nombre	N°	Commune	Code ONS
Alger	19	1	Alger-Centre	1601
		2	Belouizdad	1604
		3	Bab El Oued	1605
		4	Bologhine	1606
		5	Casbah	1607
		6	Hussein Dey	1617
		7	El Hammamet	1624
		8	Raïs Hamidou	1625
		9	Mohammadia	1629
		10	Bordj El Kiffan	1630
		11	Ain Taya	1638
		12	Bordj El Bahri	1639
		13	El Marsa	1640
		14	Haraoua	1641
		15	Reghaia	1643
		16	Ain Benian	1644
		17	Staoueli	1645
		18	Zeralda	1646
		19	Cheraga	1650
Boumerdes	7	20	Boumerdes	3501
		21	Djinet	3509
		22	Zemmouri	3511
		23	Thenia	3515
		24	Corso	3519
		25	Boudouaou-El-Bahri	3532
		26	Leghata	3535

## Zone d'étude

Wilaya	Nombre	N°	Commune	Code ONS
Tipaza	7	27	Tipaza	4201
		28	Douaouda	4204
		29	Khemisti	4206
		30	Aïn Tagourait	4217
		31	Fouka	4225
		32	Bou Ismaïl	4226
		33	Bouharoun	4230

### 2.1.1 Baie d'Alger

La baie d'Alger, au cœur du littoral algérien et située dans la wilaya d'Alger, la capitale du pays, présente des coordonnées géographiques entre 3°01'00" Est et 3°14'30" Est en longitude, et entre 36°44'30" N et 36°49'15" N en latitude. Sa morphologie semi-circulaire s'étend sur environ 35 kilomètres de linéaire côtier, avec une ouverture mesurant environ 18 kilomètres d'est en ouest et 7 kilomètres du nord au sud. Cette configuration conduit à une accumulation significative de pollution en raison d'une circulation plus restreinte des eaux. La baie est délimitée à l'est par le Cap Matifou et à l'ouest par le Cap Caxine, couvrant une superficie estimée à environ 180 km<sup>2</sup> (Figure 7).



Figure 7: Situation géographique de la baie d'Alger.

### 2.1.2 Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri, localisée dans la wilaya de Boumerdes à environ 40 kilomètres à l'est d'Alger, est délimitée au nord par la Méditerranée occidentale, au sud par la plaine de la Mitidja, à l'est par le Cap Djinet (36°53'N, 3°43'E), et à l'ouest par le Cap Matifou (36°49'N, 3°13'E). La baie présente une ouverture substantielle vers le nord, s'étendant sur un linéaire côtier d'environ 54 kilomètres ce qui facilite la circulation des eaux et permet un meilleur drainage de la pollution côtière. La présence remarquable d'un promontoire rocheux, le

## Zone d'étude

Rocher Noir, d'une altitude d'environ 100 mètres, constitue une caractéristique topographique notable de la région (Figure 8).

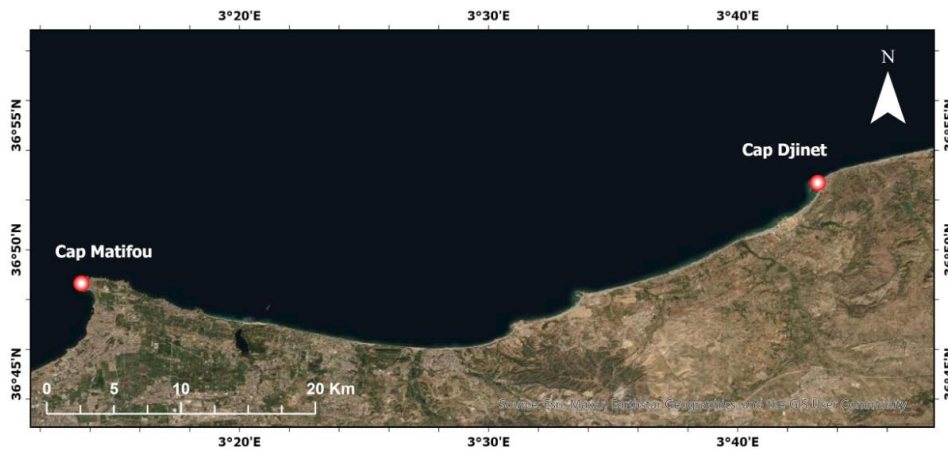


Figure 8: Situation géographique de la baie de Zemmouri.

### 2.1.3 Baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail, également appelée Golfe de Castiglione, est située dans la wilaya de Tipaza, à environ 30 km à l'ouest d'Alger. Elle s'étend du promontoire de Ras-Acrata à l'est ( $36^{\circ}48'N$ ,  $2^{\circ}54'E$ ) au cap du Mont Chenoua à l'ouest ( $36^{\circ}37'N$ ,  $2^{\circ}24'E$ ), avec la Méditerranée occidentale au nord et la plaine de la Mitidja au sud. Avec une superficie d'environ 350 km<sup>2</sup>, la baie possède un linéaire côtier de plus de 60 km et une ouverture d'environ 40 km. Cette caractéristique d'ouverture contribue à favoriser une bonne circulation des eaux. La baie est divisée en deux parties : une baie à l'est, la baie d'en Djamilia, représentant le quart oriental d'elle et une grande baie à l'ouest, celle de Bousmail (Figure 9).



Figure 9: Situation géographique de la baie de Bou Ismail.

## Zone d'étude

### 2.2 Conditions météorologiques : Les Précipitations

La Figure 10 présente les cumuls des précipitations mensuelles moyennes pour les stations de Baraki, Birmandreis et El Hamiz tout au long de l'année. Les précipitations sont élevées de Novembre à Mars, dépassant les 100 mm, avant de diminuer progressivement jusqu'à atteindre leur minimum en juillet et août, période correspondante à la saison sèche. Cette saisonnalité a un impact direct sur la pollution plastique. En effet, les fortes pluies en début et fin d'année entraînent un ruissellement accru, transportant des déchets plastiques depuis les zones urbaines vers les cours d'eau et donc vers les eaux côtières. Durant les mois secs, les plastiques peuvent s'accumuler sur les sols et sont ensuite déplacés avec la reprise des pluies.

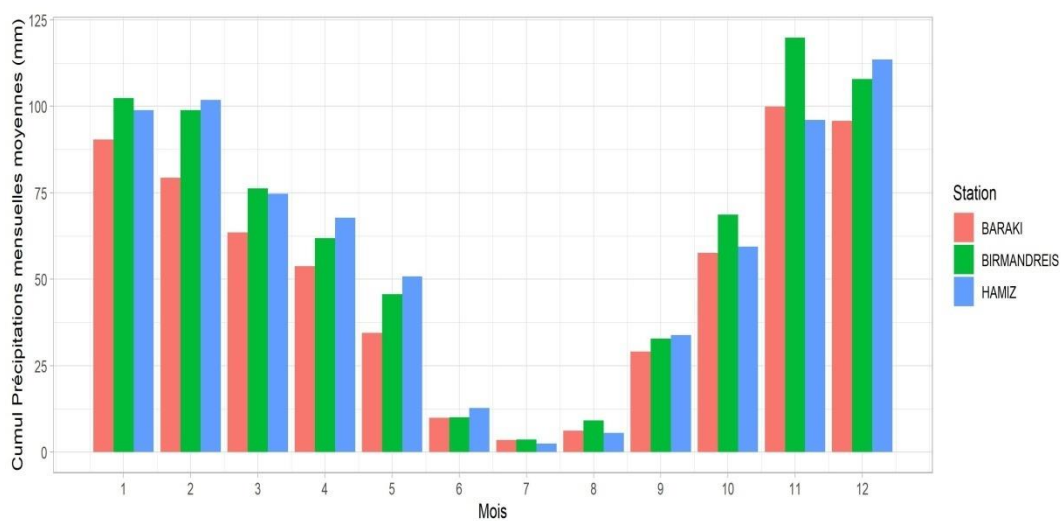


Figure 10 : Les cumuls de précipitations mensuelles moyennes des trois stations : Baraki, Birmandreis, El Hamiz. Source : (GAOUAOU&HAMROUCHE, 2022)

### 2.3 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est un acteur clé dans le transfert des débris plastiques vers les milieux marins. À travers le ruissellement des déchets plastiques le long des cours d'eau et des rivières, une quantité considérable de plastique est acheminée vers les milieux marins constituant un élément majeur dans la contamination des écosystèmes marins. Pour mieux comprendre ce phénomène, une attention particulière est portée aux caractéristiques des principaux oueds des trois baies (Baie d'Alger, Baie de Zemmouri et Baie de Bou Ismail) (Figure 11). Le Tableau 7 résume les informations importantes sur ces cours d'eau.

## Zone d'étude

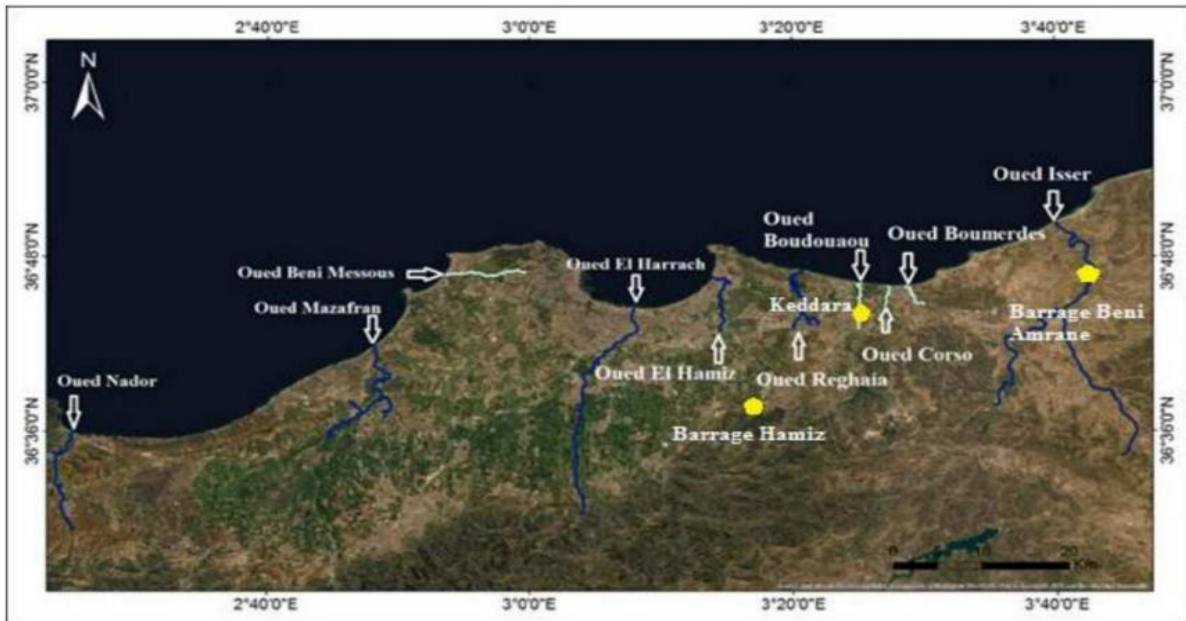


Figure 11: Carte des réseaux hydrographiques de la zone d'étude. (Source: DOUBI&FERDI, 2020)

Des données sur les débits mensuels moyens des oueds El Harrach, El Hamiz, Mazafran et Isser, couvrant les périodes de 1983 à 2015, ont été récoltées auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) afin de mieux comprendre le comportement hydrologique de ces cours d'eau et leur impact sur le transport des débris plastiques.

D'après les graphes de la Figure 12, les oueds d'El Harrach, d'El Hamiz, de Mazafran et d'Isser connaissent des variations saisonnières significatives, avec des débits maximaux en hiver et au début du printemps. En décembre, janvier, février et mars, les débits sont particulièrement élevés, atteignant des pics qui indiquent une forte capacité de transport de matériaux, y compris des débris plastiques :

- Oued Isser : un débit moyen de 14,8 m<sup>3</sup>/s en février
- Oued Mazafran : un débit moyen de 14,47 m<sup>3</sup>/s en mars
- Oued El Harrach : un débit moyen de 10,8 m<sup>3</sup>/s en février
- Oued El Hamiz : un débit moyen de 1,3 m<sup>3</sup>/s en décembre

## Zone d'étude

Tableau 7: Les caractéristiques des oueds de la zone d'étude. (Source: DOUBI&FERDI, 2020: Données récoltées entre 1989 et 2019)

Oued	Région/source	Superficie (Km <sup>2</sup> ) - Longueur (Km)	Transport solide (mm <sup>3</sup> /an) Le taux d'abrasion (m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup> ) Débit liquide (m <sup>3</sup> /s)	Caractéristiques
<b>Oued Isser</b>	Baie de Zemmouri (Boumerdes). S'écoule du Sud vers le Nord (de Béni Amrane à Sidi Ali Messaoud). Il est dévié vers l'Est en direction de Sidi Mustapha	4145 km <sup>2</sup> 97 km	4,96mm <sup>3</sup> /an 1200m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup>	Caractérisé par une dynamique érosive, complexe. Classé parmi les cinq principaux fleuves d'Alger.
<b>Oued de Boumerdes</b>	Baie de Zemmouri (Boumerdes). Passe par la plage de Rocher Noir.	10,08 km	0,02mm <sup>3</sup> /an 550m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup>	Reçoit de grands affluents provenant du bassin versant. Responsable du drainage de la plage Rocher Noir.
<b>Oued Corso</b>	Baie de Zemmouri (Boumerdes). Située à 25 km à l'Est d'Alger.	22,41 km <sup>2</sup>	0,11 mm <sup>3</sup> /an 1150 m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup>	L'aire de drainage de ce bassin couvre 100km <sup>2</sup> . Son écoulement moyen annuel est évalué à 27mm <sup>3</sup> , son écoulement annuel dans la Méditerranée est évalué à 20mm <sup>3</sup> .
<b>Oued Boudouaou</b>	Baie de Zemmouri (Boumerdes). Il prend naissance à partir d'Oued Keddara et Oued El Haddad. Il se termine vers la mer par une basse vallée entaillée dans les marnes bleues.	93 km <sup>2</sup> 22 km	0,21 mm <sup>3</sup> /an 1830 m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup>	Il draine la partie orientale de l'Atlas blidéen. L'écoulement annuel moyen de l'Oued Boudouaou est évalué à 27mm <sup>3</sup> . L'écoulement annuel moyen dans la Méditerranée est estimé approximativement à 37mm <sup>3</sup> .
<b>Oued Réghaia</b>	Baie de Zemmouri (Boumerdes). Il parcourt la partie orientale de la plaine de la Mitidja. Il traverse la ride sahélienne au Nord, au contact de laquelle s'est formé le marais de Réghaia pour se heurter en aval à un cordon dunaire qui modifie son trajet vers l'Est pour enfin se jeter dans la mer Méditerranée.	86 km <sup>2</sup> 20 km	0,02 mm <sup>3</sup> /an 210 m <sup>3</sup> /km <sup>3</sup>	Oued Réghaia sépare les communes de Réghaia et de Harraoua en coulant dans un bassin versant.
<b>Oued El Hamiz</b>	Baie d'Alger. Il s'écoule d'Ouest en Est au nord de l'Algérie.	315 km <sup>2</sup> 60 km	/	La présence du barrage d'El Hamiz réduit considérablement ses apports solides vers la mer. Il draine l'extrémité orientale de Plaine de la Mitidja.
<b>Oued El Harrach</b>	Baie d'Alger. Il s'écoule du Sud vers le Nord à travers l'Atlas Blidéen, la Mitidja et le Sahel où finalement il se jette à la mer.	1200 km <sup>2</sup>	5,41 m <sup>3</sup> /s	Il reçoit les rejets urbains, industriels et agricoles, de ce fait altère toute la biodiversité qui y vit, de par sa qualité physico-chimique et microbiologique très dégradée.
<b>Oued Beni-Messous</b>	Baie de Bou Ismail. Il prend naissance au massive de Bouzereah et il est alimenté par les décharges provenant de Bouzereah, Beni-Messous et Chéraga. Il débouche dans la baie d'El Djamila.	33 km <sup>2</sup> 11 km	0,245 m <sup>3</sup> /s	C'est le réceptacle de toutes les eaux usées domestiques et industrielles des zones qu'il traverse.
<b>Oued Mazafran</b>	Baie de Bou Ismail. Il prend source au niveau du point de rencontre d'Oued Chiffa et Oued Djer et il débouche entre Douaouda et Zerelda.	1850 km <sup>2</sup> 24 km	7,566 m <sup>3</sup> /s	Le plus important des oueds qui déversent dans la baie de Bou Ismail.
<b>Oued Nador</b>	Baie de Bou Ismail, et débouche entre Tipaza et Mont Chenoua.	200-300 km <sup>2</sup>	0,89 m <sup>3</sup> /s	Il est alimenté par deux oueds qui sont : Oued Bourguiga et Oued Merrad.

## Zone d'étude

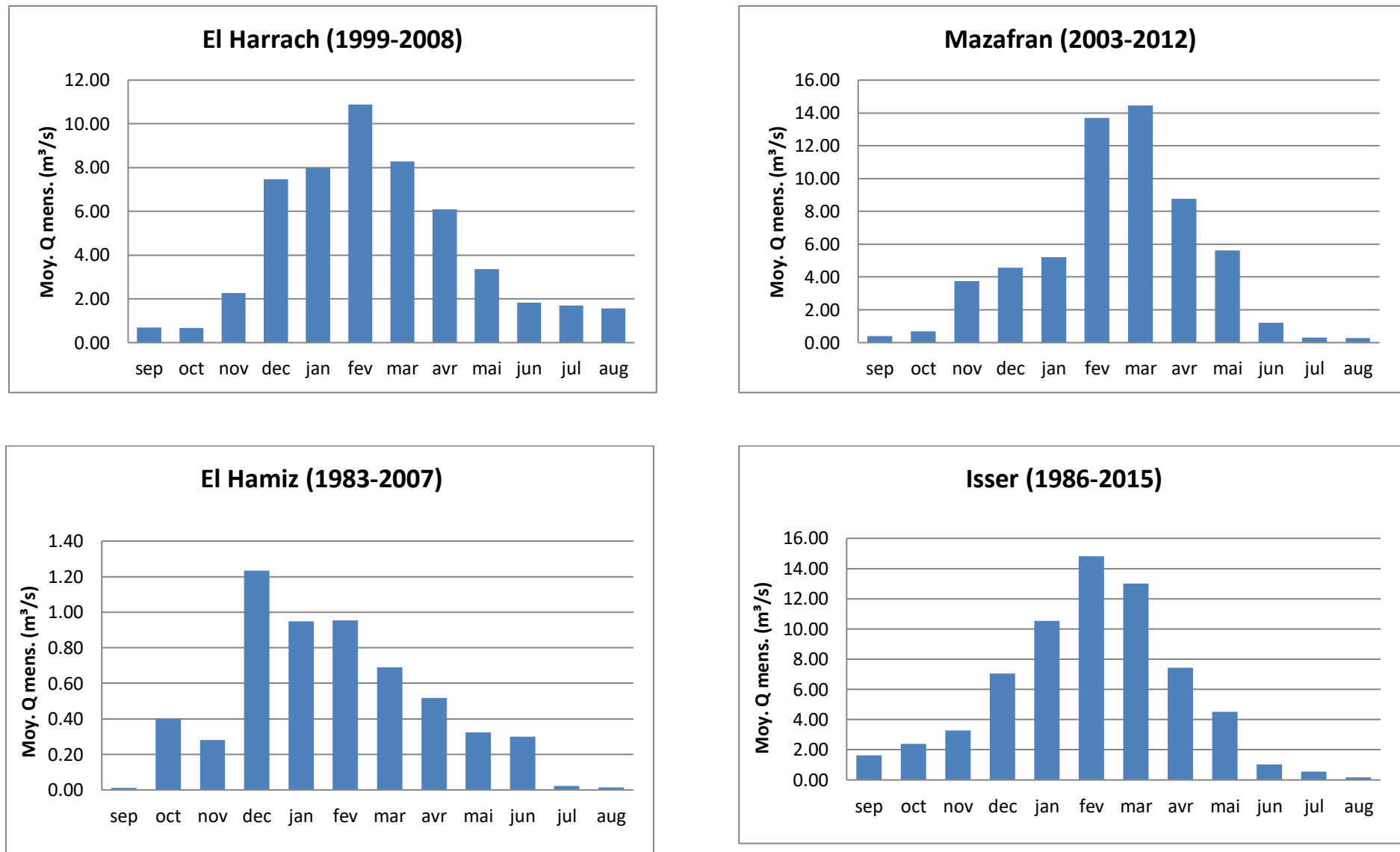


Figure 12: Débits mensuels moyens des oueds (El Harrache, El Hamiz, Mazafranet Isser) d'après les données de l'ANRH.

# Zone d'étude

## 2.4 Les sources de pollution

### 2.4.1 Baie d'Alger

La baie d'Alger est fortement affectée par les activités anthropiques, en raison de :

- La densité de population estimée à 3 309 896 habitants en 2020 (MTA, 2020a).
- La présence de quatre zones industrielles (Oued Smar, Sidi Moussa, Rouiba\_Reghaia, et El Harrach), contribuant à un développement industriel dynamique (Tableau 8).
- Un réseau routier dense s'étalant sur 2374,3 km composé de 573,3 km de routes nationales, 254 km de chemins de wilayas et 1547 km de chemins communaux (MTA, 2020a).
- Un aéroport Houari Boumediene et deux infrastructures portuaires : Alger et El Marsa (DCA, 2016). Trois autres ports sont compris dans la wilaya d'Alger, à savoir le port d'El Djamila, de Rais hamidou et de Sidi Fredj.

Les eaux des deux oueds, El Hamiz et El Harrach, se déversent dans la baie, avec El Harrach transportant principalement des eaux usées non traitées, altérant la qualité de l'eau. Les rejets industriels de la cimenterie de Rais Hamidou et les déchets des navires dans le port contribuent également à la pollution. De plus, la station de dessalement d'eau de mer d'El-Hamma génère des saumures qui nuisent aux écosystèmes côtiers. D'après GUENDOUDI (2011), ces facteurs ont entraîné une interdiction de la baignade sur 46 plages en 2004, et une réduction de la biodiversité marine de 14% a été enregistrée.

Tableau 8 : Les activités polluantes en baie d'Alger. (Source:PAC, 2006)

Zone industrielle	Unité industrielle	Nature de l'activité
<b>Alger – Port</b>	COGRAL Filiale ENCG HRSA/UP5	Raffinage des huiles et fabrication de savon
	Centrale thermique	Production d'électricité
	COGRAL RSA/UP6	Production d'huile et cosmétique
<b>Oued El Harrach</b>	Parfumerie et cosmétique de l'Oasis	Fabrication de parfum et cosmétique
	EPBH	Fabrication de boissons gazeuses et bières
	ENCP TPIG	Transformation de plastique
<b>Oued Smar</b>	ENPEC	Fabrication d'accumulateurs de démarrage de plomb
	SIAD	Production de détergents
	Complexe de levure ERIAD	Production de levure
	ENAP	Peinture, vernis, diluants et colles
	Aromes d'Algérie	Emulsion 10t, essences 3t/an, arômes 2t/an

## Zone d'étude

---

### 2.4.2 Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri est réputée pour son activité agricole ainsi que son développement industriel et touristique modéré. Elle est donc soumise à une pression anthropique, marquée par plusieurs facteurs :

- Une population dense, passant de 647 389 habitants en 1998 à 960 315 habitants en 2020, soit un taux de croissance annuel moyen de 02,01% (MICLAT, 2019a).
- La présence de trois zones industrielles (Laarbatache, Ouled Moussa et Khemis El-Khechna) (MTA, 2018).
- Un réseau routier étendu s'étalant sur 1483 km au total, dont 282 km de routes nationales, 350 km de chemins de Wilaya et 851 km de chemins communaux (MTA, 2018).
- Trois infrastructures portuaires : Dellys, Djinet et Zemmouri El Bahri (MTA, 2018).

C'est le lieu de déversement de plusieurs oueds, de nature et d'importance variables, entraînant des apports divers le long de ses côtes, notamment après le séisme de Boumerdes en mai 2003, qui a vu la multiplication des bidonvilles le long du littoral de Boumerdes à Zemmouri, accentuant ainsi les sources de pollution marine.

### 2.4.3 Baie de Bou Ismail

La baie de Bou Ismail, reconnue pour son attrait touristique et son importance agricole, est impactée par les activités humaines, engendrées par plusieurs facteurs :

- Une densité de population estimée à 706 054 habitants en décembre 2019, par rapport à une estimation antérieure de 591 010 habitants selon le RGPH de 2008, indiquant une augmentation de 19,46% (MICLAT, 2019b).
- La présence de douze zones d'activités dans le parc industriel de la wilaya de Tipaza (MTA, 2020b).
- Un réseau routier dense, totalisant 1 710,565 kilomètres, avec une répartition de 14,4 % pour les routes nationales, 15,5% pour les chemins de wilaya, 66% pour les chemins communaux et 4,1% pour les routes voie express (MICLAT, 2019b).
- Cinq infrastructures portuaires localisées à :Gouraya, Cherchell, Bouharoun, Khemisti et Tipasa (MICLAT, 2019b).

## Zone d'étude

De surcroît, la baie est principalement exposée aux rejets domestiques provenant majoritairement des agglomérations, des villes côtières et des complexes touristiques se déversant directement dans l'environnement sans traitement préalable dans la plupart des cas. De plus, les oueds traversant les zones urbaines déversent en mer les eaux de ruissellement des terres agricoles ainsi que les effluents urbains et industriels (Figure 13).

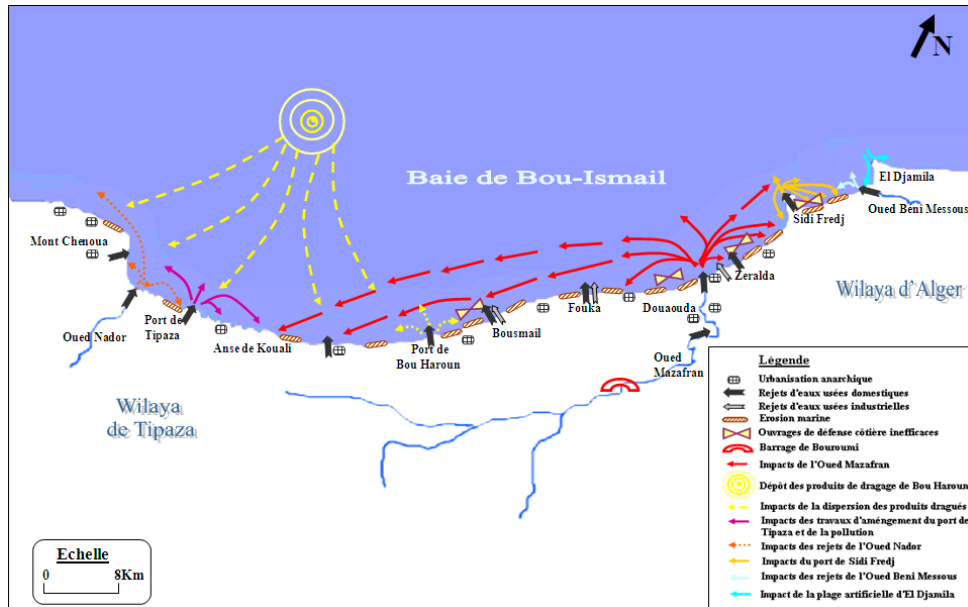


Figure 13: Carte des pressions naturelles et anthropiques dans la baie de Bou Ismaïl.

(Source : BELKESSA, 2005)

# Matériels et méthodes

### 3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

La détection de la pollution plastique dans le littoral Algérois est une thématique actuelle et cruciale, étant donné que les méthodes de détection sont relativement récentes, émergeant principalement après 2019 selon la documentation disponible (Tableau 9). Ces méthodes sont spécifiques aux différents types de plastiques, s'appuyant sur leurs propriétés spectrales distinctes pour les identifier. En outre, une gamme de technologies de télédétection est à disposition, comprenant des approches optiques, radar, et autres, comme illustré dans le Tableau 9. L'objectif de cette étude est de savoir si on peut détecter, ou non, la présence potentielle des déchets marins flottants, notamment le plastique, le long du littoral Algérois. La télédétection optique a été privilégiée dans le cadre de cette étude. Ce chapitre présente en détail les méthodes et les outils utilisés.

#### 3.1 Logiciels utilisés

##### 3.1.1 SNAP

Un outil d'analyse des observations de la Terre en accès libre, SNAP permet d'accéder à des données environnementales issues de diverses missions de télédétection, notamment Sentinel-1, Sentinel-2 et Sentinel-3 du Programme Copernicus de l'Union Européenne, ainsi que des missions d'exploration de la Terre de l'ESA telles que le satellite SMOS et des missions de tiers. Il facilite l'exploration, l'analyse et le traitement des données de télédétection, soutenant la recherche scientifique, l'éducation, la formation et les applications opérationnelles (EOPORTAL, 2022).

##### 3.1.2 ArcGIS

ArcGIS constitue un système intégré qui assure la collecte, l'organisation, la gestion, l'analyse, la communication et la diffusion des données géographiques. En tant que plateforme prédominante dans le développement et l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) à l'échelle mondiale, ArcGIS est largement adopté par une communauté mondiale pour mettre en valeur les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias (ARCGIS RESOURCES, 2010).

# Matériels et méthodes

Tableau 9: Méthodes de détection du plastique existantes.

Types de technologie	Types spectraux	BandeplastiquedéTECTÉE/ modèleouméthode	Zone de surveillance	Type d'échantillon	Taille d'échantillon	Précision
<b>1. Télédétection par satellite</b>						
LS-8, S-2, Planet (KIKAKI <i>et al.</i> , 2020)	Multispectral	Bande bleue, indice du satellite/ réseau de neurone	Terre, rivière	plastique, pneus, déchetterie	Nd	82-86%
Sentinel-2 (TOPOUZELI <i>et al.</i> , 2020) (THEMISTOCLEOUS <i>et al.</i> , 2020) (LAVENDER, 2022)		Rouge, NIR, SWIR, indice du satellite/ filtrage adapté, ML (Machine Learning)	Rivière, plage, océan	PET, PEBD	1-10 m	58- 90 % 25 % des pixels
PRISMA (KREMEZI <i>et al.</i> , 2021) (TAGGIO <i>et al.</i> , 2022)	Hyperspectral	Non-supervisé, indice du satellite, ML	Plage, océan	PEHD, PET, PS, PEHD + PET + PS	0,6-5,1 m	96%
Sentinel-1 (SIMPSON <i>et al.</i> , 2022)	Radar à Synthèse d'Ouverture	Polarisation VH/ différences de rétrodiffusion	Rivière	accumulation de plastique	Nd	85 à 95%
<b>2. Télédétection aérienne</b>						
Caméra Pushbroom (FREITAS <i>et al.</i> , 2022)	Hyperspectral	nd/ deeplearning (ZSL)	Océan	PE, LDPE, corde	2,5-10 m	98,71 %
<b>3. Véhicules aériens sans pilote</b>						
Caméra multispectrale (LUO <i>et al.</i> , 2022) (TADDIA <i>et al.</i> , 2021) (MAHARJAN <i>et al.</i> , 2022)	Caméra	DSM, NDVI/ ML, deep learning	Rivière	PET, PEBD, PU, PS	0,25-80 cm	65-86%
Caméra pushbroom (BALS <i>et al.</i> , 2021)	Hyperspectral	NIR, SWIR/ discriminant linéaire	Plage, océan	PE, PET	Nd	nd
<b>4. Capteurs statiques</b>						
Antenne Radar (SERAFINO&BIANCO, 2021)	Signal Radar	Bande X/ surface équivalente Radar	Océan	PET, PEBD, PU, PS	0,3-1 m	nd

# Matériels et méthodes

## 3.1.3 ENVI

Le logiciel ENVI représente une solution complète et commerciale pour la visualisation ainsi que le traitement d'images dérivées de la télédétection. Il englobe l'ensemble des méthodes essentielles de traitement d'images, incluant la correction géométrique et radiométrique, la classification, ainsi que la mise en page cartographique (ESRI, 2023).

## 3.2 Méthode 1 : Détection des débris macroplastiques par des indices spectraux

### 3.2.1 Acquisition des données

#### 3.2.1.1 Définition des zones et périodes d'étude

Les zones d'étude sélectionnées comprennent la baie d'Alger, la baie de Zemmouri et la baie de Bou Ismail. La délimitation de la zone d'étude repose sur les contours géographiques de ces trois baies ainsi que sur ceux des images satellitaires téléchargées. Elles sont situées respectivement entre les latitudes 36°30'N et 37°00'N, et les longitudes 2°18'E et 3°48'E.

Concernant les périodes d'étude, il est pertinent, pour cette étude portant sur l'année 2023-2024, de couvrir chaque saison afin d'évaluer l'influence éventuelle des variations saisonnières sur la présence potentielle des débris plastiques. La superficie totale de la zone d'étude est de 3940 km<sup>2</sup>.

#### 3.2.1.2 Téléchargement des images satellitaires

Les images satellites Sentinel-2 MSI niveau 1C, correspondantes aux zones et périodes d'étude, ont été téléchargées via le centre d'accès libre de Copernicus et de l'ESA (<https://dataspace.copernicus.eu>). La sélection des images s'est faite en fonction de la couverture nuageuse la plus faible afin de garantir la qualité des données (Tableau 10). Il a été nécessaire de recourir à deux images pour couvrir intégralement la zone d'étude lors de chaque période considérée.

Tableau 10: Liste des images Sentinel-2 capturées au-dessus des trois baies.

Nom du fichier de l'image	Date	Saison
S2B_MSIL1C_20230325T102649_N0509_R108_T31SEA_20230325T122948.SAFE	25/03/2023	Printemps
S2B_MSIL1C_20230325T102649_N0509_R108_T31DA_20230325T122948.SAFE	25/03/2023	Printemps
S2B_MSIL1C_20230812T102609_N0509_R108_T31SEA_20230812T141200.SAFE	12/08/2023	Été
S2B_MSIL1C_20230812T102609_N0509_R108_T31DA_20230812T141200.SAFE	12/08/2023	Été

## Matériels et méthodes

Nom du fichier de l'image	Date	Saison
S2A_MSIL1C_20231006T102911_N0509_R108_T31SEA_20231006T141008.SAFE	06/10/2023	Automne
S2A_MSIL1C_20231006T102911_N0509_R108_T31DA_20231006T141008.SAFE	06/10/2023	Automne
S2A_MSIL1C_20240203T103231_N0510_R108_T31SEA_20240203T123412.SAFE	03/02/2024	Hiver
S2A_MSIL1C_20240203T103231_N0510_R108_T31DA_20240203T123412.SAFE	03/02/2024	Hiver
S2B_MSIL2A_20230325T102649_N0509_R108_T31SEA_20230325T133051.SAFE	25/03/2023	Printemps
S2B_MSIL2A_20230812T102609_N0509_R108_T31SEA_20230812T150144.SAFE	12/08/2023	Été
S2A_MSIL2A_20231006T102911_N0509_R108_T31SEA_20231006T162956.SAFE	06/10/2023	Automne
S2A_MSIL2A_20240203T103231_N0510_R108_T31SEA_20240203T143851.SAFE	03/02/2024	Hiver

### 3.2.2 Prétraitements des images Sentinel-2

L'ouverture des images s'est faite via le logiciel SNAP.

- File > Import > Optical Sensors > Sentinel-2

#### 3.2.2.1 Correction atmosphérique

Les données de Niveau 1C ont été soumises à une correction atmosphérique<sup>6</sup> en utilisant Sen2Cor, un algorithme de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) disponible dans SNAP (Figure 14). Dans la littérature, les chercheurs ont généralement recours à Sen2Cor (DAMAYANT *et al.*, 2022 ; LAVENDER, 2022) ou à l'ACOLITE (KIKAKI *et al.*, 2020 ; MATHIS, 2021 ; SANNIGRAHI *et al.*, 2021 ; TOPOUZELI *et al.*, 2020) pour la correction atmosphérique des images Sentinel-2. Sen2Cor est un algorithme de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) pour la correction atmosphérique des images Sentinel-2, qui corrige l'effet atmosphérique des produits Sentinel-2 de Niveau 1C en Top of Atmosphere (TOA) vers un produit de réflectance de Niveau 2A en Bottom of Atmosphere (BOA) (SENTINEL ONLINE, 2020). En revanche, ACOLITE est un logiciel open-source de correction atmosphérique et de suppression des reflets du soleil, initialement développé pour le traitement des scènes aquatiques dans les eaux turbides (TOPOUZELI *et al.*, 2020) (Figure 15). Après une évaluation comparative des deux méthodes, Sen2Cor a été choisi dans cette étude plutôt que l'algorithme ACOLITE, en raison des résultats meilleurs obtenus lors du calcul des indices.

- Tools > Plugins > Available Plugins > SEN2COR280 Processor > Install

<sup>6</sup>La correction atmosphérique est le processus permettant d'éliminer les effets de diffusion et d'absorption de l'atmosphère sur les valeurs de réflectance des images prises par des capteurs satellites ou aéroportés.

- Optical > Thematic Land Processing > SEN2COR280

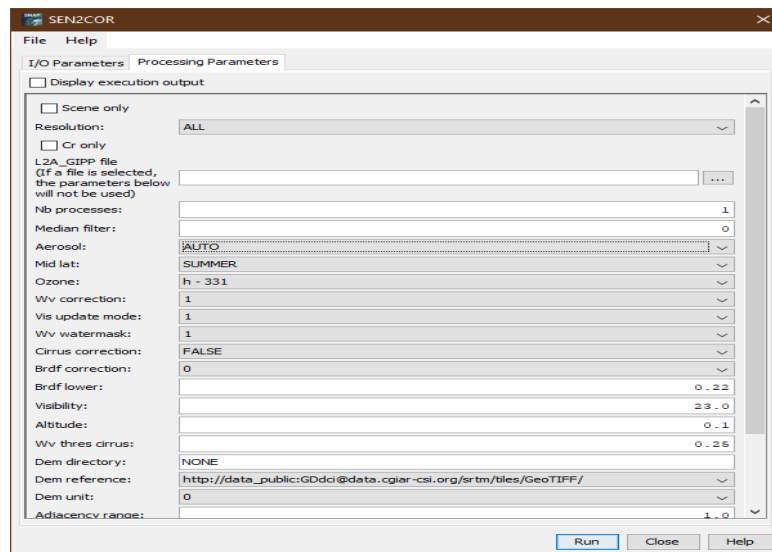


Figure 14: Interface de l'outil Sen2Cor.

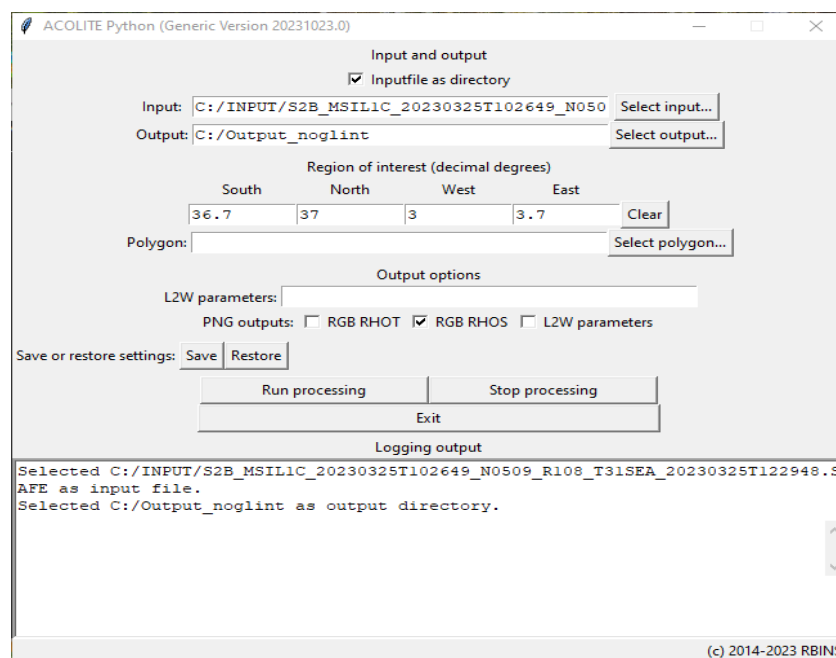


Figure 15: Interface de l'outil ACOLITE.

### 3.2.2.2 Extraction de la zone d'étude (SpatialSubset)

Ce processus consiste à délimiter notre zone d'étude par le découpage des différentes images, réduisant ainsi leurs tailles et améliorant les performances en termes de vitesse de traitement.

- Raster > Subset

## Matériels et méthodes

---

### 3.2.2.3 Rééchantonnage (Resampling)

Un rééchantillonnage des bandes spectrales nécessaires à notre étude a été effectué pour uniformiser la résolution spatiale de ces bandes à 10 mètres.

- Raster >Geometric>Resampling

### 3.2.2.4 Reprojection

Dans cette étude, une reprojection géodésique a été choisie afin de convertir les données des images satellitaires entre différents systèmes de coordonnées. Cette méthode assure une conversion précise entre les coordonnées géographiques et cartésiennes, en prenant en compte la courbure de la surface terrestre.

- Raster >Geometric> Reprojection

### 3.2.2.5 Mosaïquage (Mosaicking)

Un mosaïquage a été effectué pour obtenir une représentation complète et cohérente de la zone d'étude (Figure 16).

- Raster >Geometric>Mosaicking

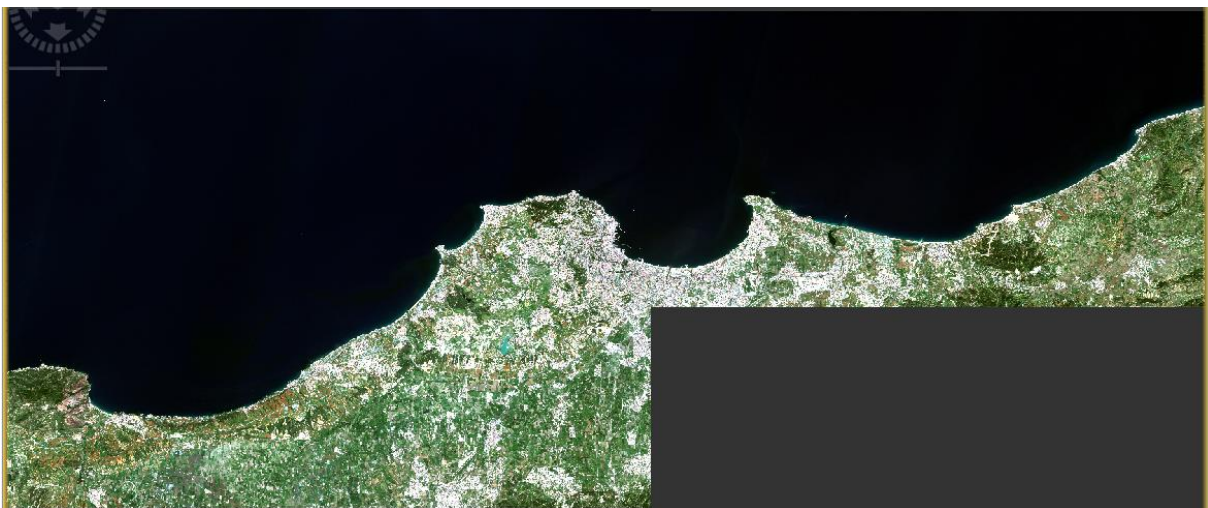


Figure 16: Résultat du Mosaïquage des trois baies.

### 3.2.3 Traitement des images Sentinel-2

Les zones d'accumulation de déchets plastiques ont été identifiées grâce à l'application d'indices spectraux spécifiques dans la région étudiée. Pour repérer les débris plastiques potentiels en mer, deux indices spectraux ont été utilisés dans cette étude, notamment l'indice

## Matériels et méthodes

---

des débris flottants (FDI) et l'indice de végétation à différence normalisée (NDVI) (THEMISTOCLEOUS *et al.*, 2020).

### 3.2.3.1 Calcul de l'Indice des Débris Flottants (FDI)

D'après les recherches de WILCOX *et al.* (2015), l'Indice des Débris Flottants (FDI) est efficace pour détecter les débris plastiques potentiels en fonction de la quantité de matériau présente dans un pixel donné. Selon cette étude, le FDI permet d'obtenir une signature spectrale distinctive pour les matériaux flottants et l'eau (SANNIGRAHI *et al.*, 2021).

$$FDI = RrsNIR - Rrs'NIR... (I)$$

$$Rrs'NIR = RrsRE2 + (RrsSWIR1 - RrsRE2) * ((\lambda B8 - \lambda B4) / (\lambda B11 - \lambda B4)) * 10... (II)$$

Où *Rrs* est la réflectance de la bande spectrale du NIR (B8), Red Edge-2 (B6), et SWIR-1 (B11). L'indice utilise également la longueur d'onde centrale des bandes B8 ( $\lambda B8$ , 842 nm), B4 ( $\lambda B4$ , 665 nm), et B11 ( $\lambda B11$ , 1610 nm).

Il se traduit donc comme suit :

$$FDI = B8 - (B6 + (B11 - B6) * \left(\frac{842-665}{1610-665}\right) * 10)... (III)$$

### 3.2.3.2 Calcul de l'Indice de Végétation à Différence Normalisée (NDVI)

Selon SANNIGRAHI *et al.* (2021), l'Indice de Végétation à Différence Normalisée (NDVI) est présenté comme une mesure de la verdure de la végétation. La végétation a la particularité d'absorber fortement la lumière rouge et de réfléchir abondamment la lumière proche infrarouge, ce qui permet de l'identifier aisément. Les valeurs de NDVI tendent à être proches de zéro pour les débris plastiques en mer (BIERMANN *et al.*, 2020). L'équation du NDVI a été élaborée pour identifier les caractéristiques spectrales, comme le décrit l'équation suivante :

$$NDVI = (RrsNIR - RrsRED) / (RrsNIR + RrsRED)... (IV)$$

Pour les bandes spectrales du Sentinel 2, l'indice se traduit comme suit :

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)... (V)$$

### 3.2.3.3 Seuillage

La méthodologie suivie se base sur la possibilité de réaliser une classification à l'aide du logiciel SNAP en utilisant une "cible plastique de référence" stable et suffisamment grande pour couvrir la totalité d'un pixel. Cependant, aucun échantillon approprié n'a pu être localisé

## Matériels et méthodes

---

sur Google Earth. Par conséquent, une approche alternative a été adoptée consistant à créer un masque basé sur les seuils définis par MATHIS (2021). Selon ses recherches, le plastique était considéré potentiellement présent lorsque la réflectance de l'Indice de Végétation de Différence Normalisée était comprise entre 0,02 et 0,23, et lorsque la réflectance de l'Indice des Débris Flottants était située entre 0,018 et 0,068.

- Réalisation du masque : Mask manager > f(x) > OK
- Calcul de la superficie : Raster >Masks> Mask Area...

### 3.2.4 Cartographie

Dans le cadre de cette étude, la cartographie spatiale des débris plastiques a été jugée essentielle pour comprendre leur répartition spatiale dans la zone d'étude. Pour ce faire, une digitalisation de la côte de la zone d'étude a été effectuée sur le logiciel SNAP. Une fois les résultats ont été importés dans ArcMap sous forme d'un shapefile-point, les débris potentiels de plastique, obtenus après le masque, ont été superposés sur la carte. À partir de ces données, des cartes ont été générées pour les quatre saisons.

### 3.2.5 Validation et vérification des résultats

Afin d'évaluer le niveau de précision des indices qui ont été appliqués pour détecter les débris plastiques marins dans les étendues d'eau côtières, la validation s'est déroulée par des vérifications visuelles à l'aide de Google Earth Pro à la même date que les données Sentinel-2. Les éléments supplémentaires identifiés à la surface de l'eau, tels que les navires/bateaux, les rochers et les fermes aquacoles, ont été exclus de l'analyse. Cette approche a été adoptée en raison de l'absence de données in-situ disponibles pour la confirmation (DAMAYANTI *et al.*, 2022).

Une validation supplémentaire de la méthodologie utilisée a été entreprise en la reproduisant sur une image Sentinel-2 capturée le 09/10/2017, couvrant les îles de la Baie et le golfe du Honduras. Le choix de cette zone géographique a été motivé par la disponibilité des données in-situ collectées tout au long du mois (KIKAKI *et al.*, 2020). Les indices calculés ont identifié de manière précise la zone où les débris de plastique ont été observés sur le terrain, confirmant ainsi la fiabilité de notre approche.

### 3.3 Méthode 2 : Détection de la contamination plastique par le script de Copernicus

#### 3.3.1 Description générale du script

Un script développé par MELYKUTI (2019) a été spécialement conçu pour traiter les images de niveau 1C de Sentinel-2 (Annexe 2)<sup>7</sup>. Son objectif est de distinguer les zones terrestres des zones aquatiques en utilisant l'Indice de l'Eau Normalisée (NDWI). Il devrait donc identifier la présence de plastique dans l'eau selon une échelle de couleur allant du bleu foncé au jaune, le bleu foncé indiquant l'absence de contamination. L'indice NDWI se traduit comme suit :

$$NDWI = (B3 - B8)/(B3 + B8)...(VI)$$

Le processus de développement du script a impliqué des tests de différentes méthodes d'apprentissage automatique. Pour l'entraînement, 115 pixels ont été étiquetés, dont 13 présentaient du plastique et 102 n'en présentaient pas. Toutes les 12 bandes (B1-B12) atteignant le fond de l'atmosphère ont été utilisées comme variables explicatives. Les données de marquage du plastique proviennent d'une étude où trois cadres de 10mx10m remplis de matériau plastique ont été placés dans la mer pour un survol unique des satellites Sentinel-1 et -2.

Le développement du script a également abouti à plusieurs réalisations notables :

- Une fonctionnalité écrite en Python3, mise en œuvre dans un notebook Jupyter, permettant de sélectionner et de visualiser les pixels sélectionnés. Leurs valeurs dans les 12 bandes sont extraites ;
- Une implémentation en Python3 utilisant uniquement des opérations de base pour évaluer les modèles d'apprentissage automatique ajustés à partir de Scikit-Learn, testés par rapport aux implémentations Scikit-Learn eux-mêmes ;
- La transformation de l'implémentation de l'auteur pour chaque modèle en code JavaScript pour Sentinel Hub par un code Python3
- La création d'un compartiment de stockage Google Cloud Storage pour héberger divers scripts.

---

<sup>7</sup>[https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ocean\\_plastic\\_detector/](https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ocean_plastic_detector/)

# Matériels et méthodes

## 3.3.2 Téléchargement des images satellitaires

La sélection et le téléchargement des images satellites Sentinel-2 MSI de niveau 1 ont été effectués selon une approche similaire à celle décrite pour la méthode 1. Ce processus a été réalisé en utilisant le centre d'accès libre de Copernicus et de l'ESA (<https://dataspace.copernicus.eu>). Toutefois, une étape supplémentaire a été ajoutée consistant à intégrer le script développé par MELYKUTI (2019) avant le téléchargement des images.

Afin de tirer pleinement parti des données disponibles et de pousser plus loin l'étude, plusieurs images couvrant la période 2023-2024 ont été téléchargées. Cette démarche permet d'explorer plus en détail la répartition spatio-temporelle de la contamination plastique (Tableau 11).

Tableau 11: Liste des images téléchargées après intégration du script.

Nom du fichier de l'image	Date	Saison
2023-02-28-00_00_2023-03-30-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	03/30/2023	Printemps
2023-05-18-00_00_2023-06-18-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	18/06/2023	Printemps
2023-05-28-00_00_2023-06-28-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	28/06/2023	Été
2023-06-23-00_00_2023-07-23-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	23/07/2023	Été
2023-06-26-00_00_2023-07-26-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	26/07/2023	Été
2023-07-07-00_00_2023-08-07-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	27/08/2023	Été
2023-07-12-00_00_2023-08-12-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	12/08/2023	Été
2023-09-06-00_00_2023-10-06-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	06/10/2023	Automne
2023-10-25-00_00_2023-11-25-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	25/11/2023	Automne
2023-11-10-00_00_2023-12-10-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	10/12/2023	Hiver
2024-01-13-00_00_2024-02-13-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	13/02/2024	Hiver
2024-03-18-00_00_2024-04-18-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	18/04/2024	Printemps
2024-04-03-00_00_2024-05-03-23_59_Sentinel-2_L1C_Custom_script.kmz	03/05/2024	Printemps

## Matériels et méthodes

---

### 3.3.3 Traitement et cartographie des images du script

Afin d'ouvrir les images téléchargées du script sur ENVI, une conversion au format ENVI a été effectuée via ArcMap. Par la suite, une classification supervisée des images dans ENVI a été réalisée par l'utilisation de l'algorithme Maximum Likelihood, en distinguant une classe soupçonnant la contamination plastique et une autre ne présentant aucune suspicion de contamination. Cette classification a impliqué la création d'une région d'intérêt (ROI) pour chaque classe et la sélection d'échantillons représentatifs. Pour le découpage de la zone d'étude, un masque "Zone d'étude" est appliqué. Les étapes suivantes ont été suivies:

1- Sur ArcMap:

- Click droit > Data > Export Data...>Format ENVI

2- Sur ENVI :

- ROI > New ROI
- Toolbox > Classification > Supervised Classification > Maximum Likelihood Classification
- Toolbox > Regions Of Interest > Subset data from ROI

Il convient de noter que la classification a été effectuée exclusivement sur les images ayant la même date que notre période d'étude. Cette approche a été adoptée afin de garantir la cohérence temporelle des données et de permettre une comparaison précise des résultats. Les autres images provenant de différentes dates ont été conservées pour une analyse spatio-temporelle ultérieure, afin d'évaluer l'évolution de la contamination plastique dans la région d'étude. De plus, pour chaque image téléchargée, une carte a été générée sur ArcMap dans le but de faciliter cette analyse spatio-temporelle.

### 3.4 Etude de l'occupation du sol

Afin d'identifier les sources potentielles des débris plastiques flottants et d'interpréter les résultats de la détection de manière plus précise et contextualisée, une étude de l'occupation du sol dans les wilayas d'Alger, de Boumerdes et de Tipaza a été menée. Cette étude fournit un cadre spatial permettant de relier les observations aux activités anthropiques, afin de mieux comprendre comment ces dernières peuvent contribuer à la présence de déchets plastiques. Pour ce faire, nous avons opté pour une classification supervisée en utilisant le logiciel ENVI.

## Matériels et méthodes

---

### 3.4.1 Acquisition des données

Les images satellitaires Sentinel-2 MSI de niveau 2A utilisées pour l'étude de l'occupation du sol ont été téléchargées via le centre d'accès libre de Copernicus et de l'ESA (<https://dataspace.copernicus.eu>). La date des images sélectionnées correspond à celle choisie pour l'image du printemps, afin de bénéficier de la couverture nuageuse la plus faible. Trois images ont été nécessaires pour couvrir intégralement les trois wilayas d'Alger, Boumerdes et Tipaza (Tableau 12).

Tableau 12: Liste des images Sentinel-2 capturées au-dessus des trois wilayas.

Nom du fichier de l'image
S2B_MSIL2A_20230325T102649_N0509_R108_T31SEA_20230325T133051.SAFE
S2B_MSIL2A_20230325T102649_N0509_R108_T31SDA_20230325T133051.SAFE
S2B_MSIL2A_20230328T103639_N0509_R008_T31SCA_20230328T134002.SAFE

### 3.4.2 Prétraitement des images Sentinel-2

#### 3.4.2.1 Empilement des bandes (Layer stacking)

Le layer stacking permet de regrouper plusieurs bandes en une seule image multispectrale, simplifiant ainsi les manipulations ultérieures.

- Toolbox > Raster Management > Layer Stacking

#### 3.4.2.2 Resampling-Reprojection-Mosaicking

Après avoir effectué un rééchantillonnage à une résolution spatiale de 10 mètres et une reprojection géodésique, un mosaïquage a été réalisé pour obtenir une représentation complète et cohérente de la wilaya de Tipaza (Figure 17).

- Raster > Geometric > Resampling
- Raster > Geometric > Reprojection
- Raster > Geometric > Mosaicking



Figure 17 : Résultat du Mosaïquage de la wilaya de Tipaza.

### 3.4.2.3 Découpage de l'image

Pour extraire uniquement les trois wilayas, les images utilisées ont été découpées en fonction d'un vecteur représentant les limites administratives de ces dernières.

- Toolbox > Regions Of Interest > Subset data from ROIs

### 3.4.3 Traitement des images Sentinel-2

#### 3.4.3.1 Sélection des régions d'intérêts (ROI)

La sélection des régions d'intérêt implique de choisir au moins 20 pixels représentatifs sur le plan spectral dans chaque ROI. Ces ROIs sont définies à l'écran en numérisant les pixels/polygones pour chaque classe spectrale. L'extraction automatique des valeurs de pixels contenues à l'intérieur de ces dernières ainsi que le calcul de leur moyenne et de leur écart-type, permettront de générer la signature spectrale de chaque classe à partir des bandes sélectionnées des images Sentinel-2. Cinq classes ont donc été choisies : Eau, sols nus, terres agricoles, urbanisation et végétation, comme indiquées dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Nombre des échantillons de chaque classe.

Classes	Alger	Tipaza	Boumerdes
<b>Eau</b>	31	68	95
<b>Sols nus</b>	119	41	88
<b>Terres agricoles</b>	334	100	100
<b>Urbanisation</b>	569	110	111
<b>Végétation</b>	146	103	101

### 3.4.3.2 Classification par l'algorithme du Maximum Likelihood

La méthode de classification supervisée par la procédure du maximum de vraisemblance implique de comparer la signature spectrale de chaque pixel dans les bandes sélectionnées avec celles des régions d'intérêts, puis d'assigner chaque pixel à la classe dont la signature spectrale est la plus similaire (DERDJINI, 2017).

- Toolbox > Classification > Supervised Classification > Maximum Likelihood Classification

### 3.4.4 Cartographie

Une fois la classification terminée, les résultats sont importés dans ArcMap sous format ENVI, puis un calcul des superficies et des pourcentages de chaque classe est effectué. A partir de ces données, des cartes ont été générées pour les trois wilayas dans le but d'une analyse ultérieure de l'occupation du sol. Pour ce faire, les étapes suivantes ont été suivies :

- Conversion de l'image raster en vecteur :  
ArcToolbox> Conversion tools > From Raster > Raster to Polygon
- Fusionnement des classes:  
Geoprocessing> Dissolve
- Calcul des superficies de chaque classe:CalculateGeometry

Pour calculer les superficies et pourcentages de chaque classe dans les communes côtières des trois wilayas, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Découpage du vecteur de la classification supervisée selon celui des communes côtières : Geoprocessing> Clip
- Calcul de l'union géométrique de la classification découpée et du vecteur des communes côtières : Geoprocessing> Union
- Calcul des superficies et des pourcentages

# Résultats et discussion

### **4 RESULTATS ET DISCUSSION**

Les débris plastiques connaissent une augmentation rapide dans les environnements côtiers et océaniques, soulignant le besoin urgent de suivi continu et de surveillance, ainsi que la mise en œuvre de mesures préventives. Cette étude examine l'efficacité du satellite Sentinel-2 dans la surveillance des débris plastiques, en se concentrant sur le littoral Algérois comme zone d'étude. En parallèle, elle propose une analyse critique de la gestion actuelle des déchets marins par les textes juridiques, accompagnée de recommandations spécifiques pour une gestion durable des déchets plastiques en Algérie. Ce chapitre présente les résultats de la présente étude ainsi que leur interprétation.

#### **4.1 Méthode 1 : Détection des débris macroplastiques par des indices spectraux**

##### **4.1.1 Identification des débris plastiques**

Le premier élément à noter est que la détection de pixels de plastique a été réalisée avec succès à partir des images satellitaires Sentinel-2 A et B de niveau 2. Non seulement les matériaux plastiques ont pu être détectés, mais également d'autres matériaux flottants tels que des bateaux, des navires, des fermes aquacoles, etc. Après vérification, le nombre de pixels de plastique a été limité à 26 pixels.

Suite à l'analyse de l'ensemble des images satellitaires couvrant les zones et la période d'étude, les résultats du Tableau 14 ont été obtenus. Par la suite, la surface en mètres carrés correspondant au nombre de pixels de plastique suspects a été estimée (chaque pixel représentant 100 m<sup>2</sup> de plastique), ainsi que leur masse (Tableau 15). Enfin, pour mieux visualiser la répartition spatio-temporelle du plastique dans les zones d'étude, des cartes ont été élaborées pour chaque saison (Figure 18).

## Résultats et discussion

Tableau 14: Tableau récapitulatif du nombre de pixels de plastique trouvé par image satellitaire.

Zone d'étude	Printemps (25/03/2023)	Été (12/08/2023)	Automne (06/10/2023)	Hiver (03/02/2024)	Nombre de pixels plastiques suspects total
Baie d'Alger	0	0	0	3	3
Baie de Zemmouri	3	2	9	0	14
Baie de Bou Ismail	2	2	2	3	9
<b>Nombre de pixels plastiques suspects total</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	

Tableau 15: Estimation de la surface et la masse du plastique détecté.

Saison	Baie d'Alger (m <sup>2</sup> )	Baie de Zemmouri (m <sup>2</sup> )	Baie de Bou Ismail (m <sup>2</sup> )	Superficie totale (m <sup>2</sup> )
<b>Printemps (25/03/2023)</b>	0	300	200	500
<b>Été (12/08/2023)</b>	0	200	200	400
<b>Automne (06/10/2023)</b>	0	900	200	1100
<b>Hiver (03/02/2024)</b>	300	0	300	600
<b>Masse de plastique (kg)</b>	<b>1500</b>	<b>7000</b>	<b>4500</b>	<b>13 000</b>

Lors du calcul du poids du plastique, l'échelle utilisée est celle de ΚΙΚΑΚΙΕΤ al. (2020), qui équivaut à une masse plastique de 5000 tonnes/km<sup>2</sup>, soit 5 kg/m<sup>2</sup>.

## Résultats et discussion

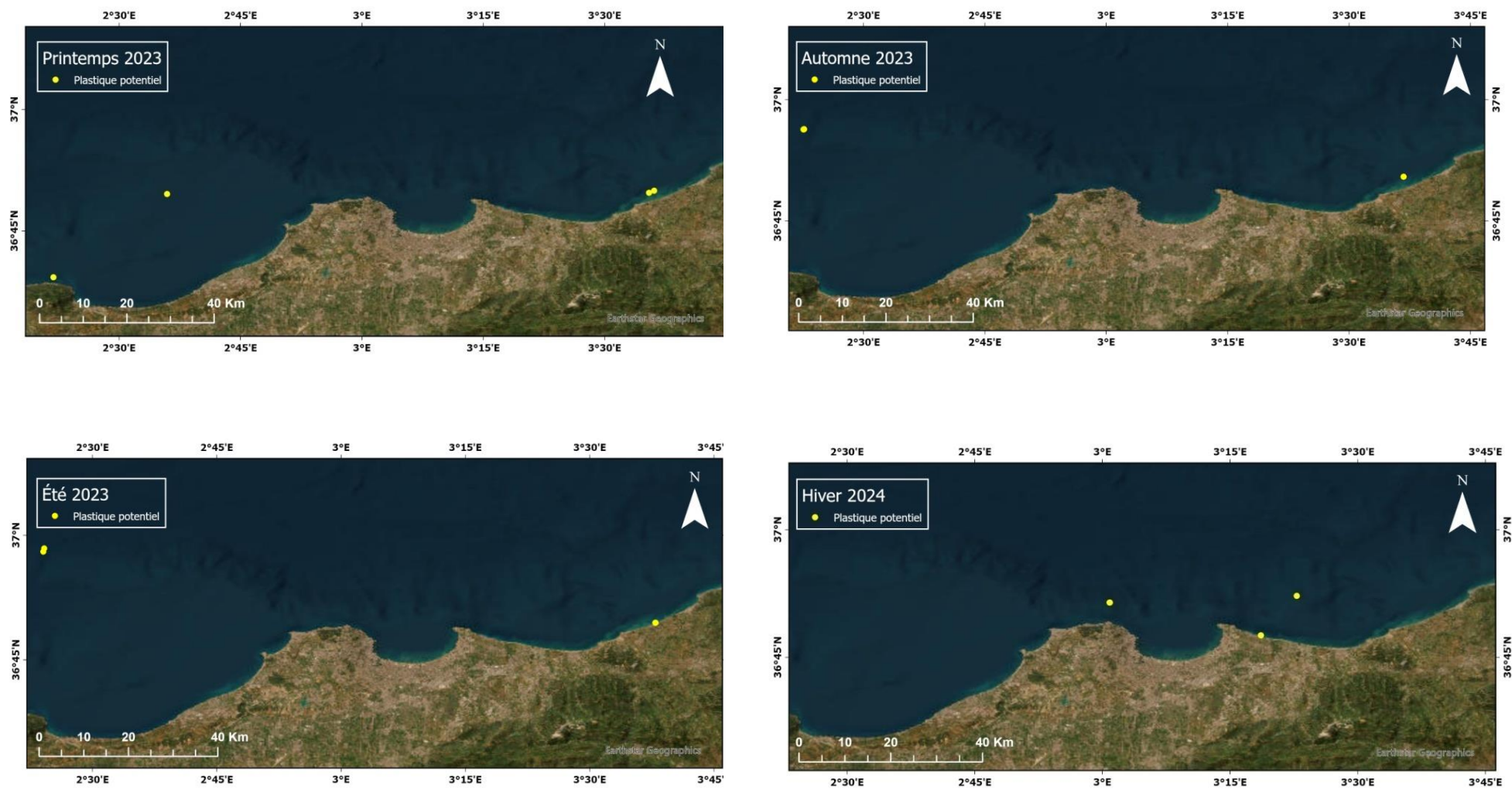


Figure 18: Cartes représentant la répartition des débris plastiques potentiels pour chaque saison.

## Résultats et discussion

---

La présence de déchets marins flottants dans la zone d'étude au niveau de la baie d'Alger devrait être la plus conséquente vu l'activité industrielle importante au niveau de la baie et sa morphologie semi-circulaire. Pourtant, c'est la zone où le moins de pixels de plastique suspects ont été détectés (3 pixels), selon la définition restrictive et où la part de la surface de plastique estimée par rapport à la surface de mer de l'image est la moins élevée. Cela pourrait être lié à l'efficacité des mesures de gestion des déchets mises en place dans la wilaya ainsi que le traitement des eaux usées. De plus, le courant algérien, qui longe la côte d'ouest en est, pourrait également empêcher l'accumulation de plastique sur les côtes en entraînant les débris vers le large.

La présence de déchets marins flottants dans la baie de Zemmouri est cependant la plus élevée (14 pixels), avec une accumulation significative près de l'embouchure de l'oued Isser durant le printemps, l'été et l'automne. Cette situation pourrait s'expliquer par une quantité importante de plastique charriée par cet oued ainsi que par l'exposition aux courants marins et aux vents, qui favoriseraient l'accumulation de débris plastiques flottants à cet endroit. De plus, la baie de Zemmouri est moins développée sur le plan industriel et urbain, d'où probablement une réduction des mesures de gestion des déchets et augmentation de la quantité de débris plastiques rejetés dans l'environnement marin sans traitement.

Au niveau de la baie de Bou Ismail, bien que la présence de déchets marins flottants soit inférieure à celle détectée dans la baie de Zemmouri (9 pixels), elle dépasse celle observée dans la baie d'Alger. Ça pourrait être renvoyé à l'influence de la baie de Bou Ismail par les courants marins et aux vents qui favoriseraient l'accumulation de débris plastiques flottants en ces endroits. De plus, les activités industrielles et surtout touristiques, dues à la présence de nombreuses plages dans les deux baies de Zemmouri et de Bou Ismail par rapport à celle d'Alger, contribuent également à la pollution plastique.

Les variations saisonnières dans la détection des débris plastiques par satellite sont aussi importantes à noter (Tableau 15).

Au printemps, la détection de 500 m<sup>2</sup> de débris plastiques pourrait être attribuée à plusieurs facteurs. Cette période est caractérisée par un afflux potentiel de visiteurs sur les côtes pour les vacances, ce qui pourrait entraîner une augmentation des déchets plastiques rejetés dans l'environnement côtier. De plus, le printemps est également associé à des conditions météorologiques plus clémentes, favorisant ainsi les activités de navigation et de pêche, ce qui pourrait contribuer à l'accumulation de débris plastiques en mer.

## Résultats et discussion

---

En été, bien que la détection de 400 m<sup>2</sup> de débris plastiques soit légèrement inférieure, cela pourrait encore refléter une activité côtière accrue due aux vacances estivales. Les plages et les zones côtières sont souvent plus fréquentées pendant cette période, ce qui peut conduire à une augmentation des déchets plastiques abandonnés ou échoués. De plus, il est important de noter que durant l'été, les plages sont également soumises à des opérations de nettoyage plus fréquentes en prévision de l'arrivée des estivants, contrairement au printemps où ces activités d'entretien sont moins courantes. Ainsi, il est possible que cette intensification des efforts de nettoyage contribue à la réduction de la quantité de plastique détectée.

En automne, la détection de 1100 m<sup>2</sup> de débris plastiques est attribuée aux conditions océaniques et météorologiques variables. Cette saison est caractérisée par des tempêtes plus fréquentes et des courants marins changeants, ce qui peut entraîner une concentration de débris plastiques dans certaines zones côtières.

Enfin, en hiver, bien que la détection de 600 m<sup>2</sup> de débris plastiques soit légèrement inférieure à celle de l'automne, cela pourrait être dû aux conditions météorologiques plus agitées. Les tempêtes hivernales et les vents forts peuvent contribuer à la dispersion des débris plastiques, les éloignant potentiellement des zones côtières.

Selon la base de données de TheOceanCleanup, la quantité de plastique émise dans la baie d'Alger, la baie de Bou Ismail et la baie de Zemmouri est estimée à environ 900 000, 330 000 et 250 000 kilogrammes par an, respectivement. Nos observations révèlent les chiffres journaliers suivants: une couverture plastique de 300 m<sup>2</sup> dans la baie d'Alger, estimée à 1500 kg, 900 m<sup>2</sup> dans la baie de Bou Ismail, estimée à 7000 kg, et 1400 m<sup>2</sup> dans la baie de Zemmouri, estimée à 4500 kg (Tableau 15). Une comparaison directe entre ces valeurs n'est pas possible. Néanmoins, il est important de noter les différences méthodologiques suivantes :

- Les méthodologies de collecte de données et de calcul utilisées dans notre étude diffèrent de celles de la base de données de TheOceanCleanup, ce qui peut conduire à des résultats divergents.
- Les chiffres annuels fournis par TheOceanCleanup peuvent représenter une moyenne sur plusieurs années, tandis que nos estimations sont basées sur des observations ponctuelles et journalières pour chaque saison.
- Les conditions environnementales telles que les courants marins, les marées et les pratiques de gestion des déchets peuvent influencer la distribution et la concentration

## Résultats et discussion

---

du plastique dans notre zone d'étude, ce qui peut expliquer les différences entre les données estimées et observées.

- Une limitation dans la méthodologie, notamment la résolution spatiale de 10 mètres, peut également avoir un impact sur la précision des estimations.

Un autre paramètre peut avoir un impact sur la réponse spectrale des pixels plastiques ou la capacité de détection : les matériaux humides produisent une réponse significativement plus faible que les matériaux secs (TOPOUZELIS *et al.*, 2020). Il se pourrait que les débris plastiques fussent significativement mouillés voire légèrement submergés lorsqu'ils étaient déployés en mer, ce qui aurait pu entraver leur détection par le satellite.

### 4.1.2 Limitations rencontrées

En raison du caractère novateur de ce domaine de recherche, la détection des débris plastiques à partir de données satellitaires présente certainement des faiblesses qui peuvent influencer la fiabilité et la précision des résultats obtenus.

Parmi les limites méthodologiques rencontrées lors de cette étude, la résolution spatiale limitée à 10 mètres est un facteur clé. Cette résolution peut réduire la capacité à détecter les débris plastiques les plus petits, ce qui pourrait sous-estimer l'ampleur réelle de la pollution plastique dans notre zone d'étude. En conséquence, certains débris pourraient échapper à la détection, compromettant ainsi la représentativité des données recueillies.

De plus, la couverture nuageuse relativement élevée dans certaines images lors du téléchargement des données, a limité notre étude au niveau temporel, rendant ainsi les images disponibles moins intéressantes pour l'analyse et donc une perte d'informations sur la distribution des débris plastiques.

Un autre défi rencontré est le temps nécessaire au traitement des images satellitaires. Dans certains cas, une seule image pouvait prendre jusqu'à une semaine pour être traitée et analysée. Cette contrainte de temps limite le nombre d'images pouvant être analysées, ce qui restreint la fréquence et la couverture temporelle des observations. C'est, par ailleurs, la raison majeure pour laquelle nous avons choisi une image par saison.

De plus, le traitement des données satellitaires nécessite une grande quantité d'espace de stockage sur l'ordinateur. Cette contrainte a limité les images satellitaires utilisées lors de notre étude, ce qui peut affecter la représentativité et la validité des résultats obtenus.

## Résultats et discussion

L'absence de validation in-situ constitue également une limite significative. Notre étude porte principalement sur des données de l'année précédente. Dans ce contexte, il n'était pas possible de réaliser une validation in-situ en temps réel. Cela introduit donc une incertitude dans les résultats.

Enfin, nous constatons des confusions avec d'autres matériaux flottants, tels que des bateaux, des navires et des fermes aquacoles. Cette confusion a nécessité une analyse manuelle pour distinguer les débris plastiques des autres matériaux, ce qui était contraignant.

### 4.2 Méthode 2 : Détection de la contamination plastique par le script de Copernicus

Le premier aspect à souligner est que le prototype du script développé par les services Copernicus permet effectivement de détecter la contamination plastique potentielle à partir des images Sentinel-2 téléchargées. L'analyse de ces images a permis l'élaboration de cartes représentant la répartition spatio-temporelle de la contamination plastique potentielle durant l'année 2023-2024, dont celles couvrant les zones et la période d'étude (Figure 19), afin d'étudier la variabilité temporelle de la contamination à une échelle plus fine, en fonction de la disponibilité des images. La couleur jaune des images correspond aux pixels contaminés par la pollution plastique, l'intensité de la couleur dépend de l'abondance de ces derniers.

La classification supervisée est cruciale pour visualiser de manière concrète la distribution spatiale de la contamination plastique potentielle au fil des quatre saisons (Figure 20), ainsi que pour quantifier cette contamination. Néanmoins, la tentative de quantification n'a pas été très fructueuse en raison de la présence de pixels mixtes comme indiqué dans le Tableau 16. Ces pixels ont conduit à une surestimation de la contamination plastique dans certaines régions et saisons par exemple le printemps, et à une sous-estimation dans d'autres comme l'automne. De ce fait, ces résultats n'ont pas été discutés, et seule la distribution spatiale a été abordée en détail.

Tableau 16: Quantification de la contamination plastique potentielle.

Zone d'étude	Printemps (25/03/2023)	Été (12/08/2023)	Automne (06/10/2023)	Hiver (03/02/2024)
<b>Nombre de pixels « Contamination potentielle »</b>	1 471 583	1 375 686	16 694	208 547
<b>Nombre de pixels « Non-contamination »</b>	295 010	390 907	1 749 899	1 558 046
<b>Superficie totale de contamination potentielle (km<sup>2</sup>)</b>	3210,45	3001	36,42	455
<b>% Contamination plastique</b>	83,3	77,87	0,94	11,81

## Résultats et discussion

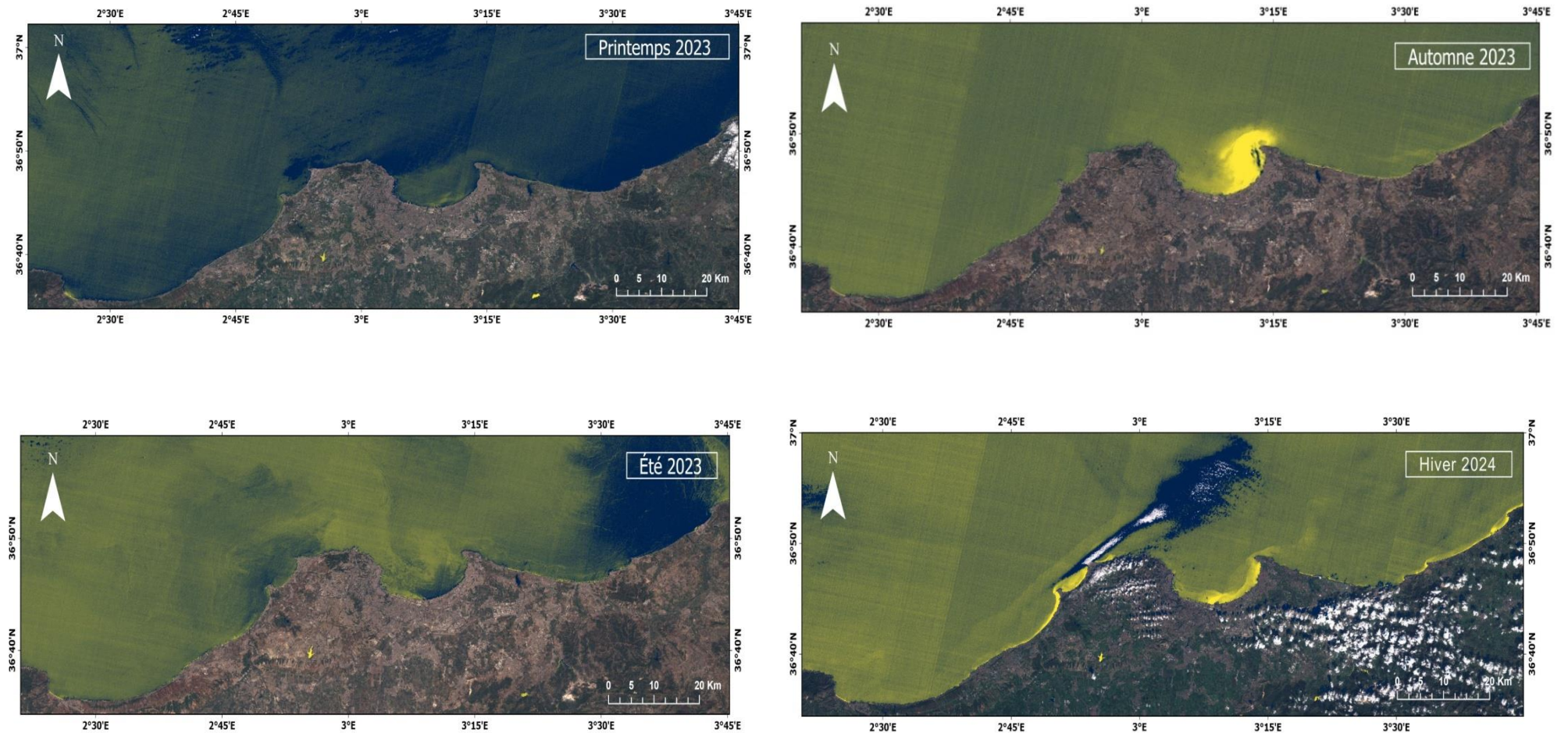


Figure 19: Cartes représentant la répartition de la contamination plastique potentielle pour chaque saison sur une échelle bleu foncé/jaune (le bleu foncé représente l'absence de contamination, le jaune correspond à la présence de plastique).

## Résultats et discussion

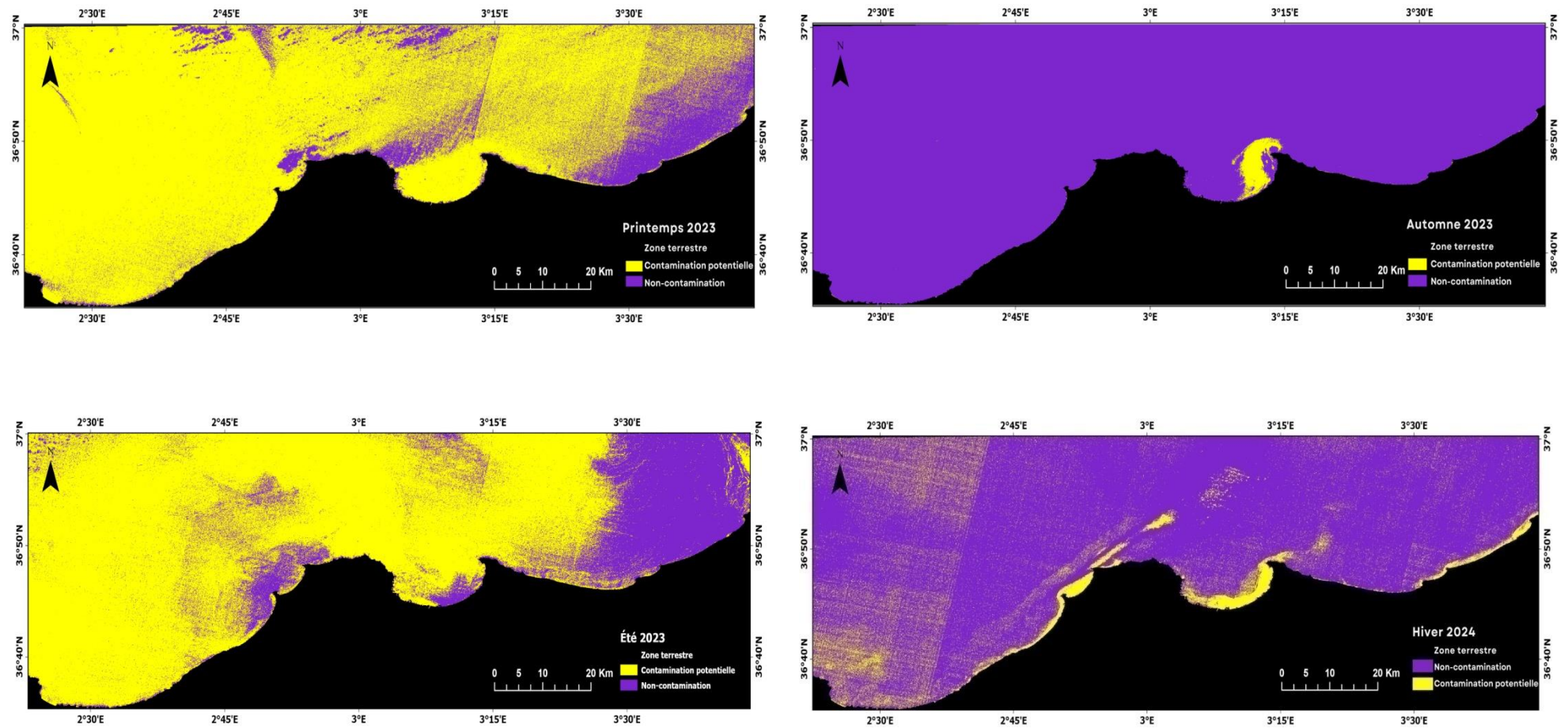


Figure 20: Cartes représentant le résultat de la classification supervisée de la contamination plastique potentielle pour chaque saison.

## Résultats et discussion

---

Au printemps, une faible contamination plastique est observée dans les deux baies de Bou Ismail et d'Alger, ce qui pourrait s'expliquer par les conditions météorologiques favorables, telles que des faibles précipitations entraînant un ruissellement minimal des déchets plastiques depuis les zones urbaines et industrielles vers les deux baies. De plus, les courants marins actifs peuvent jouer un rôle crucial en aidant à disperser tout déchet présent et à prévenir une accumulation significative le long des rivages.

En été, une augmentation notable de la contamination plastique est observée, en particulier le long de la Baie d'Alger et de la Baie de Bou Ismail. Les taches jaunes se sont étendues, couvrant une plus grande partie du littoral Algérois par rapport au printemps. Cette augmentation peut être attribuée à l'augmentation significative des activités récréatives et touristiques, surtout au niveau de la baie de Bou Ismail, avec des plages plus fréquentées, augmentant ainsi la quantité de déchets produits et potentiellement mal gérés. De plus, la direction des courants marins vers l'ouest joue un rôle crucial en facilitant la dispersion des déchets plastiques le long de la côte.

En automne, une contamination plastique particulièrement concentrée est remarquée au niveau de la Baie d'Alger. Cela pourrait être la conséquence de l'intensité de l'activité industrielle et la forte urbanisation autour de la baie, contribuant ainsi à une production élevée de déchets plastiques. Les précipitations abondantes de la saison ont entraîné un ruissellement considérable de ces déchets depuis les zones urbaines et industrielles vers la baie. De plus, la morphologie semi-circulaire de la baie a limité la dispersion des déchets plastiques, favorisant leur accumulation près des zones portuaires et des embouchures des oueds d'El Hamiz et d'El Harrach. En revanche, les autres baies comme Bou Ismail, El Djamila et Zemmouri ont présenté une contamination moindre, probablement en raison des activités industrielles moins intenses.

En hiver, une contamination plastique modérée est constatée le long du littoral. La région centrale de la Baie d'Alger (embouchures des oued El Harrach et El Hamiz), la baie d'El Djamila et l'est de la baie de Boumail (embouchure des oueds Beni Messous et Mazafran) présentent la contamination la plus significative, principalement concentrée près des zones urbaines et industrielles, probablement en raison de l'activité humaine élevée et du ruissellement provenant des régions urbanisées. Dans les baies de Boumerdes et de Bou Ismail, la contamination semble moins intense mais est toujours présente. Cette situation est vraisemblablement liée aux tempêtes hivernales, qui peuvent entraîner une accumulation notable de débris plastiques le long des côtes.

## Résultats et discussion

---

En comparant les résultats qualitatifs des deux méthodes utilisées, à savoir celle qui détecte les débris macroplastiques à l'aide d'indices spectraux et celle qui identifie la contamination plastique via le script développé par Copernicus, nous constatons que les pixels identifiés par la première méthode correspondent bien aux zones de contamination plastique potentielle indiquées par la deuxième méthode. Cependant, l'intensité de la contamination varie entre les deux méthodes. Cette divergence pourrait s'expliquer par le fait que la deuxième méthode ne détecte probablement pas uniquement les macroplastiques, mais aussi d'autres formes de débris plastiques.

Concernant l'étude temporelle plus détaillée de la répartition de la contamination plastique potentielle le long du littoral algérois au cours de l'année 2023 à 2024, nous avons identifié deux phases distinctes (Figure 21 et Figure 22).

La première phase, allant de fin mars 2023 au début août 2023, montre une faible contamination plastique le long des trois baies, avec des niveaux minimaux observés, notamment le 26 juillet 2023. Cette faible contamination peut être expliquée par les conditions météorologiques favorables, avec de faibles précipitations, et donc un ruissellement minimal des déchets plastiques. De plus, les mesures de la collecte des déchets avant la haute saison touristique réduisent la production de déchets plastiques.

La deuxième phase, allant de mi-août 2023 au début mai 2024, révèle une augmentation significative de la contamination plastique, avec des pics notables le 6 octobre 2023 et le 25 novembre 2023. Lors de ces périodes, une concentration élevée de déchets plastiques a été constatée, d'abord dans la Baie d'Alger puis le long du littoral algérois. Cette augmentation peut être due à l'activité touristique et récréative accrue à la fin de l'été et au début de l'automne avec une fréquentation plus importante des plages et donc une production accrue de déchets plastiques, souvent mal gérés. Les conditions météorologiques défavorables, avec des précipitations abondantes en automne et en hiver, et donc un ruissellement considérable des déchets plastiques depuis les zones urbaines et industrielles vers les baies est un facteur clé. Il est important également de signaler l'importance des courants marins dans la dispersion de la pollution plastique.

## Résultats et discussion

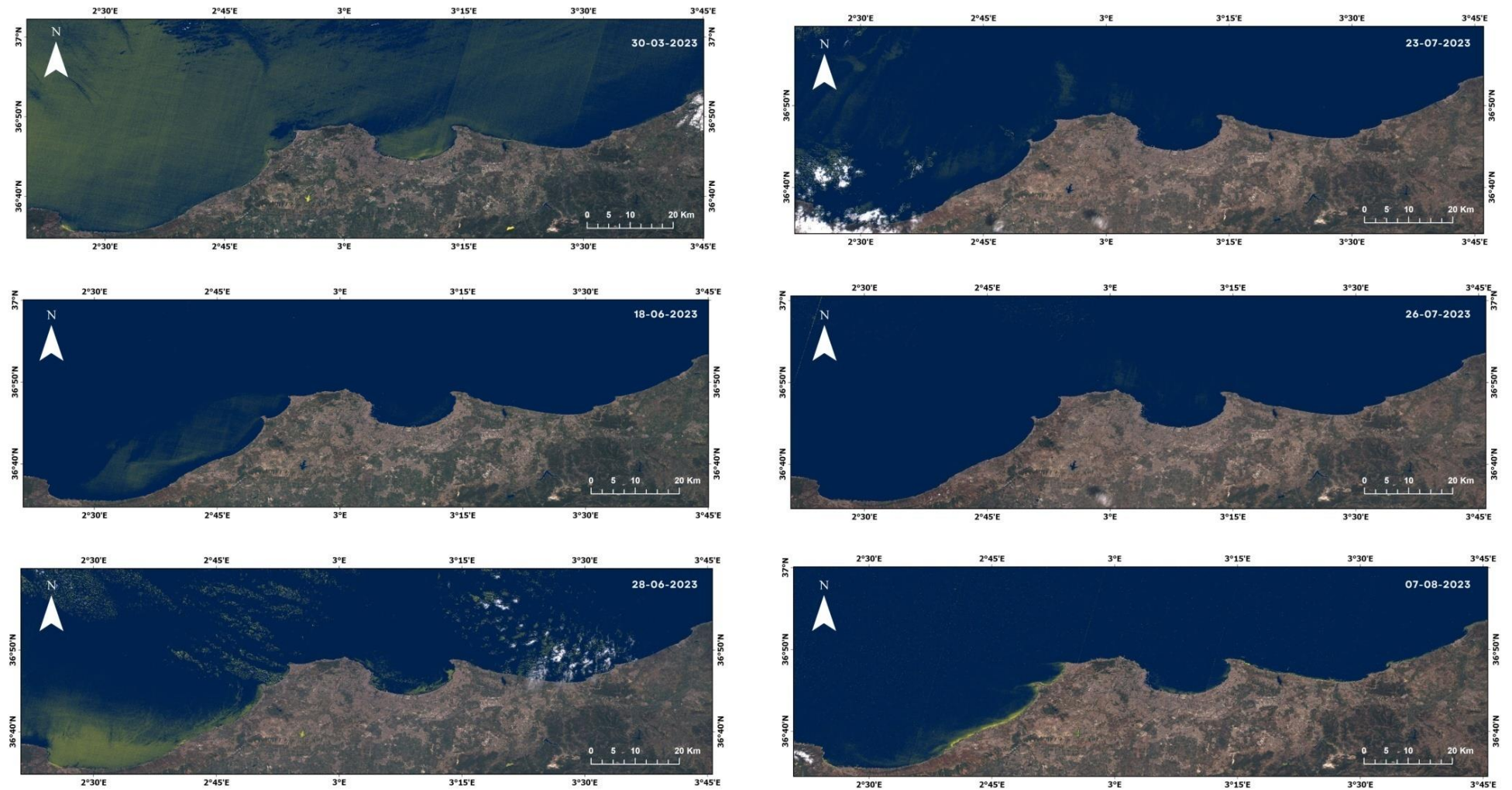


Figure 21 : Cartes représentant la répartition spatio-temporelle de la contamination plastique potentielle durant l'année 2023-2024 sur une échelle bleu foncé/jaune (le bleu foncé représente l'absence de contamination, le jaune correspond à la présence de plastique).

## Résultats et discussion

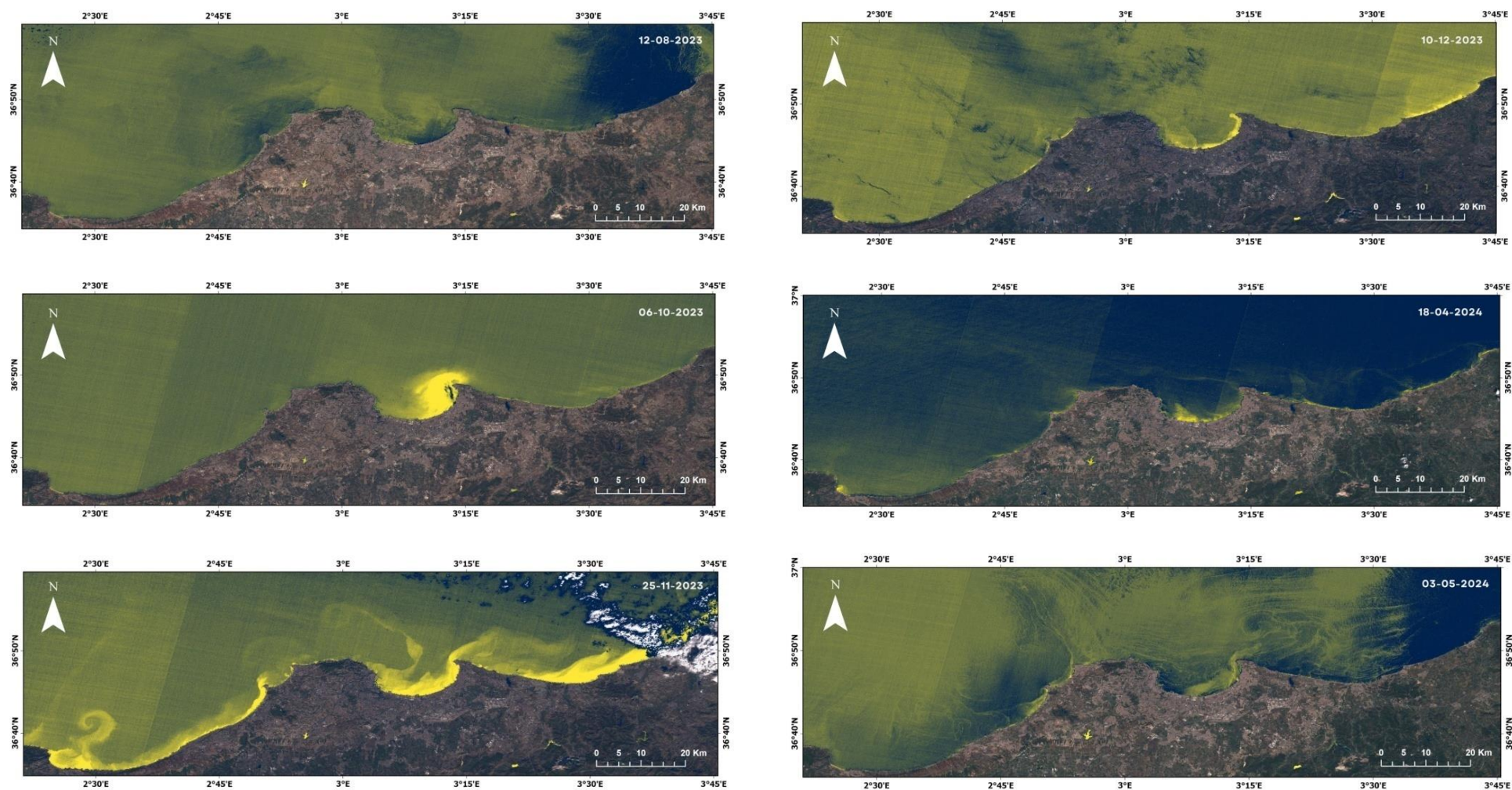


Figure 22 : Cartes représentant la répartition spatio-temporelle de la contamination plastique potentielle durant l'année 2023-2024 sur une échelle bleu foncé/jaune (le bleu foncé représente l'absence de contamination, le jaune correspond à la présence de plastique).

# Résultats et discussion

## 4.3 Etude des sources de pollution

### 4.3.1 Etude de l'occupation du sol

L'analyse des cartes élaborées après la classification supervisée pour les wilayas d'Alger, de Boumerdes et de Tipaza révèle une variabilité significative dans l'occupation des sols, ce qui indique des sources potentielles de pollution plastique différentes sur le littoral Algérois (Figure 23, Figure 24, Figure 25). L'interprétation des superficies et pourcentages calculés pour les cinq classes : eau, sols nus, terres agricoles, urbanisation et végétation, comme indiqué dans la Figure 26, met en lumière cette diversité.

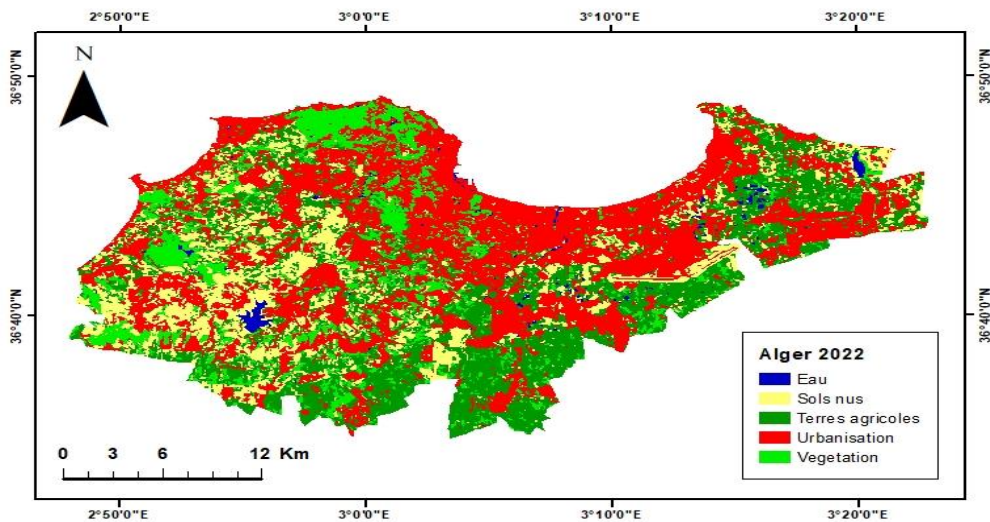


Figure 23 : Cartes d'occupation du sol de la wilaya d'Alger.

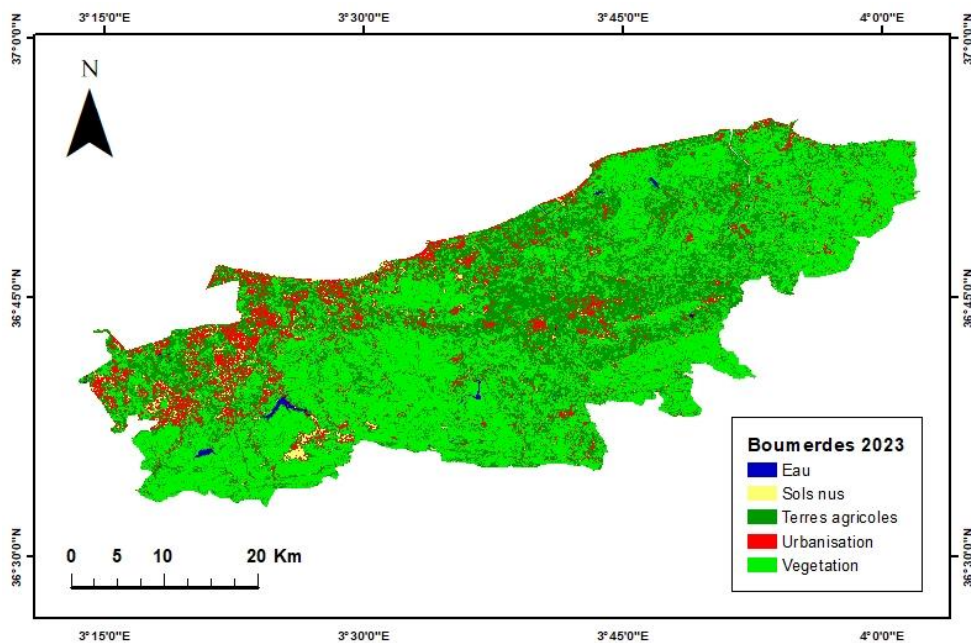


Figure 24 : Cartes d'occupation du sol de la wilaya de Boumerdes.

# Résultats et discussion

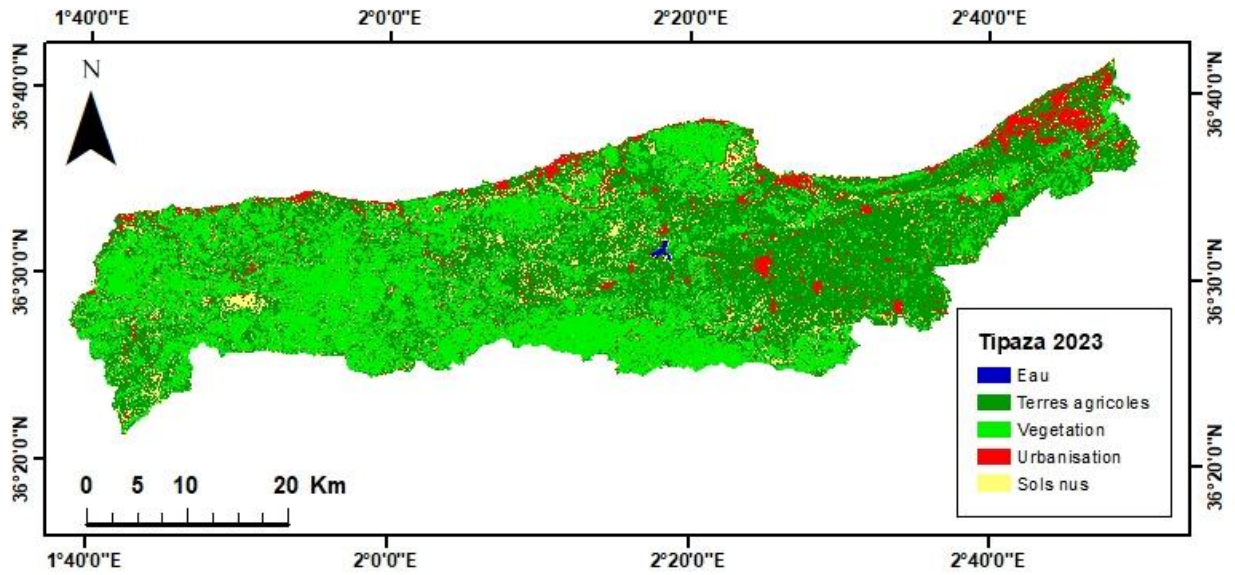


Figure 25 : Cartes d'occupation du sol de la wilaya de Tipaza.

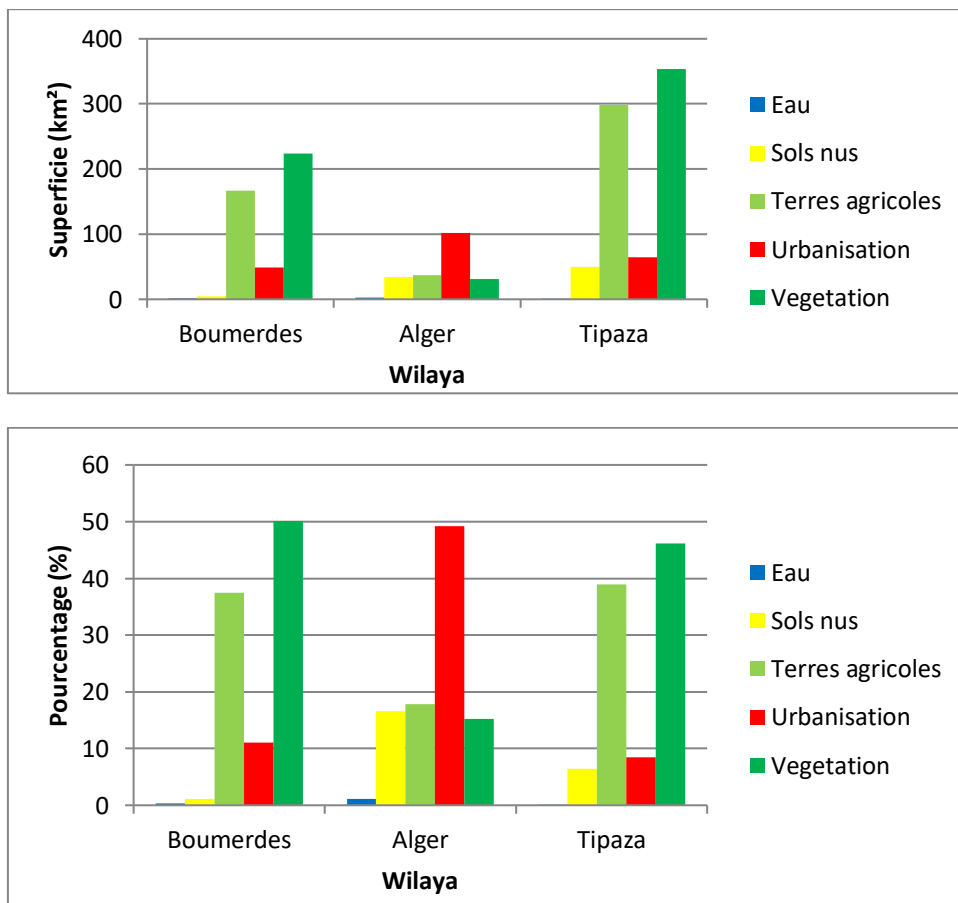


Figure 26 : Superficies et pourcentages des classes d'occupation du sol dans les communes côtières des trois wilayas.

## Résultats et discussion

---

### 4.3.1.1 Alger

À Alger, la forte urbanisation est particulièrement évidente dans les zones côtières et centrales. Les données montrent que l'urbanisation représente environ 50 % de la superficie totale de ses communes côtières, soit environ 100 km<sup>2</sup>. Cette densité urbaine est une source majeure de pollution plastique marine en raison de la concentration de population, des activités industrielles et d'une gestion souvent inadéquate des déchets solides. La proximité de ces zones urbanisées avec la côte facilite le transport des débris plastiques vers le littoral par le vent, les cours d'eau (Oued El Hamiz et Oued El Harrach) et les systèmes de drainage urbains.

La présence de végétation et de terres agricoles en périphérie, couvrant également environ 20 % (~24 km<sup>2</sup>), peut agir comme un tampon, capturant certains débris plastiques. Cependant, les sols nus, qui représentent près de 15 % (25 km<sup>2</sup>), peuvent contribuer à la dispersion des déchets car il est dépourvu de couverture végétale, il est donc plus susceptible d'être érodé par l'eau et le vent. Ce processus peut entraîner le déplacement de déchets, y compris les débris plastiques.

### 4.3.1.2 Boumerdes

À Boumerdes, la végétation et les terres agricoles prédominantes couvrent près de 80 % de la superficie totale des communes côtières, soit environ 350 km<sup>2</sup>, indiquant une couverture végétale dense qui peut limiter la dispersion des plastiques en agissant comme une barrière physique. Cependant, la dégradation des plastiques peut toujours se produire et affecter les sols et les cours d'eau.

L'urbanisation, bien que moins dense qu'à Alger, est présente le long de la côte et à l'ouest de la wilaya, représentant environ 10 % de la superficie totale, soit environ 50 km<sup>2</sup>. Même une urbanisation modérée peut contribuer à la pollution plastique, en particulier dans les zones côtières où les déchets peuvent rapidement atteindre la mer à travers les cours d'eau tels que l'Oued de Réghaia, Boudouaou, Corso, Boumerdes et Isser.

### 4.3.1.3 Tipaza

À Tipaza, la couverture végétale et agricole est dominante, représentant environ 75 % de la superficie totale des communes côtières, soit environ 650 km<sup>2</sup>, ce qui peut aider à limiter la dispersion des plastiques vers la mer. Cependant, l'urbanisation, bien que moins étendue

## Résultats et discussion

comparée aux autres wilayas, couvre environ 10 % de la superficie totale, soit environ 35 km<sup>2</sup>, principalement le long des axes principaux et de la côte.

La forte présence de terres agricoles, couvrant environ 30 % de la superficie totale, soit environ 105 km<sup>2</sup>, implique que les pratiques agricoles peuvent être une source significative de pollution plastique. Notamment, la dégradation des serres agricoles sous l'effet de l'irradiation solaire est une source potentielle de microplastiques. Ces derniers, une fois libérés, sont susceptibles d'être transportés vers la mer par les vents dominants, contribuant ainsi à la contamination des écosystèmes marins. La faible proportion de sols nus, environ 5 %, soit environ 50 km<sup>2</sup>, est également notable.

### 4.3.2 Autres sources de pollution

Pour obtenir une vue globale des diverses sources de pollution plastique, nous avons élaboré ces cartes récapitulatives pour chaque wilaya (Alger, Boumerdes, Tipaza) (Figure 27, Figure 28, Figure 29) dont les données démographiques sont estimées à partir du recensement de 2008 réalisé par l'Office National des Statistiques (ONS), tandis que les informations relatives aux zones industrielles sont tirées des travaux de recherche d'AROOUR (2014).

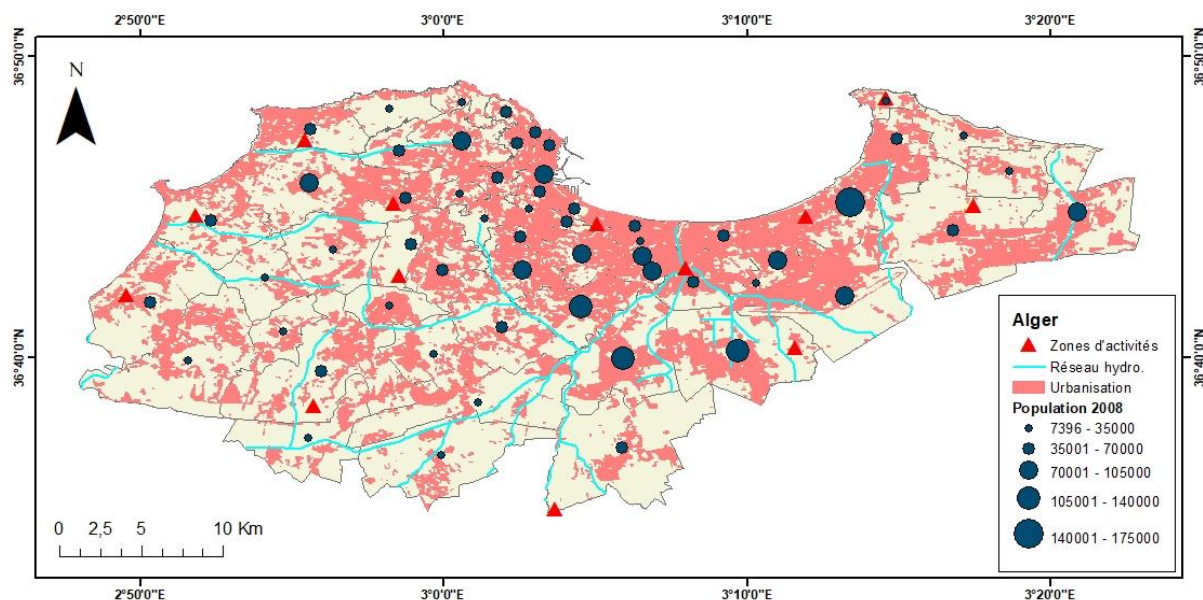


Figure 27 : Carte des sources de pollution dans la wilaya d'Alger.  
(Sources des données : démographie : ONS (2008), zones industrielles : AROOUR (2014), réseau hydrographique : digitalisation à partir de GoogleEarth 2024)

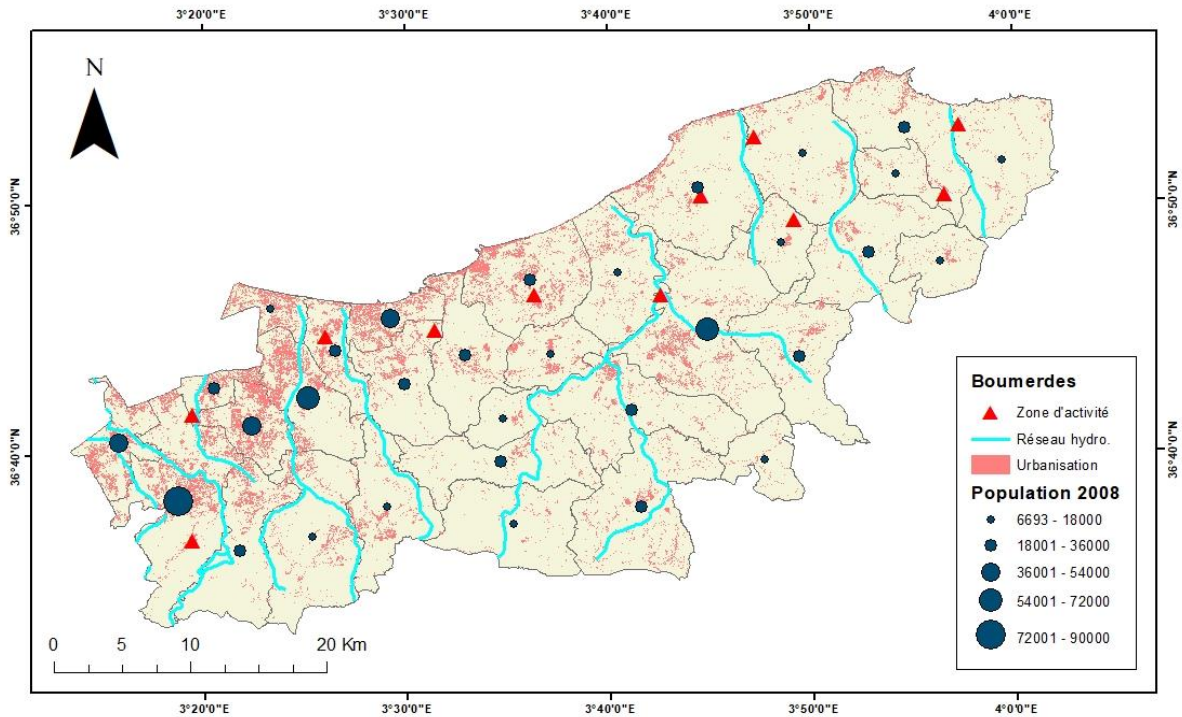


Figure 28 : Carte des sources de pollution dans la wilaya de Boumerdes.  
 (Sources des données : démographie : ONS (2008), zones industrielles : AROUR (2014), réseau hydrographique : digitalisation à partir de GoogleEarth 2024)

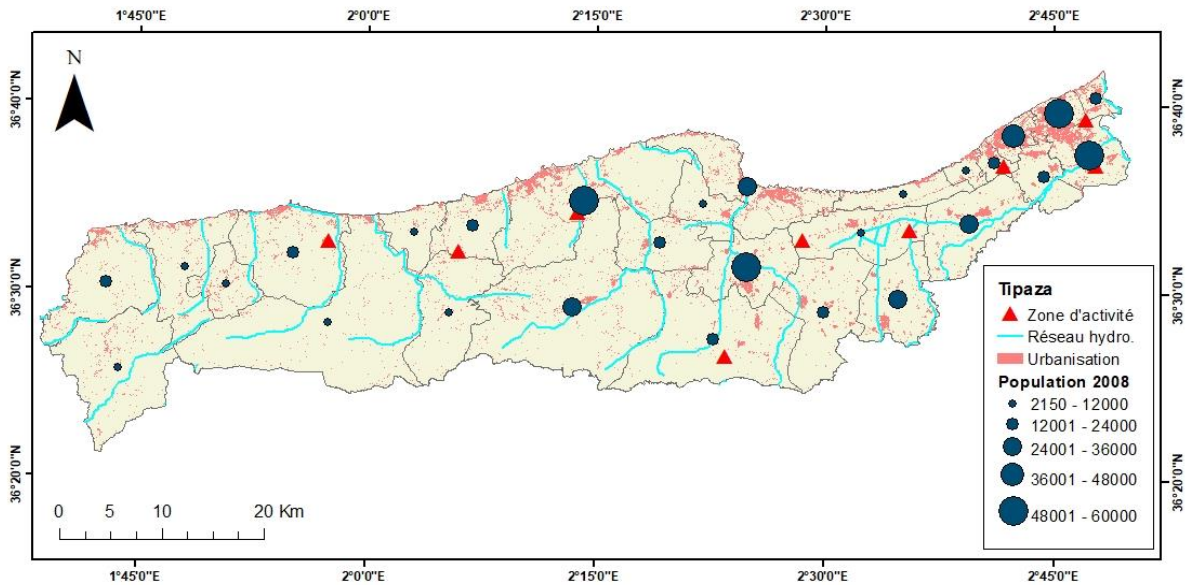


Figure 29 : Carte des sources de pollution dans la wilaya de Tipaza.  
 (Sources des données : démographie : ONS (2008), zones industrielles : AROUR (2014), réseau hydrographique : digitalisation à partir de GoogleEarth 2024)

## Résultats et discussion

---

### 4.3.2.1 Alger

Les zones d'activités industrielles, signalées par les triangles rouges, sont particulièrement concentrées le long des oueds El Harrach et El Hamiz. Ces cours d'eau traversent des zones industrielles majeures ainsi que des agglomérations urbaines importantes comme Baraki et El Harrach, avec des populations dépassant les 130 000 habitants pour Bordj el Kiffan et Gué de Constantine. La proximité entre les zones industrielles et les cours d'eau augmente le risque de pollution plastique, car ces oueds drainent les déchets industriels et urbains vers la mer, exacerbant la pollution dans la baie d'Alger.

### 4.3.2.2 Boumerdes

Boumerdes présente une densité de population inférieure à celle d'Alger, mais certaines zones montrent des concentrations significatives, notamment les communes de Khemis El Khechna et Boudouaou qui comptent une population de plus de 70 000 habitants. Les zones d'activités industrielles sont principalement situées le long des cours d'eau tels qu'oued Reghaia et Isser, qui traversent les régions urbanisées stratégiquement situées près d'eux, augmentant le risque que les déchets plastiques soient transportés vers la mer.

### 4.3.2.3 Tipaza

Tipaza montre une densité de population globalement plus faible, avec des zones de concentration notables à Kolea, Fouka, Hadjout et Cherchel. Les populations dans ces communes dépassent les 48 000 habitants. Les zones d'activités industrielles, bien que moins nombreuses, sont situées près des principaux cours d'eau tel qu'oued de Mazafran, ce qui pose un risque potentiel de pollution plastique. La pollution plastique y est peut-être moins intense comparée à Alger, mais reste significative.

Il est important à signaler que les données de population utilisées pour cette étude proviennent du recensement de 2008. Depuis, la population a certainement beaucoup évolué tant sur le plan quantitatif que dans sa distribution.

Il est important de noter également que les oueds drainent la pollution beaucoup plus en hiver et au printemps lorsque les débits sont maximaux. Pendant ces saisons, les précipitations sont plus abondantes, ce qui entraîne un écoulement plus important des cours d'eau, transportant ainsi les déchets plastiques accumulés vers la mer. Cela aggrave donc le problème de la pollution plastique dans les trois baies.

## Résultats et discussion

---

### **4.4 Recommandations pour une gestion durable des déchets plastiques marins en Algérie**

Pour gérer efficacement les déchets plastiques marins en Algérie, plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre en tenant compte des spécificités locales et des expériences réussies ailleurs.

#### **4.4.1 Renforcement du cadre réglementaire**

L'Algérie pourrait s'inspirer des législations adoptées par d'autres pays méditerranéens et européens pour interdire les plastiques à usage unique. En 2020, l'Union Européenne a adopté une directive visant à interdire une série de produits en plastique à usage unique, comme les pailles, les couverts, et les bâtonnets de coton-tige (Annexe 3). Cette approche réglementaire a non seulement réduit la consommation de ces produits, mais a également stimulé l'innovation dans le développement d'alternatives durables. En Algérie, une loi similaire pourrait être mise en place pour restreindre l'utilisation des plastiques à usage unique, tout en encourageant la production et l'utilisation d'alternatives biodégradables et réutilisables.

Il est également important de noter qu'à ce jour, l'Algérie ne dispose pas de législation spécifique concernant la pollution par les microplastiques, malgré son importance croissante pour l'environnement marin et la santé humaine. D'autres pays ont déjà pris des mesures en ce sens. Par exemple, le Canada a adopté en 2017 les "Microbeads in Toiletries Regulations", qui interdisent la fabrication, l'importation et la vente de produits de toilette contenant des microbilles de plastique (GOUVERNEMENT DU CANADA, 2017).

#### **4.4.2 Amélioration des infrastructures de gestion des déchets**

L'amélioration des infrastructures de gestion des déchets est essentielle pour prévenir la fuite des plastiques dans l'environnement marin. L'Allemagne offre un exemple notable avec son système de consigne pour les bouteilles en plastique. Ce système incite les consommateurs à retourner leurs bouteilles usagées en échange d'une petite somme d'argent, ce qui a considérablement augmenté les taux de recyclage (DALBERG ADVISORS, 2019). En Algérie, la mise en place d'un système similaire pourrait être envisagée, accompagné de centres de tri et de recyclage modernes et bien équipés. De plus, l'amélioration de la collecte des déchets dans les zones urbaines et rurales contribuerait à une gestion plus efficace et à la réduction de l'enfouissement illégal des déchets.

Il est également crucial de considérer les stations de traitement des eaux usées en Algérie. Actuellement, le pays dispose de 211 stations d'épuration, dont 71 à affinage naturel, avec une

## Résultats et discussion

---

capacité totale de 1 milliard de mètres cubes d'eau traitée par an. Cependant, seulement 480 millions de mètres cubes sont effectivement épurés, soit un taux de 47%, souvent à cause du manque de raccordement des eaux usées (BLIDI, 2023). Pour résoudre efficacement le problème de la pollution plastique, il est impératif de traiter non seulement les eaux usées domestiques, mais aussi les rejets industriels. Une application stricte de la loi fixant les normes de rejets industriels est nécessaire pour réduire significativement l'impact de la pollution plastique sur les écosystèmes marins et les communautés côtières. Malgré ces défis, des efforts importants sont en cours pour améliorer la situation; en janvier 2023, 16 stations supplémentaires étaient en cours de réalisation, ajoutant 140 millions de m<sup>3</sup>/an à la capacité de traitement actuelle. Ces initiatives s'inscrivent dans un plan national visant à valoriser les eaux non conventionnelles pour lutter contre le stress hydrique (APS, 2023). En renforçant ces efforts, l'Algérie peut espérer réduire la pollution plastique et améliorer la gestion durable de ses ressources en eau.

### **4.4.3 Sensibilisation et éducation environnementale**

La sensibilisation et l'éducation du public sont des éléments clés pour assurer la durabilité des efforts de gestion des déchets. En Norvège, l'éducation environnementale est intégrée dans le cursus scolaire dès le plus jeune âge, ce qui a contribué à une prise de conscience élevée et à une forte culture de recyclage parmi les citoyens (WEBINTELLIGENCE, 2024). En Algérie, bien que des efforts notables soient réalisés par plusieurs associations actives dans le domaine de l'écologie, il serait bénéfique de renforcer les campagnes de sensibilisation nationales visant à informer le public sur les impacts des déchets plastiques sur l'environnement marin et à promouvoir des comportements responsables, comme la réduction de l'utilisation de plastiques et le tri des déchets.

# Conclusion

## Conclusion

---

### CONCLUSION

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'applicabilité et l'efficacité des techniques de télédétection spatiale pour détecter les débris plastiques le long du littoral Algérois. L'étude a mis en lumière l'utilisation du MSI Sentinel-2 à travers deux indices, l'Indice des Débris Flottants (FDI) et l'Indice de Végétation à Différence Normalisée (NDVI), en utilisant le logiciel SNAP. Les résultats ont démontré que non seulement les matériaux plastiques ont pu être détectés, mais également d'autres matériaux flottants tels que des bateaux, des navires, des fermes aquacoles, etc. Après vérification, le nombre de pixels de plastique a été limité à 26 pixels, ce qui correspond à environ 13 000 kg de plastique selon l'échelle de KIKAKI *et al.* (2020). La variation temporelle et spatiale a montré que la baie de Zemmouri en automne présentait la plus grande quantité de débris plastiques.

Une deuxième approche consistait à détecter la contamination plastique à l'aide du script de Copernicus développé par MELYKUTI (2019) en utilisant différentes méthodes d'apprentissage automatique. Les résultats de l'étude sur une période temporelle allant de 2023 à 2024 ont révélé deux phases distinctes. La première phase, de mars à août 2023, a montré une faible contamination plastique le long des trois baies, avec des niveaux minimaux observés, notamment le 26 juillet 2023. La deuxième phase, d'août 2023 à mai 2024, a révélé une augmentation significative de la contamination plastique, avec des pics notables le 6 octobre 2023 et le 25 novembre 2023. Cette tendance est probablement la conséquence des variations saisonnières des conditions météorologiques et hydrographiques, tel que les précipitations et le débit des oueds, qui affectent le transport et l'accumulation des débris plastiques sur le littoral Algérois.

Pour identifier les sources potentielles des débris plastiques flottants et interpréter les résultats de manière plus précise et contextualisée, une étude de l'occupation du sol dans les wilayas d'Alger, de Boumerdes et de Tipaza a été menée à travers une classification supervisée en utilisant le logiciel ENVI. L'analyse des résultats a révélé une variabilité significative dans l'occupation du sol, indiquant ainsi des sources potentielles de pollution plastique différentes le long du littoral algérois. À Alger, l'urbanisation représente environ 50 % de la superficie totale de ses communes côtières, soit environ 100 km<sup>2</sup>. En comparaison, Boumerdes et Tipaza présentent des taux d'urbanisation plus faibles, avec 10 % de leurs superficies côtières urbanisées. Cette urbanisation se concentre près du littoral et sur les rives des oueds, ce qui

## Conclusion

---

favorise l'acheminement de la pollution plastique vers la mer. Les oueds drainent également la pollution plastique des zones industrielles des trois wilayas.

Il est clair que la question environnementale est devenue un enjeu majeur en Algérie, compte tenu de l'importance des ressources naturelles marines pour le développement économique du pays, mais également des conséquences désastreuses de la pollution plastique sur ces écosystèmes. Toutefois, l'analyse critique de la prise en charge de l'environnement marin par les textes juridiques du pays révèle des limites et des insuffisances persistantes. Il est donc primordial que l'Algérie renforce sa capacité institutionnelle et humaine pour mettre en œuvre les textes juridiques existants, ainsi que pour répondre aux enjeux environnementaux marins actuels.

À cette fin, une surveillance complète des débris marins plastiques est nécessaire, nécessitant une approche interdisciplinaire. Bien que les données satellitaires permettent actuellement la détection des débris flottants en surface, elles ne fournissent pas d'informations sur les débris submergés. Il est donc essentiel de mener des campagnes sur le terrain, accompagnées d'observations auxiliaires, pour examiner en détail l'impact des conditions météorologiques et des processus océanographiques sur la distribution des plastiques à la surface de la mer. De plus, l'utilisation de satellites optiques dotés d'une résolution spatiale plus élevée pourrait améliorer la précision des indices appliqués, permettant ainsi une meilleure identification et un suivi plus précis des débris plastiques. Pour approfondir encore nos recherches, il serait bénéfique d'étendre nos études à d'autres zones géographiques et de considérer une perspective temporelle. Il serait donc plus approprié de prendre en considération l'intégralité des bassins versants drainés par les oueds de la région. Cela permettrait d'obtenir une évaluation plus complète et précise des sources de pollution et de leur impact sur l'environnement. En outre, l'utilisation de pixels validés pour la classification pourrait constituer une méthode prometteuse pour améliorer nos analyses et renforcer la fiabilité de nos résultats, comme l'ont démontré certaines recherches antérieures (SANNIGRAHI *et al.*, 2021; TOPOUZELI *et al.*, 2020).

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

---

- ALESSI E., DI CARLO G., CAMPOGIANNI S. (2018).** Out of the plastic trap. Rapport d'activité. WWF.
- ALLEN S., ALLEN D., PHOENIX V.R., LE ROUX G., DURÁNTEZ JIMÉNEZ P., SIMONNEAU A., BINET S., GALOP D. (2019).** Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat. Geosci.* 12, pp. 339-344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
- AMENOUCHE S., DOUMANDJI N. (2015).** Contribution à l'étude de la pollution par les microplastiques dans la Baie de Bou-Ismaïl. Mémoire d'ingénieur. Environnement Marin. Dely Ibrahim: ENSSMAL.
- A.N.D (2020).** Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie. Rapport d'activité. Agence Nationale des Déchets.
- A.N.D (2019).** Les déchets plastiques en Algérie. Rapport d'activité. Agence Nationale des déchets.
- APS (2023).** Augmentation du potentiel hydrique de réutilisation: dotation de 16 stations d'épuration de dispositif de traitement tertiaire. [En ligne]. [Consulté le 6.8.24].URL <https://www.aps.dz/economie/149913-augmentation-du-potentiel-hydrique-de-reutilisation-dotation-de-16-stations-d-epuration-de-dispositif-de-traitement-tertiaire>
- ARCANGELI A., DAVID L., AGUILAR A., ATZORI F., BORRELL A., CAMPANA I., CAROSSO L., CROSTI R., DARMON G., DELPHINE G., DI-MEGLIO N., DI V., DI VITO S., FRAU F., GARCIA-GARIN O., ORASI A., REVUELTA O., MARINE R., MIAUD C., VIGHI M. (2020).** Floating marine macro litter: Density reference values and monitoring protocol settings from coast to offshore. Results from the MEDSEALITTER project. *Marine Pollution Bulletin* 111647. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111647>
- ARCGIS RESOURCES (2010).** Qu'est-ce que ArcGIS ? | ArcGIS Resource Center. [En ligne]. [Consulté le 4.22.24]. URL <https://resources.arcgis.com/fr/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- AROUR E. (2014).** BOUMERDES: Zones industrielles et zones d'activités. [En ligne]. [Consulté le 6.8.24]. URL <http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2014/11/boumerdes-zones-industrielles-et-zones.html>
- BABAYEMI J.O., NNOROM I.C., OSIBANJO O., WEBER R. (2019).** Ensuring sustainability in plastics use in Africa: consumption, waste generation, and projections. *Environmental Sciences Europe* 31, 60. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0254-5>
- BALSI M., MORONI M., CHIARABINI V., TANDA G. (2021).** High-Resolution Aerial Detection of Marine Plastic Litter by Hyperspectral Sensing. *Remote Sensing* 13, 1557. <https://doi.org/10.3390/rs13081557>
- BARNES D., WALTERS A., GONÇALVES L. (2010).** Macroplastics at sea around Antarctica. *Marine environmental research* 70, 250-2. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2010.05.006>
- BEAUMONT N.J., AANESEN M., AUSTEN M.C., BÖRGER T., CLARK J.R., COLE M., HOOPER T., LINDEQUE P.K., PASCOE C., WYLES K.J. (2019).** Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine Pollution Bulletin* 142, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.022>

## Références bibliographiques

---

- BELABED B.-E., TAHAR T. (2019).** Premières investigations sur la pollution par les macroplastiques et les microplastiques : cas du golfe d'Annaba nord-est algérien *Proceedings e report; 121*., pp. 239-247.
- BELKESSA R. (2005).** Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de Doctorat. Sciences de l'eau et développement durable. Constantine: Université de Constantine.
- BENCHEIKH A., CHIHAB Z. (2021).** Pollution de la Côte Est – Algérienne par les micro-déchets. Mémoire de Master. Biodiversité et Environnement. Guelma: Université du 08 Mai 1945.
- BIERMANN L., CLEWLEY D., MARTINEZ-VICENTE V., TOPOUZELIS K. (2020).** Finding Plastic Patches in Coastal Waters using Optical Satellite Data. *Sci Rep* 10, 5364. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62298-z>
- BLIDI A. (2023).** Il en existe 211 sur le territoire national : Cap sur les stations d'épuration [En ligne]. [Consulté le 6.8.24]. *El watan*. URL <https://elwatan-dz.com/il-en-existe-211-sur-le-territoire-national-cap-sur-les-stations-depuration>
- BOUCHER J., BILLARD G. (2020).** The Mediterranean : Mare Plasticum. Rapport d'activité. IUCN.
- BOUHALI Z. (2023).** Pollution aux déchets plastiques : Étude du contenu digestif d'espèces halieutiques pêchées par les petits métiers. Mémoire de Master. Hydrobiologie marine et continentale. Mostaganem: Université Abdelhamid Ibn Badis.
- BOUMIMEZ W., HASSAINE A. (2018).** L'effet de l'hydrodynamisme sur la quantification des Microplastiques en mer. Mémoire d'Ingénieur. Environnement marin. Dely Ibrahim: Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral.
- BOURAS F.Z., BENAÏSSA N. (2020).** Pollution aux micro et macroplastiques des eaux côtières de Mostaganem. Mémoire de Master. Biologie et sciences de la nature et de la vie. Mostaganem: Université Abdelhamid Ibn Badis.
- CHAMAS A., MOON H., ZHENG J., QIU Y., TABASSUM T., JANG J.H., ABU-OMAR M., SCOTT S.L., SUH S. (2020).** Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 8, 3494-3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- CÓZAR A., SANZ-MARTÍN M., MARTÍ E., GONZÁLEZ-GORDILLO J.I., UBEDA B., GÁLVEZ J.Á., IRIGOIEN X., DUARTE C.M. (2015).** Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE* 10, e0121762. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121762>
- DALBERG ADVISORS (2019).** Stop the Flood of Plastic: How Mediterranean countries can save their sea. Rapport d'activité. WWF.
- DAMAYANTI A.D., HANAMI Z.A., HIROSE K., AINUN S., PUTRA R.D. (2022).** Potential Marine Plastic Debris Detection using Sentinel-2 Multi-Spectral Instrument (MSI). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1117, 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1117/1/012054>
- DCA (2016).** Présentation de la Wilaya d'Alger. [En ligne]. [Consulté le 02.28.24]. URL <https://www.dawalger.dz/>
- DERDJINI H. (2017).** Cartographie des changements de l'occupation du sol dans la plaine de la Mitidja à partir des images LANDSAT. Mémoire de Master. Hydraulique. Alger: École Nationale Supérieure D'hydraulique.

## Références bibliographiques

---

- DOUBI A., FERDI B. (2020).** Changement climatique et risques côtiers dans la métropole algéroise. Mémoire d'Ingénieur. Gestion et protection du littoral. Dely Ibrahim: ENSSMAL.
- ELBACHIR A., HAMZA F.Z. (2021).** Evaluation des microplastiques dans les sédiments et les eaux de surface de la baie de Zemmouri. [En ligne]. [Consulté le 4.1.24]. URL <https://virtuallibrary.enssmal.edu.dz/collection/item/331-evaluation-des-microplastiques-dans-les-sediments-et-les-eaux-de-surface-de-la-baie-de-zemmouri?offset=7>
- EOPORTAL (2022).** SNAP (Sentinel Application Platform) - eoPortal. [En ligne]. [Consulté le 4.22.24]. URL <https://www.eoportal.org/other-space-activities/snap-sentinel-application-platform#references>
- ERIKSEN M., LEBRETON L.C.M., CARSON H.S., THIEL M., MOORE C.J., BORERRO J.C., GALGANI F., RYAN P.G., REISSER J. (2014).** Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLOS ONE* 9, e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- ESRI (2023).** Envi Harris Technology. [En ligne]. [Consulté le 5.14.24]. *Esri South Africa*. URL <http://www.esri-southafrica.com/envi-harris-technology/>
- FAURE F., SAINI C., POTTER G., GALGANI F., DE ALENCASTRO L.F., HAGMANN P. (2015).** An evaluation of surface micro- and mesoplastic pollution in pelagic ecosystems of the Western Mediterranean Sea. *Environ Sci Pollut Res Int* 22, 12190-12197. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4453-3>
- FRANCE INDUSTRIE (2020).** Les types de plastique. [En ligne]. [Consulté le 7.2.24]. *France Industrie*. URL <https://www.france-industrie.pro/industrie-plastique/les-types-de-plastique/>
- FREITAS S., SILVA H., SILVA E. (2022).** Hyperspectral Imaging Zero-Shot Learning for Remote Marine Litter Detection and Classification. *Remote Sensing* 14, 5516. <https://doi.org/10.3390/rs14215516>
- GAJŠT T., BIZJAK T., PALATINUS A., LYUBARTSEVA S., KRŽAN A. (2016).** Sea surface microplastics in Slovenian part of the Northern Adriatic. *Marine Pollution Bulletin* 113. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.031>
- GALL S.C., THOMPSON R.C. (2015).** The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* 92, 170-179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.041>
- GAOUAOU F., HAMROUCHE S. (2022).** Contribution à l'étude des inondations dans une zone côtière : wilaya d'Alger. Mémoire d'Ingénieur. Enviorennement marin. Dely Ibrahim: ENSSMAL.
- GARABA S., DIERSSEN H. (2018).** An airborne remote sensing case study of synthetic hydrocarbon detection using short wave infrared absorption features identified from marine-harvested macro- and microplastics. *Remote Sensing of Environment* 205, 224-235. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.023>
- GASPERI J., WRIGHT S.L., DRIS R., COLLARD F., MANDIN C., GUERROUCHE M., LANGLOIS V., KELLY F.J., TASSIN B. (2018).** Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Micro and Nanoplastics Edited by Dr. Teresa A.P. Rocha-Santos 1, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>

## Références bibliographiques

---

- GAUDIAUT T. (2022).** Estimation du volume de déchets plastiques déversés dans la mer Méditerranée par pays, en tonnes par an. Carte.
- GOUVERNEMENT DU CANADA (2017).** Microbeads in Toiletries Regulations: frequently asked questions. [En ligne]. [Consulté le 6.8.24]. URL <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/microbeads-toiletries-regulations-frequently-asked-questions.html>
- GREGORY M. (2009).** Environmental implications of plastic debris in marine settings— Entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 364, 2013-25. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>
- GUENDOUI Y. (2011).** Contribution à l'étude de l'impact de la pollution chimique sur l'herbier à Posidonie dans la baie d' Alger. Mémoire d'Ingénieur. Environnement marin. Dely Ibrahim: ENSSMAL.
- GUILLEMOT M., PATRASCU C. (2019).** Classification des matières plastiques, Plastiques, risque et analyse thermique. Base de données. INRS.
- HESTIN M., POIVERT G., DIVOIRE C., DE OLIVEIRA L., DEVAUZE C., PERENNES S. (2022).** Stratégie 3R pour les emballages en plastique à usage unique. Rapport d'activité. Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.
- JAMBECK J.R., GEYER R., WILCOX C., SIEGLER T.R., PERRYMAN M., ANDRADY A., NARAYAN R., LAW K.L. (2015a).** Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- JAMBECK J.R., GEYER R., WILCOX C., SIEGLER T.R., PERRYMAN M., ANDRADY A., NARAYAN R., LAW K.L. (2015b).** Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- JULIENNE F. (2019).** Fragmentation des plastiques : effet de l'environnement et de la nature du polymère sur la taille et la forme des fragments générés. Thèse de Doctorat. Physique des matériaux. France: Université du Maine.
- JUNTILLA J. (2021).** Facts and figures about the world of synthetic polymers, Plastic Atlas Asia. Rapport d'activité. ed, Atlas.
- KAMTO M. (2014).** La mise en œuvre du droit de l'environnement : forces et faiblesses des cadres institutionnels. *RAVE, Le Droit de l'Environnement en Afrique* pp. 29-36.
- KIKAKI K., KARANTZALOS K., POWER C., RAITOS D. (2020).** Remotely Sensing the Source and Transport of Marine Plastic Debris in Bay Islands of Honduras (Caribbean Sea). *Remote Sensing* 12, 1727. <https://doi.org/10.3390/rs12111727>
- KNUDBY A. (2021).** Classification. [En ligne]. [Consulté le 3.8.24]. URL <https://ecampusontario.pressbooks.pub/teledetection/chapter/chapter-6-classification/>
- KOSUTH M., MASON S.A., WATTENBERG E.V. (2018).** Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS ONE* 13, e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- KREMEZI M., KRISTOLLARI V., KARATHANASSI V., TOPOUZELIS K., KOLOKOUSSIS P., NICOLO T., AIELLO A., CERIOLA G., BARBONE E., CORRADI P. (2021).** Pansharping PRISMA Data for Marine Plastic Litter Detection Using Plastic

## Références bibliographiques

---

- Indexes. *IEEE Access* 9, 61955-61971. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3073903>
- SEA Plastics (2020)**. La pollution plastique océanique [En ligne]. [Consulté le 12.1.23]. *Seaplastics*. URL <https://www.seaplastics.org/la-pollution-plastique>
- LABADLA C., SOUAISSID S. (2021)**. Evaluation de la pollution marine du littoral Est algérienne par le plastique : méso et macro-plastiques. Mémoire de Master. Ecologie et environnement. Guelma: Université du 08 Mai 1945.
- LAVENDER S. (2022)**. Detection of Waste Plastics in the Environment: Application of Copernicus Earth Observation Data. *Remote Sensing* 14, 4772. <https://doi.org/10.3390/rs14194772>
- LAW K., MORÉT S., GOODWIN D., ZETTLER E., DEFORCE E., KUKULKA T., PROSKUROWSKI G. (2014)**. Distribution of Surface Plastic Debris in the Eastern Pacific Ocean from an 11-Year Data Set. *Environmental science & technology* 48. <https://doi.org/10.1021/es4053076>
- LUO W., HAN W., FU P., WANG H., ZHAO Y., LIU K., LIU Y., ZHAO Z., ZHU M., XU R., WEI G. (2022)**. A Water Surface Contaminants Monitoring Method Based on Airborne Depth Reasoning. *Processes* 10, 131. <https://doi.org/10.3390/pr10010131>
- LUSHER A., HOLLMAN peter, MENDOZA J. (2017)**. Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety.
- MAHARJAN N., MIYAZAKI H., PATI B.M., DAILEY M.N., SHRESTHA S., NAKAMURA T. (2022)**. Detection of River Plastic Using UAV Sensor Data and Deep Learning. *Remote Sensing* 14, 3049. <https://doi.org/10.3390/rs14133049>
- MANSUI J., DARMON G., BALLERINI T., VAN CANNEYT O., OURMIERES Y., MIAUD C. (2020)**. Predicting marine litter accumulation patterns in the Mediterranean basin: Spatio-temporal variability and comparison with empirical data. *Progress in Oceanography* 182, 102268. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102268>
- MARTINEZ-VICENTE V., CLARK J., CORRADI P., ALIANI S., ARIAS M., BOCHOW M., BONNERY G., COLE M., CÓZAR A., DONNELLY R., ECHEVARRÍA F., GALGANI F., GARABA S., GODDJN-MURPHY L., LEBRETON L., LESLIE H., LINDEQUE P., MAXIMENKO N., MARTIN-LAUZER F.-R., VETHAAK A. (2019)**. Measuring Marine Plastic Debris from Space: Initial Assessment of Observation Requirements. *Remote Sensing* 11, 2443. <https://doi.org/10.3390/rs11202443>
- MATHIS E. (2021)**. Étude de la répartition spatiale des déchets marins flottants au sein de la mer Égée. France:
- MELYKUTI B. (2019)**. Ocean Plastic Detector Prototype Script. [En ligne]. [Consulté le 5.14.24]. *Sentinel Hub custom scripts*. URL [https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ocean\\_plastic\\_detector/](https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ocean_plastic_detector/)
- MICLAT (2019a)**. Monographie de la Wilaya de Boumerdes. [En ligne]. [Consulté le 2.17.24]. URL <https://interieur.gov.dz/>
- MICLAT (2019b)**. Monographie de la Wilaya de Tipaza. [En ligne]. [Consulté le 2.17.24]. URL <https://interieur.gov.dz/>

## Références bibliographiques

---

- MINTENIG S.M., LÖDER M.G.J., PRIMPKE S., GERDTS G. (2019).** Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment* 648, 631-635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.178>
- MTA (2020a).** ANNUAIRE STATISTIQUE DE LA WILAYA D'ALGER 2020. [En ligne]. [Consulté le 5.10.24] URL <https://alger.mta.gov.dz/>
- MTA (2020b).** Monographie de la Wilaya de Tipaza. [En ligne]. [Consulté le 5.10.24]. URL <https://tipaza.mta.gov.dz/>
- MTA (2018).** Monographie de la Wilaya de Boumerdes. [En ligne]. [Consulté le 5.10.24]. URL <https://boumerdes.mta.gov.dz/>
- OECD (2022).** Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. OECD. <https://doi.org/10.1787/de747aef-en>
- OUDINA M., AGRANE H. (2018).** Contribution à l'évaluation de la pollution par les microplastiques dans la côte jijelienne. Mémoire de Master. Hydrobiologie Marine et Continentale. Jijel: Université de Jijel.
- PAC (2006).** Programme d'Aménagement Côtier (PAC) « Zone côtière algéroise ». Rapport d'activité.
- PELLETIER C. (2017).** Cartographie de l'occupation des sols à partir de séries temporelles d'images satellitaires à hautes résolutions Identification et traitement des données mal étiquetées. Thèse de Doctorat. Identification et traitement des données mal étiquetées. France: Université Toulouse 3 Paul Sabatier.
- ROCHMAN C., BROWNE M.A., HALPERN B., HENTSCHEL B., HOH E., KARAPANAGIOTI H., RIOS L., TAKADA H., TEH S., THOMPSON R. (2013).** Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature* 494, 169-71. <https://doi.org/10.1038/494169a>
- RUIZ-OREJON L.F., SARDA R., RAMIS-PUJOL J. (2016).** Floating plastic debris in the Central and Western Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research* 120, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.08.001>
- SANNIGRAHI S., BASU B., BASU A.S., PILLA F. (2021).** Detection of marine floating plastic using Sentinel-2 imagery and machine learning models. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.03694>
- SCHMIDT C., KRAUTH T., WAGNER S. (2017).** Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. *Environmental Science & Technology* 51. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>
- SENTINEL ONLINE (2020).** Sentinel-2 - Missions. [En ligne]. [Consulté le 4.22.24]. *Sentinel Online*. URL <https://copernicus.eu/missions/sentinel-2>
- SERAFINO F., BIANCO A. (2021).** Use of X-Band Radars to Monitor Small Garbage Islands. *Remote Sensing* 13, 3558. <https://doi.org/10.3390/rs13183558>
- SETITI S., HAMDI B., CHERNAI S., BACHARI F.H., BACHOUCHE S., GHEZALI Y., SUARIA G. (2021).** Seasonal variation of microplastics density in Algerian surface waters (South-Western Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science* 22, 317-326. <https://doi.org/10.12681/mms.24899>
- SIMPSON M.D., MARINO A., DE MAAGT P., GANDINI E., HUNTER P., SPYRAKOS E., TYLER A., TELFER T. (2022).** Monitoring of Plastic Islands in River Environment Using Sentinel-1 SAR Data. *Remote Sensing* 14, 4473. <https://doi.org/10.3390/rs14184473>

## Références bibliographiques

---

- SINERGISE S.-H. (2021).** Ocean Plastic Detector Prototype Script. [En ligne]. [Consulté le 5.24.24]. *Sentinel Hub custom scripts*. URL [https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ocean\\_plastic\\_detector/](https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ocean_plastic_detector/)
- SUARIA G., ALIANI S. (2014).** Floating debris in the Mediterranean Sea. *Mar Pollut Bull* 86, 494-504. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.025>
- SUARIA G., AVIO C.G., MINEO A., LATTIN G.L., MAGALDI M.G., BELMONTE G., MOORE C.J., REGOLI F., ALIANI S. (2016).** The Mediterranean Plastic Soup: synthetic polymers in Mediterranean surface waters. *Sci Rep* 6, 37551. <https://doi.org/10.1038/srep37551>
- TABTI R. (2024).** De la protection de l'environnement dans les Constitutions Algériennes. *Comparative Legilinguistics* 57, 7-40. <https://doi.org/10.14746/cl.2024.57.1>
- TACONET P. (2019).** Tutoriel d'initiation à la télédétection spatiale sur logiciel libre. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16391.06569>
- TADDIA Y., CORBAU C., BUONINSEGNI J., SIMEONI U., PELLEGRINELLI A. (2021).** UAV Approach for Detecting Plastic Marine Debris on the Beach: A Case Study in the Po River Delta (Italy). *Drones* 5, 140. <https://doi.org/10.3390/drones5040140>
- TAGGIO N., AIELLO A., CERIOLA G., KREMEZI M., KRISTOLLARI V., KOLOKOUSIS P., KARATHANASSI V., BARBONE E. (2022).** A Combination of Machine Learning Algorithms for Marine Plastic Litter Detection Exploiting Hyperspectral PRISMA Data. *Remote Sensing* 14, 3606. <https://doi.org/10.3390/rs14153606>
- TAIBI N.-E., BELHADJI A., ZEMOULI I. (2016).** Pollution des plages de Mostaganem par les micro- et macro-plastiques. Conference: VII Journées scientifiques de la Faculté SNV. Mostaganem: Université de Mostaganem.
- TATA T., BELABED B.E., BOUOUDINA M., BELLUCCI S. (2020).** Occurrence and characterization of surface sediment microplastics and litter from North African coasts of Mediterranean Sea: Preliminary research and first evidence. *Science of The Total Environment* 713, 136664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136664>
- TEUTEN E., ROWLAND S., GALLOWAY T., THOMPSON R. (2007).** Potential for Plastics to Transport Hydrophobic Contaminants. *Environmental science & technology* 41, 7759-64. <https://doi.org/10.1021/es071737s>
- THEMISTOCLEOUS K., PAPOUTSA C., MICHAELIDES S., HADJIMITSIS D. (2020).** Investigating Detection of Floating Plastic Litter from Space Using Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing* 12, 2648. <https://doi.org/10.3390/rs12162648>
- TOPOUZELIS K., PAPAGEORGIOU D., KARAGAITANAKIS A., PAPAKONSTANTINOY A., ARIAS M. (2020).** Remote Sensing of Sea Surface Artificial Floating Plastic Targets with Sentinel-2 and Unmanned Aerial Systems (Plastic Litter Project 2019). *Remote Sensing* 12, 2013. <https://doi.org/10.3390/rs12122013>
- TOPOUZELIS K., PAPAKONSTANTINOY A., GARABA S. (2019).** Detection of floating plastics from satellite and unmanned aerial systems (Plastic Litter Project 2018). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 79, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.03.011>
- UFFELEN C. van (2021).** Plastic Plastic Facts & Figures. *Plastic Soup Foundation*. [En ligne]. [Consulté le 12.6.23]. URL <https://www.plasticsoupfoundation.org/en/plastic-facts-and-figures/>

## Références bibliographiques

---

- VAN DER HAL N., ARIEL A., ANGEL D.L. (2017).** Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters. *Mar Pollut Bull* 116, 151-155. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.052>
- WEBINTELLIGENCE (2024).** The participating 20 schools for the SOS Plastic competition are confirmed. [En ligne]. [Consulté le 6.1.24]. *CENN - Shaping The Future By Changing Today*. URL <https://www.cenn.org/the-participating-20-schools-for-the-sos-plastic-competition-are-confirmed/>
- WILCOX C., SEBILLE E., HARDESTY B. (2015).** Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502108112>
- ZAMBIANCHI E., IERMANO I., SUARIA G., ALIANI S. (2014).** Marine litter in the Mediterranean Sea: an oceanographic perspective. p. 180 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2315.3760>
- ZEGHDANI Z., MEHDIQUI S., MEHDIQUI Y., GHERBI R., RAMDANE Z. (2023).** Plastic Particles in the Gastrointestinal Tract of Some Commercial Fish Species Inhabiting in the Gulf of Bejaia, Algeria. *JJBS* 16, 289-295. <https://doi.org/10.54319/jjbs/160213>

# Annexes

## Annexe 1

### Les engagements environnementaux internationaux de l'Algérie

- **1982** – Convention relative aux zones humides d'importance internationale du 02 Février 1971 à Ramsar (Iran) pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales, régionales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier.
- **1982** – Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (03 Mars 1973) à Washington.
- **1991** – Convention de Bamako sur l'interdiction d'importer en Afrique des déchets dangereux et sur le contrôle des mouvements transfrontières et la gestion des déchets dangereux produits en Afrique.
- **1992** – Convention de Rio sur la diversité biologique.
- **1992** – Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- **1995** – Décret présidentiel n° 95–163 du 6 Juin 1995 portant ratification de la convention sur la diversité biologique, signée à Rio de Janeiro le 5 Juin 1992.
- **1996** – Ordonnance n° 96–04 du 10 Janvier 1996 portant approbation de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.
- **1998** – Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements, transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination adoptée par la conférence de plénipotentiaires.
- **1999** – Décret présidentiel n° 99–115 du 14 Juin 1999 portant ratification de l'amendement au Protocole de Montréal adopté par la quatrième réunion des parties à Copenhague, 23–25 Novembre 1992.
- **2001** – Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants.
- **2006** – Décret présidentiel n° 06–170 du 22 Mai 2006 portant ratification de l'amendement à la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières de déchets dangereux et de leur élimination, adopté à Genève le 22 Septembre 1995.
- **2006** – Décret présidentiel n° 06–405 du 14 Novembre 2006 portant ratification du Protocole relatif aux aires spécialement protégées et à la diversité biologique en Méditerranée, signé à Barcelone le 10 Juin 1995.
- **2006** – Décret présidentiel n° 2006–206 du 7 Juin 2006 portant ratification de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, adoptée à Stockholm le 22 Mai 2001.

## Annexes

---

- **2007** – Décret présidentiel n° 07–93 du 19 Mars 2007 portant ratification de l’amendement au Protocole de Montréal adopté par la neuvième réunion des parties à Montréal, 15 – 17 Septembre 1997.
- **2007** – Décret présidentiel n° 07–94 du 19 Mars 2007 portant ratification de l’amendement au Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d’ozone, adopté à Beijing le 3 Décembre 1999.
- **2007** – Décret présidentiel n° 07–95 du 19 Mars 2007 portant ratification de l’Accord sur la conservation des cétacés de la Mer Noire, de la Méditerranée et de la zone atlantique adjacente, signé à Monaco le 24 Novembre 1996.
- **2011** – Décret présidentiel N° 11–246 du 10 Juillet 2011 portant adhésion de la république algérienne démocratique et populaire à la Convention Internationale sur l’intervention en haute mer en cas d’accident entraînant ou pouvant entraîner une pollution par les hydrocarbures, adoptée à Bruxelles le 29 Novembre 1969 et son protocole, fait à Londres le 02 Novembre 1973.
- **2011** – Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.
- **2012** – Décret présidentiel n°12–416 du 11 Décembre 2012 Portant ratification du Mémorandum d’entente entre le Gouvernement de la République algérienne démocratique et populaire et le Gouvernement de la République tunisienne dans les domaines de la maîtrise de l’énergie et des énergies renouvelables, signé à Alger le 2 Juillet 2009.
- **2013** – Convention de Minamata sur le mercure, adoptée à Kumamoto (Japon).
- **2014** – Décret présidentiel n° 14–376 du 30 Décembre 2014 portant ratification du Mémorandum d’entente entre le Gouvernement de la République algérienne démocratique et populaire et le Gouvernement de l’État du Koweït dans le domaine de l’environnement et du développement durable, signé à Koweït-City le 2 Octobre 2013.
- **2015** – Décret présidentiel n° 15–119 du 13 Mai 2015 portant acceptation de l’amendement de Doha au Protocole de Kyoto la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, adopté Doha, Qatar, le 8 Décembre 2012.
- **2016** – Décret présidentiel n° 16–262 du 13 Octobre 2016 portant ratification de l’Accord de Paris sur les changements climatiques adopté le 12 décembre 2015 JO.N° 60 du 13 Octobre 2016.

## Annexe 2

### Script de détection des plastiques océaniques de Sentinel Hub

```
/*  
Auteur du script: Bence Mélykúti, DPhil (Oxf)  
*/  
var estimator = -1.76e-05 + 10000*(-0.0003402*B01 -0.0004585*B02 + 0.001415*B03 +  
    0.01254*B04 -0.01112*B05 -0.01346*B06 + 0.002762*B07 + 0.002481*B08 +  
    0.009605*B8A + 0.001247*B09 -0.01462*B11 + 0.00406*B12);  
function clamp (a) {  
    return a < -1 ? 0 : a > 1 ? 1 : (1+a)/2;  
}  
function cividis (x) {  
    // x must be in [0,1]  
    // https://github.com/matplotlib/matplotlib/blob/master/lib/matplotlib/\_cm\_listed.py  
    return [x*0.995737, x*0.909344+(1-x)*0.135112, x*0.217772+(1-x)*0.304751];  
}  
var NDWI = (B03 - B08) / (B03 + B08);  
return NDWI < 0 ? [2.5*B04, 2.5*B03, 2.5*B02] : cividis(clamp(estimator));
```

## Annexe 3

### Aperçu des interdictions de plastique dans certains pays méditerranéens sélectionnés (Source : DALBERG ADVISORS, 2019).

Pays	Sacs	Couverts	Cotons-tiges	Gobelets	Micro-billes
<b>FRA</b>	<p><b>2016</b> : Interdiction de la distribution des sacs, sauf compostables ou biosourcés</p> <p><b>2016</b> : Minimum de contenu bio-sourcé dans les sacs d'ici 2025</p>	<p><b>2020</b> : Interdiction des cotons-tiges, couverts, verres et assiettes (à l'exception des couverts/verres/assiettes compostables et compostés à domicile et en partie biosourcés), pailles, couverts jetables, touillettes, couvercles jetables, barquettes alimentaires, pots, boîtes à salade, boîtes à boissons et agitateurs</p>			<p><b>2018</b> : Interdiction de l'introduction de nouveaux cosmétiques exfoliants contenant des microplastiques</p>
<b>ITA</b>	<p><b>2011</b> : Interdiction de fabrication, distribution et importation de sacs non biodégradables</p> <p><b>2018</b> : Interdiction des sacs plastiques ultra-légers pour les fruits et légumes</p>	<p><b>2019</b> : Interdiction de la fabrication et de la vente de cotons-tiges avec bâtonnet en plastique</p>			<p><b>2020</b> : Interdiction de la vente de tous les cosmétiques exfoliants ou détergents contenant des microplastiques</p>
<b>CRO</b>	<p><b>2019</b> : Taxe d'usage habituel et redevance pour les distributeurs de sacs plastiques de \$1,500/T pour les sacs non biodégradables</p>	<p><b>2019</b> : Le Parlement a voté l'interdiction des plastiques à usage unique : couverts, cotons-tiges, pailles, agitateurs, et gobelets en polystyrène issus de plastiques oxo-dégradables selon la directive européenne sur les plastiques à usage unique</p>			
<b>GRE</b>	<p><b>2018</b> : Taxe de 0,04 € sur les sacs plastiques, augmentée à 0,09 € en 2019</p>				
<b>TUR</b>	<p><b>2019</b> : 0,25 TL de taxe sur les sacs plastiques pour réduire la consommation de 440 à 90 sacs par habitant d'ici 2025</p>				
<b>TUN</b>	<p><b>2017</b> : Interdiction de la vente des sacs plastiques</p>				
<b>MAR</b>	<p><b>2015</b> : Interdiction de la production, vente et utilisation de sacs plastiques non biodégradables</p>				

---

## RESUME

Les déchets plastiques flottants dans l'océan constituent un problème majeur à l'échelle mondiale. Cette étude se concentre sur la détection des débris plastiques marins le long du littoral Algérois en utilisant l'Indice des Débris Flottants (FDI) et l'Indice de Végétation à Différence Normalisée (NDVI) pour le traitement des images satellitaires Sentinel-2 MSI niveau 2A, corrigées des effets atmosphériques par Sen2Cor, ainsi que le script de Copernicus utilisant l'Indice de l'Eau Normalisée (NDWI). Les images présentent une résolution spatiale de 10 mètres et couvrent la baie d'Alger, la baie de Zemmouri et la baie de Bou Ismail. Les résultats indiquent la détection de 26 pixels de plastique, équivalant à environ 13 000 kg de déchets plastiques. Une augmentation notable de la pollution plastique a été observée, avec des pics enregistrés le 6 octobre et le 25 novembre 2023. De plus, une analyse détaillée de l'occupation du sol montre que l'urbanisation constitue environ 50 % de la superficie totale des communes côtières d'Alger, soit environ 100 km<sup>2</sup>. Ces résultats soulignent l'importance d'une approche interdisciplinaire pour une gestion efficace des déchets plastiques marins en Algérie et la nécessité de renforcer les mesures de mise en œuvre sur le terrain.

**Mots-clés:** Télé-détection, Déchets Plastiques, Sentinel-2, FDI, Littoral Algérois

---

## ABSTRACT

Floating plastic debris in the ocean constitutes a major global problem. This study focuses on detecting marine plastic debris along the Algerian coastline using the Floating Debris Index (FDI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for processing Sentinel-2 MSI Level 2A satellite images, corrected for atmospheric effects by Sen2Cor, as well as the Copernicus script using the Normalized Water Index (NDWI). The images have a spatial resolution of 10 meters and cover the Bay of Algiers, the Bay of Zemmouri, and the Bay of Bou Ismail. The results indicate the detection of 26 plastic pixels, equivalent to approximately 13,000 kg of plastic debris. A notable increase in plastic pollution was observed, with peaks recorded on October 6, and November 25, 2023. Additionally, a detailed land use analysis showed that urbanization constitutes about 50% of the total area of the coastal communes of Algiers, approximately 100 km<sup>2</sup>. These results underscore the importance of an interdisciplinary approach for effective marine plastic waste management in Algeria and the need to strengthen implementation measures on the ground.

**Key-words:** Remote Sensing, Plastic Debris, Sentinel-2, FDI, Algerian coastline

---

## الملخص

تُشكل النفايات البلاستيكية الطافية في المحيط مشكلةً كبيرة على الصعيد العالمي. تركز هذه الدراسة على اكتشاف النفايات البلاستيكية الطافية على طول الساحل الجزائري باستخدام مؤشر النفايات الطافية ومؤشر الفرق النباتي المعياري لمعالجة صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 MSI المستوى A2، المصححة من التأثيرات الجوية بواسطة Sen2Cor، وكذلك باستخدام سكريبت Copernicus بمؤشر الماء المعياري. تبلغ دقة الصور 10 أمتار وتشمل خليج الجزائر وخليج بومرداس وخليج بو إسماعيل. تشير النتائج إلى اكتشاف 26 بيكسل من البلاستيك، ما يعادل حوالي 13,000 كغ من النفايات البلاستيكية. لوحظت زيادة كبيرة في التلوث البلاستيكي، مع تسجيل ذروتين في 6 أكتوبر و25 نوفمبر 2023. بالإضافة إلى ذلك، يُظهر تحليل تفصيلي لاستخدام الأراضي أن المخطط العمراني يشكل حوالي 50% من المساحة الإجمالية للبلديات الساحلية في الجزائر، أي ما يقرب من 100 كم<sup>2</sup>. تؤكد هذه النتائج على أهمية اتباع نهج متعدد التخصصات للإدارة الفعالة للنفايات البلاستيكية البحرية في الجزائر والحاجة إلى تعزيز تدابير التنفيذ على أرض الواقع.

**الكلمات المفتاحية:** الاستشعار عن بعد، النفايات البلاستيكية، Sentinel-2، مؤشر النفايات الطافية، الساحل الجزائري