



- **Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'Etat en Sciences de la Mer**  
**Option: Gestion et Protection du Littoral**

**Thème :**

**Analyse et géolocalisation des risques liés aux émissions industrielles et urbaines en zone littorale**

**Présenté par :**

Guessab Haithem

Belhouadjeb Rayan

Soutenu le 03/07/2024, devant le jury composé de :

<b>Mr. Bouaicha F</b>	<b>MCB (ENSSMAL)</b>	<b>Président</b>
<b>Mme. Ghazi M</b>	<b>MCA (ENSSMAL)</b>	<b>Promotrice</b>
<b>Mme. Benzouai S</b>	<b>MCB (ENSSMAL)</b>	<b>Examinatrice</b>

# Remerciements :

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs circonstances, faits et personnes à qui on voudrait témoigner toute notre gratitude.

Au terme de ce travail, nous remercions **Dieu le Tout-Puissant** pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

On remercie **nos parents** pour leur soutien tout au long de notre parcours qui n'a pas été un long fleuve tranquille. Sans leur soutien indéfectible, le parcours parcouru, qui se termine par le présent mémoire, n'aurait jamais pu voir le jour.

Nous remercions particulièrement notre promoteur **Ghazi Malika**, Maitre de conférences à l'ENSSMAL qui nous a encadré de plus près pour mener à terme ce travail. Sa disponibilité et son implication scientifique dans cette thématique nous ont permis d'être éclairés sur de nombreuses questions complexes et surmonter ainsi les moments critiques de ce mémoire.

Nous tenons à remercier **Bouaicha Farid**, Maitre de conférences à l'ENSSMAL d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Nous s'adressons nos remerciements les plus vifs à **Benzouai Siham**. Maitre de conférences à l'ENSSMAL pour avoir accepté d'examiner notre travail et de nous faire part de ces retours.

Nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire, avec une pensée particulière pour **Malik Ait Kaci**, Ingénieur Laboratoire à l'ENSSMAL.

Nos vifs remerciements sont également adressés à l'ensemble de **la famille ENSSMAL** qui comprend le Personnel de l'Ecole, nos enseignants ainsi que nos amis et collègues depuis le début de l'aventure ENSSMAL en 2019.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers l'ensemble de **nos enseignants** qui nous ont formé et nous ont apporté leur soutien moral tout au long de notre cursus scolaire et universitaire depuis 18 ans.

Pour finir, je remercie mon binôme pour sa confiance, son soutien inestimable et surtout pour les agréables moments passés ensemble.

***Merci***

## Table des matières

Remerciements : .....	2
Table des matières .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Liste des figures : .....	1
Liste des Tableaux : .....	2
Résumé .....	3
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	6
INTRODUCTION .....	7
I.1. Les sources anthropiques des émissions des métaux .....	7
I.1.1 Les activités industrielles : .....	7
I.1.1.1 Les traitements de surface .....	7
I.1.1.2 La métallisation du plastique : .....	9
I.1.1.3 La métallurgie : .....	11
I.1.1.4 Le raffinage .....	12
I.1.2 Les activités agricoles : .....	12
I.1.3 Les activités urbaines : .....	13
I.1.3.1 Les eaux usées : .....	13
I.1.3.2 Le trafic routier .....	14
I.1.3.3 L'incinération des déchets .....	15
I.2 Devenir des métaux dans l'environnement aquatique .....	16
I.2.1 Les eaux côtières et les sédiments marins : .....	16
I.2.2 Le comportement géochimique et la biodisponibilité : .....	16
I.2.3 L'interaction des organismes marins : .....	17
I.3 Les impacts et les risques des polluants métalliques .....	18
I.3.1 L'écotoxicité aquatique et terrestre des métaux : .....	18
I.3.2 La toxicité humaine des métaux : .....	19
Conclusion : .....	20
Chapitre II : Matériel et méthodes .....	21
Introduction .....	22
II.1 Présentation de la zone d'étude .....	22
II.1.1 La baie d'Alger : .....	22
II.1.2 Le bassin versant de Oued El Harrach : .....	23
II.1.3 Précipitations et débit de l'Oued El Harrach) : .....	23

II.1.4 Inventaire et géolocalisation des émissions métalliques industrielles :.....	24
II.1.4.1 La collecte des données et l'investigation de terrain :.....	25
II.2 L'échantillonnage des points de rejets dans les oueds :.....	27
II.2.1 La géolocalisation des sources émettrices de métaux et des sites de prélèvement : .....	27
II.2.2 Analyse géochimique des sédiments : .....	29
II.3 L'évaluation des impacts toxiques des émissions métalliques .....	34
II.3.1 L'écotoxicité aquatique et terrestre :.....	34
II.3.2 La toxicité humaine .....	35
II.4 L'estimation des masses totales à partir des flux anthropiques de métaux.....	35
II.5 L'évaluation des risques toxiques des émissions métalliques .....	36
Conclusion :.....	37
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	39
III.1. Calcul des scores d'impacts :Toxicité humaine, Ecotoxicité aquatique et marine : .....	40
III.1.1 Calcul des scores d'impact des effluents d'industries :.....	40
III.1.2 Calcul des scores d'impact des eaux des Oueds : .....	45
III.1.3 Calcul des scores d'impact des sédiments des Oueds :.....	51
III.2 Calcul des quotients de risques toxiques.....	54
III.2.1 La caractérisation du risque : .....	54
III.2.2 Evaluation des scénarios d'exposition au risque toxique :.....	54
III.3 La géolocalisation des impacts et des risques toxiques.....	57
III.3.1 La géolocalisation des scores d'impact des zones industrielles :.....	57
III.3.2 La géolocalisation des scores d'impact des eaux et des sédiments des oueds :.....	59
Conclusion Générale :.....	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	62
Annexes.....	68

# Liste des figures :

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude.....	22
Figure 2: Bassin versant Oued El Harrach .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 3 : Sites de prélèvement des sédiments dans la zone d'étude.....	27
Figure 4 : La géolocalisation des activités industrielles émettrices de métaux (Ce travail, Guessab et Belhouadjeb).....	28
Figure 5 : Carte de géolocalisation des sites de prélèvements .....	29
Figure 6: Lyophilisateur de type CHRIST .....	30
Figure 7: Broyage de sédiment lyophilisés .....	30
Figure 8: Minéralisation des échantillons par micro-onde .....	30
Figure 9 :Spectrométrie d'absorption atomique (SAA).....	31
.....	40
Figure 10 : Score de toxicité humaine (ZI El-Harrach) .....	40
Figure 11 de Score d'Ecotoxicité aquatique (ZI El-Harrach).....	41
Figure 12 : Score d'Ecotoxicité des sédiments de l'oued (ZI el Harrach) .....	41
.....	42
Figure 13 : Score de toxicité humaine de la zone Oued Samar.....	42
Figure 14 : Score d'Ecotoxicité aquatique de la zone Oued Samar.....	42
Figure 15 : Score d'Ecotoxicité des sédiments de la zone Oued Samar.....	43
Figure 16 : Score de toxicité humaine de la zone Djésre Kassantina .....	44
Figure 17 : Score d'Ecotoxicité aquatique de la zone Djésre Kassantina .....	44
Figure 18 : Score d'Ecotoxicité des sédiments (Oued Baba Ali) de la zone djesere Kassantina.....	44
Figure 19 : Scores de Toxicité humaine de l'Oued El Harrach aval .....	46
Figure 20 : Score d'écotoxicité marine de l'Oued El Harrach aval.....	45
Figure 21 : Score d'écotoxicité des sédiments marins de l'Oued El Harrach aval.....	45
Figure 22: Scores de d'Ecotoxicité aquatique de l'Oued El-Harrach aval.....	45
Figure 23: Scores de Toxicité humaine des eaux de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali .....	47
Figure 24: Scores d'Ecotoxicité marine des eaux de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali .....	48
.....	48
Figure 25: Scores d'Ecotoxicité marine des sédiments marins de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali .....	48
Figure 26: Scores d'Ecotoxicité aquatique de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali.....	48
Figure 27: Scores de Toxicité humaine des eaux de l'Oued Samar.....	48

Figure 28: Scores d'écotoxicité marine de l'Oued Samar.....	48
Figure 29: Scores d'écotoxicité des sédiments marins d'Oued Samar.....	48
Figure 30: Scores d'écotoxicité aquatique de l'Oued Samar.....	48
Figure 31 : Scores d'écotoxicité des sédiments à l'aval de l'oued El-Harrach.....	49
Figure 31 : Scores d'écotoxicité des sédiments à l'aval de l'oued El-Harrach.....	49
Figure 32 : Scores d'écotoxicité des sédiments à l'amont d'Oued El Harrach et Baba Ali.....	50
Figure 33 : Scores d'écotoxicité des sédiments l'Oued Samar.....	50
<i>Figure 34: QD Adulte pour la sardine .....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 35 : QD Adulte pour l'Espadon .....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 36 : QD Enfant pour la Sardine .....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 37 : QD Enfant pour l'Espadon .....</i>	<i>56</i>
Figure 38: Carte de géolocalisation des Scores d'impact toxique des industries (Ce travail, Guessab et belhouadjeb 2024).....	57
Figure 39: Carte de géolocalisation des risques et scores d'impact des eaux et des sédiments (Ce travail, Guessab et belhouadjeb 2024).....	58

## Liste des Tableaux :

Tableau 1:Etapes essentielles de traitement de surface.....	8
Tableau 2:Caractéristiques des métaux émis par l'industrie de traitement de surface.....	10
Tableau 3:Métaux émis par l'industrie de la métallisation du plastique .....	11
Tableau 4 : Les précipitations annuelles bassin versant de l'oued El Harrach (Station de Baraki-pont, Période1971/2011).....	24
Tableau 5: Débit moyen mensuel en aval d'oued El Harrach .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 6: Entreprises et types d'activité identifiées dans la zone d'étude .....	26

# Résumé

Ce projet de fin d'études porte sur l'analyse et la géolocalisation des impacts et des risques liés aux émissions industrielles et urbaines des métaux dans le littoral algérien. Le travail est structuré en trois chapitres principaux : une synthèse bibliographique, une description des méthodes utilisées et une présentation des résultats discutés. La synthèse bibliographique aborde les sources de la pollution métallique, leur devenir dans l'environnement aquatique et leurs impacts toxiques sur l'homme et l'écosystème. Les méthodes utilisées comprennent l'inventaire des émissions industrielles de la zone d'étude, les techniques de prélèvement et d'analyse, les outils de géolocalisation ainsi que les méthodes d'évaluation des impacts et des risques toxiques. Les résultats montrent des niveaux significatifs d'impacts et de risques qui sont liés aux types d'émissions métalliques, leur variabilité spatiale ainsi que les cibles exposées. La conclusion met en avant la nécessité de surveiller les niveaux de pollution et de mettre en œuvre des mesures de réduction des émissions pour protéger la santé publique et les écosystèmes marins.

# INTRODUCTION GENERALE

La pollution métallique représente une menace croissante pour la santé humaine et les écosystèmes littoraux, particulièrement dans les zones caractérisées par une forte démographie ainsi qu'une intensification des activités urbaines et industrielles comme il est le cas dans la bande côtière en Algérie.

D'une façon générale, les principales sources anthropiques génératrices de rejets métalliques sont :

- les rejets des activités industrielles telles que les tanneries, les papeteries, les usines de fabrication de chlore et les usines métallurgiques produisent des effluents contenant des métaux lourds comme le cadmium, le chrome et le mercure. Ces métaux peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques même à de faibles concentrations et peuvent avoir des effets à long terme sur la santé des écosystèmes.
- les pratiques agricoles telles que l'épandage d'engrais contenant des métaux lourds ou l'utilisation de boues résiduelles provenant des stations d'épuration peuvent entraîner la contamination des sols et des eaux de surface. Les métaux peuvent ensuite être lessivés dans les cours d'eau par les eaux de ruissellement. Certains fongicides contiennent des métaux lourds comme le cuivre, qui peuvent être relargués dans l'environnement et contaminer les eaux douces et les écosystèmes associés.
- l'incinération des déchets et la combustion de carburants dans les véhicules peuvent libérer des métaux lourds dans l'atmosphère, qui peuvent ensuite retomber dans les cours d'eau par les précipitations atmosphériques.
- le ruissellement des eaux de pluie où les surfaces imperméables comme les toitures et les routes peuvent accumuler des métaux lourds provenant de sources diverses telles que les dépôts atmosphériques, les véhicules et les activités industrielles. Ces métaux sont ensuite lessivés par les eaux de pluie et transportés vers les eaux de surface.

En effet, des métaux dits « lourds » comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont des polluants persistants qui sont émis par plusieurs types d'activités anthropiques et peuvent s'accumuler dans les sols et les sédiments en affectant les organismes terrestres et aquatiques. Leurs impacts toxiques sont bien documentés, montrant des effets néfastes sur la biodiversité et des risques potentiels pour la santé humaine via la chaîne alimentaire (Newman et al.1994 ; Campbell et al. 2004 ; Le Goff et al. 2004 ; Geoffrey et al. 2020).

D'autre part, de nombreux travaux ont été consacrés au problème de la pollution aux métaux lourds qui sont émis par les activités industrielle et urbaines dans plusieurs régions du monde (Dagne 2020 ; Eunice et al. 2020 ; Reta et al. 2023). Sur le littoral algérien, plusieurs auteurs

ont mis en évidence la pollution des eaux et des sédiments marins par les métaux d'origine anthropique ainsi que leurs impacts sur la vie aquatique (Boulahdid et al. 2003, Errahmani et al. 2020, Benhalima et al. 2022, Aroua et al. 2022, Soualili et al. 2008, Houas 2014, Morsli et Bouyakoub 2018, Kechidi 2014, Louati 2015).

Ce projet de fin d'études se concentre sur l'analyse et la géolocalisation des émissions industrielles et urbaines de métaux lourds dans le littoral algérien, en particulier dans la région d'Alger. En combinant des méthodes d'analyse des impacts et des risques avec des outils de géolocalisation, cette étude vise à identifier les contributions des différentes sources de pollution métallique et d'évaluer les niveaux d'impacts et des risques toxiques sur les cibles exposées. Le manuscrit est structuré en trois chapitres principaux : une synthèse bibliographique, la description du matériel et des méthodes utilisés, et enfin, les résultats et discussions.

La synthèse bibliographique couvre les sources anthropiques de pollution métallique, leur devenir dans l'environnement aquatique et leurs impacts.

Le chapitre sur le matériel et les méthodes détaille la zone d'étude et l'inventaire des émissions métalliques locales, les techniques de prélèvement et d'analyse des échantillons, ainsi que l'utilisation des outils de géolocalisation.

Le chapitre final présente les résultats d'évaluation obtenus et leurs interprétations avec la géolocalisation des impacts et des risques potentiels qui sont liés aux émissions métalliques par les activités industrielles dans la zone d'étude.

Des recommandations peuvent être proposées pour la gestion des impacts de ce type de pollution et la minimisation des risques sur la santé humaine et l'écosystème.

# **Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

# INTRODUCTION

Les activités anthropiques exercent une pression croissante sur l'environnement, en particulier à travers les émissions de polluants métalliques. Ce chapitre propose une analyse approfondie des sources industrielles, urbaines et agricoles d'émissions de métaux lourds, ainsi que de leur devenir et de leurs impacts dans les écosystèmes aquatiques côtiers et marins.

Tout d'abord, les principales sources anthropiques génératrices de rejets métalliques sont examinées. Les procédés industriels tels que les traitements de surface, la métallisation des plastiques, la métallurgie et le raffinage pétrolier sont identifiés comme des contributeurs majeurs. Dans le secteur agricole, l'épandage d'engrais et de pesticides introduit également des métaux lourds dans l'environnement. Les activités urbaines, avec les eaux usées domestiques et industrielles, le trafic routier et l'incinération des déchets, représentent également des sources significatives de contamination métallique.

Ensuite, le devenir de ces métaux dans le compartiment aquatique côtier et marin est analysé. Les processus physicochimiques régissant leur transfert, comme la dissolution, la complexation, la précipitation, l'adsorption et la remobilisation, sont décrits en détail. L'influence de ces mécanismes sur la biodisponibilité et la toxicité des métaux pour les organismes aquatiques est soulignée.

Par ailleurs, le comportement géochimique des métaux, incluant leur spéciation chimique et leurs interactions avec les phases solides et dissoutes, est abordé. Cet aspect est essentiel pour comprendre leur mobilité, leur réactivité et leur transfert potentiel le long de la chaîne trophique aquatique.

Enfin, les impacts éco toxicologiques des métaux lourds sur les écosystèmes aquatiques côtiers et marins, ainsi que les risques pour la santé humaine liés à la consommation de ressources contaminées, sont mis en évidence. Les effets à différents niveaux d'organisation biologique, allant des organismes individuels aux communautés entières, sont explorés.

## I.1. Les sources anthropiques des émissions des métaux

### I.1.1 Les activités industrielles :

#### **I.1.1.1 Les traitements de surface**

Le traitement de surface (TS) est une activité industrielle qui modifie l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de les adapter à des conditions d'utilisation spécifiques. La modification peut être réalisée de manière mécanique, chimique, électrochimique ou physique.

Cette activité industrielle produit des déchets solides ainsi que des effluents gazeux et liquides pouvant contenir des substances polluantes en raison de l'utilisation de produits chimiques

durant toutes les étapes du procédé de fabrication. En effet, le traitement de surfaces est caractérisé par la manipulation de réactifs toxiques et leurs produits de dégradation, ainsi que les substrats traités et leur réaction avec ces produits. Le flux polluant total est déterminé par la composition des flux de pollution de chaque module et leur part dans le flux global. Les effluents provenant des activités d'entretien sont des sources supplémentaires de pollution, mais ils peuvent parfois représenter une partie importante des flux à traiter (Rigaud J., 1998 ; Adeline Tatangelo. (2013))

Dans le tableau 1 ci-dessous, sont résumées les étapes principales de traitement de surface.

**Tableau 1** : Etapes essentielles de traitement de surface .

<b>Types de traitements</b>	<b>Propriétés</b>
Le dégraissage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyage de la pièce de toutes traces de graisse ou d'huile, afin de la préparer au revêtement suivant</li> <li>• Action à l'aide de solvants organiques ou aqueux</li> <li>• Dégraissage électrolytique, chimique ou par ultrasons</li> </ul>
Le décapage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dissolution chimique de la surface métallique</li> <li>• Action à l'aide d'acides sulfurique, chlorhydrique, nitrique, phosphorique ou fluorhydrique</li> </ul>
La démétallisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimination de la couche superficielle de métal sur la pièce</li> <li>• Traitement chimique ou électrolytique</li> </ul>
La neutralisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt de la réaction chimique après traitement</li> <li>• Action en milieu acide ou basique</li> </ul>

### **Les émissions de métaux par l'activité de traitement de surface**

Les concentrations de métaux dans les effluents de traitement de surface varient en fonction des procédés utilisés, des réglementations et des techniques de traitement mises en place. La gestion des effluents liquides dans l'industrie du traitement de surface est essentielle pour respecter les réglementations environnementales. Différentes techniques sont utilisées pour réduire les concentrations de métaux dans les effluents. Elles visent à prolonger la durée de vie des bains de traitement, à concentrer les bains de rinçage et à récupérer les métaux ou les solutions valorisables. Ces méthodes sont choisies en fonction des coûts, de la compatibilité avec les installations existantes et de l'efficacité de réduction des concentrations de métaux. Plusieurs techniques de traitements peuvent être citées :

- Électrolyse : Utilisée pour récupérer des métaux par électrolyse.
- Cémentation : Permet de récupérer des métaux sous forme de dépôts.
- Ultrafiltration : Élimine les particules fines et les métaux dissous.
- Filtration sur sable : Réduit les concentrations en métaux.
- Résines de finition : Utilisées pour capturer les métaux.

Dans les effluents de traitement de surface, on peut trouver divers métaux en fonction des procédés utilisés et des matériaux traités. Il est important de surveiller et de gérer ces métaux pour minimiser leur impact sur l'environnement et la santé humaine. Les traitements de dépollution et de récupération sont essentiels pour réduire les concentrations de métaux dans les effluents. Quelques caractéristiques des métaux émis par cette industrie sont résumées dans le tableau 2.

**Tableau 2** : Caractéristiques des métaux émis par l'industrie de traitement de surface (MTD 2006)

<b>Métaux</b>	<b>Fonction du métal dans le procédé industriel</b>	<b>Concentration moyenne dans les effluents</b>
<b>Cr</b>	Le chrome est souvent utilisé pour améliorer la résistance à la corrosion et l'aspect esthétique. Il peut se retrouver dans les effluents lors du rinçage des pièces chromées.	< 1mg/L
<b>Cu</b>	Le cuivre est utilisé dans certains procédés de placage et de galvanoplastie. Dans les effluents, les concentrations de cuivre sont variables.	< 1mg/L
<b>Zn</b>	Le zinc est couramment utilisé pour le placage galvanique et la protection contre la corrosion. Les concentrations de zinc dans les effluents sont variables	<5 mg/L
<b>Ni</b>	Le nickel est utilisé pour le placage et la finition des surfaces métalliques. Les concentrations de nickel dans les effluents peuvent varier, mais elles sont variables.	< 1mg/L
<b>Pb</b>	Le plomb peut encore être présent dans les effluents provenant de certaines opérations de traitement de surface, même s'il est de moins en moins utilisé en raison de ses effets nocifs sur la santé. Dans les effluents, les concentrations de plomb sont variables.	< 1mg/L
<b>Hg</b>	Le mercure peut être présent notamment dans les procédés de placage et de finition. Les concentrations de mercure sont généralement très faibles dans les effluents.	< 1mg/L
<b>Ag</b>	L'argent est utilisé pour le placage et la décoration. Ses concentrations sont généralement très faibles dans les effluents.	< 1mg/L
<b>Sn</b>	L'étain est utilisé pour le placage et la protection contre la corrosion. Ses concentrations sont généralement très faibles dans les effluents.	< 1mg/L

### **I.1.1.2 La métallisation du plastique :**

La métallisation des pièces plastiques est un procédé de traitement de surface qui consiste à déposer une fine couche de métal sur une pièce en plastique dans le but de modifier son apparence ou ses caractéristiques techniques. Plusieurs secteurs industriels utilisent les plastiques métallisés spécifiques tels que le polypropylène ou PP dans la cosmétique et l'acrylonitrile butadiène styrène ou ABS dans l'industrie automobile (pièces mécaniques) ainsi que dans le secteur médical. La performance de ce procédé dépend en grande partie de l'adhérence au revêtement métallique, c'est-à-dire de la capacité à maintenir une liaison forte

de pièce plastique avec le métal déposé. Cette adhérence est déterminée par plusieurs facteurs, notamment : (i) l'adhésivité qui dépend de la capacité du substrat plastique à interagir et à former des liaisons solides avec le métal ; (ii) l'état de surface du substrat qui inclue la surface spécifique, la présence de sites actifs, la porosité, la rugosité et la pollution de la surface du plastique ; (iii) la mouillabilité qui détermine la capacité du métal fondu à mouiller la surface du plastique, créant ainsi un contact intime entre les deux entités. La préparation de la surface du substrat à métalliser est donc primordiale pour optimiser le résultat du procédé de métallisation. Cette étape consiste à créer la rugosité nécessaire sur la surface du substrat pour favoriser l'ancrage mécanique. L'opération permet d'éliminer toute trace de graisse, de rouille et d'oxyde par lancement à grande vitesse et sous haute pression des particules abrasives d'alumine contre le substrat à l'aide d'air comprimé.

L'étape suivante de la métallisation des polymères peut être réalisée selon les objectifs par plusieurs méthodes physiques et chimiques (Larbi S. 2016), dont :

- la déposition sous vide qui comprend la déposition par vaporisation physique ou PVD (Physical Vapour Deposition) et la déposition chimique en phase vapeur ou CVD (Chemical Vapour Deposition) ;
- la déposition par immersion dans des métaux fondus qui est appliquée essentiellement sur des surfaces en acier ou en fer ;
- la déposition par voie chimique selon le processus d'ionisation du métal par déplacement ou contact ou celui d'oxydation d'une forme réduite en solution ;
- la déposition par voie électrolytique où les pièces sont soumises à un traitement électrolytique pour renforcer le dépôt métallique ;
- la déposition par projection thermique qui regroupe un ensemble de procédés où un matériau est fondu et porté à un état plastique par une source de chaleur puis projeté par un gaz vecteur sur la surface à revêtir où il se solidifie (Kherraf 2014).

Les effluents pollués de l'activité de la métallisation du plastique sont constitués des rinçage(s) des pièces métallisées et des bains de métallisation usés (devenus impropres à leur usage). La quantité et la qualité de ces effluents dépendent donc de la nature, de la concentration des bains et de l'ingénierie de l'atelier (ex. temps d'égouttage entre bains et rinçage (Tabl. 3).

Tableau 3 : Métaux émis par l'industrie de la métallisation du plastique (Maciej T. et al. 2021)

Paramètre	Avant traitement	Après traitement par Na <sub>2</sub> CS <sub>3</sub>	% d'élimination	Après traitement par NaOH	% d'élimination	Après traitement par 15% de suspension de Ca(OH) <sub>2</sub>	% d'élimination	Après traitement par 15% de suspension de CaO	% d'élimination
pH	3.4 ± 0.1	9.7 ± 0.1	-	11.0 ± 0.1	-	11.1 ± 0.1	-	11.1 ± 0.1	-
(Cu), mg/L	59.0 ± 5.90	0.12 ± 0.01	99.80	2.50 ± 0.25	95.76	2.9 ± 0.29	95.08	2.8 ± 0.28	95.25

Paramètre	Avant traitement	Après traitement par Na <sub>2</sub> CS <sub>3</sub>	% d'élimination	Après traitement par NaOH	% d'élimination	Après traitement par 15% de suspension de Ca(OH) <sub>2</sub>	% d'élimination	Après traitement par 15% de suspension de CaO	% d'élimination
(Cd), mg/L	4.50 ± 0.45	0.10 ± 0.01	97.78	0.8 ± 0.08	82.22	0.50 ± 0.05	88.89	0.42 ± 0.04	90.67
(Zn), mg/L	22.70 ± 2.27	0.05 ± 0.01	99.78	4.6 ± 0.46	79.74	2.1 ± 0.21	90.75	2.2 ± 0.22	90.31
∑ <sub>Cu,Cd,Zn</sub> , mg/L	86.20 ± 8.62	0.27 ± 0.03	99.69	7.90 ± 0.79	90.84	5.50 ± 0.55	93.97	5.42 ± 0.54	93.71

### I.1.1.3 La métallurgie :

La métallurgie consiste à traiter les minéraux par une combinaison de procédés chimiques et mécaniques afin d'en extraire les parties utiles de manière économique et avec le moins de pertes possible. La métallurgie vise donc à optimiser la récupération des éléments précieux contenus dans les minerais.

Ainsi, la métallurgie peut être générale, couvrant un large éventail de métaux et de minéraux, ou spéciale, se concentrant sur des métaux particuliers comme l'or et l'argent. Dans tous les cas, l'objectif fondamental de la métallurgie reste d'appliquer des techniques efficaces pour extraire et manipuler les métaux de manière rationnelle et économique.

La métallurgie implique deux types de traitements chimiques, selon le produit désiré : l'extraction et la composition. Ces processus sont exécutés à grande échelle à l'aide de moyens mécaniques, et portent des noms familiers en chimie comme la fonte et l'amalgamation. Les opérations métallurgiques comprennent des étapes préparatoires telles que le grillage, ainsi que des étapes subséquentes comme le raffinage de l'argent par coupellation. En somme, la métallurgie consiste à manipuler chimiquement et mécaniquement les minerais pour obtenir des métaux utilisables.

Différents procédés et méthodes métallurgiques sont utilisées pour extraire et séparer divers métaux:

- Les méthodes d'extraction séparée des alliages d'or, d'argent, de cuivre et de plomb comme les ateliers d'amalgamation, de liquation et les laboratoires de raffinage.
- Les procédés métallurgiques pour obtenir le fer à partir de minerais de fer à haute température, où les produits résultants sont la fonte, le fer doux et l'acier.
- Le procédé de fondage pour extraire l'étain.
- Le procédé de liquation pour obtenir le bismuth et le sulfure d'antimoine. L'antimoine métallique est ensuite extrait par la fonte.
- Le procédé de distillation pour obtenir le mercure, le zinc et le soufre. Le soufre et l'arsenic sont parfois récupérés par sublimation.
- L'amalgamation est principalement utilisée pour l'extraction de l'or et de l'argent à partir de leurs minerais.

- La liquation est utilisée pour le plomb, le bismuth et le sulfure d'antimoine.
- Le raffinage est principalement utilisé pour séparer les métaux précieux alliés comme l'or, l'argent et le cuivre.
- Le fondage qui est utilisé pour l'extraction de l'étain.

#### **I.1.1.4 Le raffinage**

Le pétrole brut est un mélange complexe d'hydrocarbures divers, composés d'atomes de carbone et d'hydrogène. Il existe ainsi plusieurs types de pétrole brut qui se distinguent notamment par leur viscosité et leur teneur en soufre. En raison de sa nature hétérogène, le pétrole brut est inutilisable tel quel et nécessite donc un processus de raffinage pour le rendre exploitable.

Une raffinerie de pétrole est un complexe industriel conçu pour traiter le pétrole brut afin de produire divers produits raffinés tels que l'essence, le fioul lourd et le naphta. Ces produits peuvent être destinés à la consommation directe, à des installations de conditionnement intermédiaires ou à l'industrie pétrochimique sous forme de matières premières.

Le raffinage englobe toutes les opérations de transformation, telles que la distillation, le craquage et la désulfuration. Ces opérations de raffinage permettent de séparer les différentes fractions du pétrole brut, pour les transformer ensuite en divers produits intermédiaires, tels que le naphta, qui est un ingrédient de base dans la fabrication des plastiques, ou en produits commercialisables tels que l'essence et le diesel.

Deux grandes catégories sont issues du raffinage pétrolier :

- Les produits énergétiques qui incluent des produits tels que l'essence, le diesel (gazole) et le fioul. Ce sont des combustibles utilisés dans les moteurs et les systèmes de chauffage.
- Les produits non énergétiques qui comprennent des produits tels que les lubrifiants, le bitume et les naphthas, Plastiques et Polymères ,Solvants, les produits pétrochimiques de base, les produits chimiques industriels. Ces produits sont utilisés dans l'industrie pétrochimique pour la fabrication de produits chimiques et plastiques.

Les émissions de métaux dans les eaux de production dépendent de plusieurs facteurs, notamment la géologie de la formation géologique traversée par le forage du puits, les types de fluides utilisés ainsi que les procédés de récupération, les conditions d'exploitation et les matériaux utilisés dans les installations pétrolières et gazières. Les métaux lourds tels que le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre et le zinc peuvent être présents dans les eaux de production en concentrations variables, en fonction de ces facteurs.

#### **I.1.2 Les activités agricoles :**

Plusieurs types d'activités agricoles contribuent à l'introduction des métaux dans les sols. Ces métaux peuvent ensuite être lessivés et transférés dans d'autres compartiments marins et continentaux (eaux de surface, eaux souterraines, eaux et sédiments marins...).

En plus des dépôts atmosphériques d'origine industrielle, les métaux peuvent entrer dans le sol de différentes manières, notamment par l'intermédiaire des engrais et des produits

phytosanitaires. Ainsi, la contamination des sols par ces métaux peut résulter de l'utilisation d'engrais minéraux contenant des concentrations variables de métaux en raison de leur présence dans les matières premières utilisées pour leur production. L'épandage d'engrais peut entraîner l'introduction de métaux dans les sols et les eaux tels que le Sr, le Ba, le Mn, le F, le Zn et le Cd, qui proviennent des craies phosphatées et du phospho-gypse. L'origine géographique des minerais phosphatés joue un rôle crucial. Par exemple, les gisements d'Idaho (États-Unis) par exemple, contiennent environ 200 ppm de Cd, tandis que certains gisements d'Afrique de l'Ouest en renferment jusqu'à 100 ppm, et seulement 1 ppm en provenance de Russie (Kola). Des quantités significatives de cuivre et de zinc peuvent pénétrer dans les sols agricoles grâce aux engrais organiques tels que le lisier et le fumier, d'autres métaux lourds tels que le cadmium, l'uranium ou le plomb peuvent être liés à l'utilisation d'engrais minéraux.

Les effluents d'élevage (lisiers et fumiers) peuvent également introduire du Cuivre, du Zinc et du Manganèse en raison de l'enrichissement de métaux dans les rations alimentaires des animaux (35 à 175 ppm de cuivre et 150 à 250 ppm de zinc).

Les produits phytosanitaires comme la bouillie bordelaise, composée de sulfate de cuivre additionné de chaux, peuvent apporter également du cuivre. Ce composé est couramment utilisé comme fongicide dans des cultures telles que la vigne et la pomme de terre. En outre, l'étain et l'arsenic peuvent également faire partie de la formulation de certains pesticides.

De nombreux pesticides utilisés peuvent également présenter des niveaux significatifs de métaux. Parmi eux, on trouve fréquemment des fongicides tels que la bouillie bordelaise, qui contient du cuivre, ainsi que des insecticides contenant du plomb et de l'arsenic. Les pertes par volatilisation peuvent atteindre jusqu'à 90% des doses appliquées, selon les propriétés physicochimiques des molécules, la matrice émettrice et les conditions environnementales travaux (Asman et al. 2003).

Les réglementations varient en fonction du type d'engrais utilisé, qu'il s'agisse d'engrais minéraux, d'engrais organiques, de compost ou de boues de station d'épuration. Chaque type d'engrais peut être soumis à des règles spécifiques en matière d'utilisation et de gestion. Les règlements tiennent compte également de la localisation des parcelles agricoles par rapport à divers zonages environnementaux.

### **I.1.3 Les activités urbaines :**

#### **I.1.3.1 Les eaux usées :**

Les eaux usées se divisent généralement en trois catégories : domestiques, industrielles et pluviales. Les cours d'eau peuvent naturellement épurer une partie de ces eaux, mais cela peut entraîner une diminution de l'oxygène disponible, nuisant à la vie aquatique. Lorsque les rejets dépassent la capacité d'auto-épuration des cours d'eau, cela peut causer des dommages durables à l'environnement, comme la mort des organismes aquatiques et la prolifération d'algues.

- Les eaux domestiques proviennent des usages courants de l'eau dans les foyers, principalement chargées de polluants organiques provenant des salles de bains et cuisines, ainsi que des déchets des toilettes.

- Les eaux industrielles présentent une grande diversité de contaminants, pouvant inclure des matières organiques, des produits toxiques, des métaux lourds et des hydrocarbures. Les grandes industries doivent généralement traiter leurs eaux avant de les rejeter dans les réseaux d'assainissement, tandis que les PME, comme les garages ou les entreprises de peinture, sont responsables de la majorité de la pollution par des déchets toxiques.
- Les eaux pluviales peuvent également causer des pollutions importantes, notamment en ramassant des impuretés atmosphériques et des résidus urbains tels que les huiles, les carburants et les métaux lourds des toitures et des chaussées. Dans les zones urbaines, l'imperméabilisation des sols aggrave le risque d'inondation et de pollution.

### **Les émissions des métaux lourds dans les eaux usées**

La présence de métaux lourds dans les eaux usées, provenant principalement des activités industrielles, représente un enjeu environnemental majeur. Lorsque ces eaux usées non traitées, chargées de métaux lourds, sont rejetées dans l'environnement, elles peuvent contaminer les écosystèmes aquatiques ainsi que les cultures agricoles avoisinantes. Cette contamination peut avoir des répercussions graves, car les métaux lourds ont la capacité de pénétrer dans la chaîne alimentaire, où ils peuvent être absorbés par les organismes vivants, y compris les êtres humains, et causer des problèmes de santé sérieux en raison de leur toxicité.

Les eaux usées industrielles contenant des métaux lourds proviennent de diverses sources, notamment :

- Les centrales électriques, où les processus de production peuvent entraîner la libération de métaux lourds dans les eaux de rejet.
- Les procédés de traitement des surfaces métalliques, tels que le placage et le revêtement, qui peuvent utiliser des produits contenant des métaux lourds.
- La galvanoplastie, un processus électrochimique utilisé pour appliquer des revêtements métalliques, qui implique souvent l'utilisation de métaux lourds tels que le chrome et le zinc.
- La fabrication électronique, où des métaux lourds sont présents dans les déchets produits par la fabrication de composants électroniques.
- La fabrication de produits chimiques organiques, qui peut générer des eaux usées contenant des métaux lourds utilisés comme catalyseurs ou additifs.
- L'industrie du fer et de l'acier, où la production et le traitement des métaux peuvent entraîner la libération de métaux lourds dans les eaux usées.
- Les activités minières et les carrières, où l'extraction et le traitement des minéraux peuvent entraîner la libération de métaux lourds présents dans les roches et les minerais.

### **I.1.3.2 Le trafic routier**

Le trafic routier contribue de manière significative aux émissions de métaux dans l'environnement. Les dépôts de métaux provenant de l'usure des moteurs et des pneus sont des sources majeures de pollution le long des routes. Les métaux tels que le plomb (Pb) et le cadmium (Cd) sont souvent présents dans ces dépôts, ce qui peut entraîner une contamination sur une bande de 10 à 20 mètres le long de l'axe routier. De plus, les eaux de ruissellement des chaussées urbaines peuvent transporter une charge importante de polluants, y compris des

métaux provenant des dépôts routiers. Dans les milieux urbains ou construits, les eaux de pluie peuvent également emporter des métaux des toitures, tels que le plomb (Pb), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu), contribuant ainsi à la pollution métallique dans les environnements urbains. En résumé, le trafic routier est une activité majeure responsable de l'émission de métaux dans l'environnement, principalement à travers l'usure des moteurs et des pneus, ainsi que par le biais des eaux de ruissellement des chaussées et des toitures dans les zones urbaines.

### **I.1.3.3 L'incinération des déchets**

L'incinération des déchets désigne le processus de combustion des déchets solides et liquides dans des installations spécialement conçues à cet effet. Ces installations modernes de combustion des déchets sont équipées de colonnes et de chambres de combustion fonctionnant à des températures élevées. Elles garantissent également des temps de séjour prolongés et un dispositif d'agitation efficace pour favoriser une combustion plus complète. De plus, elles permettent la circulation d'air pour favoriser la combustion.

Divers types de déchets sont incinérés dans ces installations, notamment les déchets solides municipaux (DSM), les déchets industriels, les déchets dangereux, les déchets médicaux provenant des hôpitaux et des cliniques, ainsi que les boues d'égouts.

En revanche, le brûlage à l'air libre fait référence à la combustion de matières combustibles telles que le papier, le bois, le plastique, le caoutchouc, les huiles usagées et d'autres débris directement dans l'environnement naturel ou dans des décharges à ciel ouvert. Dans ces cas, les fumées et autres émissions sont libérées directement dans l'air sans passer par une cheminée ou un système de filtration.

Il est également possible que le brûlage à l'air libre se fasse à l'aide d'appareils d'incinération qui ne contrôlent pas adéquatement l'air de combustion, ce qui peut compromettre la température requise pour une combustion efficace, ainsi que le temps nécessaire pour une combustion complète des déchets.

**Les émissions de métaux par l'incinération des déchets** Les métaux lourds sont fréquemment présents dans les décharges, comme l'ont démontré des études sur les lixiviats, les effluents liquides. Ces recherches ont révélé que même après 30 ans, environ 99,9 % des métaux initialement présents demeuraient dans la décharge.

Par ailleurs, un ordre de mobilité a été établi, indiquant la facilité de transfert de ces métaux dans la phase aqueuse :  $Ni > Zn > Cd > Cr > Pb > Cu$ .

Le pH, le potentiel redox, la présence de sulfures et la complexation sont des facteurs majeurs qui influent sur la possibilité de retrouver ces métaux dans les milieux aquatiques

# I.2 Devenir des métaux dans l'environnement aquatique

## I.2.1 Les eaux côtières et les sédiments marins :

Dans les eaux côtières et les sédiments, les métaux peuvent subir plusieurs processus. Dans l'eau, ils peuvent se dissoudre, former des complexes avec des composés organiques ou précipiter sous forme de particules. Dans les sédiments, les métaux peuvent s'adsorber à la surface des particules, être incorporés dans la structure du sédiment ou être remobilisés dans l'eau en fonction des conditions physico-chimiques telles que le pH, la salinité et la teneur en matière organique. Ces processus influencent l'accumulation, la biodisponibilité et la toxicité des métaux pour les organismes aquatiques (McGeer et al.2003).

Dans l'eau côtière :

- Dissolution et dispersion : Certains métaux peuvent se dissoudre dans l'eau en formant des ions métalliques, augmentant ainsi leur biodisponibilité pour les organismes aquatiques.
- Formation de complexes : Les métaux peuvent former des complexes avec des composés organiques dissous dans l'eau, ce qui peut influencer leur mobilité et leur toxicité.
- Précipitation : Certains métaux peuvent réagir avec des composés inorganiques dans l'eau et précipiter sous forme de particules solides. Ces particules peuvent ensuite se déposer dans les sédiments.

Dans les sédiments :

- Adsorption : Les métaux peuvent s'adsorber à la surface des particules de sédiment en raison de forces électrostatiques ou de liaisons chimiques. Cette adsorption peut être réversible ou irréversible en fonction des conditions environnementales.
- Incorporation : Certains métaux peuvent être incorporés dans la structure cristalline des minéraux du sédiment, ce qui les rend moins disponibles pour les organismes vivants mais potentiellement plus stables à long terme.
- Remobilisation : Les métaux adsorbés ou incorporés dans les sédiments peuvent être remobilisés dans l'eau sous forme dissoute ou particulaire en raison de processus tels que le mélange dû aux courants, la biodégradation des composés organiques ou les variations des conditions environnementales.

Ces processus sont influencés par divers facteurs environnementaux tels que le pH, la salinité, la température, la teneur en matière organique et la composition minéralogique des sédiments, ainsi que par les activités anthropiques telles que les déversements industriels, agricoles et urbains.

## I.2.2 Le comportement géochimique et la biodisponibilité :

Dans les milieux aquatiques, les métaux se trouvent sous diverses formes chimiques. Ces formes incluent des éléments et composés chimiques inorganiques (tels que carbonates,

chlorures et hydroxydes) ainsi que des composés organiques (comme ceux présents dans la matière organique dissoute), qui agissent en tant que ligands capables de former des complexes avec les ions métalliques. Ce processus est appelé complexation inorganique dans le premier cas et complexation organique dans le second.

Pour que les métaux présents dans les différents compartiments de l'environnement aquatique aient un effet sur les organismes, ils doivent être dans une forme chimique qui leur permette d'atteindre leurs cibles biologiques, c'est-à-dire qu'ils doivent être biodisponibles. La biodisponibilité des métaux peut être définie de différentes manières :

Selon Newman et Jagoe (1994), la biodisponibilité désigne la capacité d'un contaminant à être assimilé et/ou adsorbé par un organisme vivant.

Selon Campbell (2004), un métal est considéré comme biodisponible s'il est assimilé par un organisme et peut avoir un effet sur celui-ci. Les effets biologiques des métaux sont souvent liés à la concentration des ions métalliques libres ( $Mn^{+}$ ), ainsi qu'à celle de certaines formes complexées avec des ligands inorganiques et organiques. Des modèles tels que les Biotic Ligand Models sont développés pour évaluer la toxicité des métaux dans des conditions physico-chimiques spécifiques. Les espèces aquatiques peuvent être plus ou moins tolérantes aux variations de leur environnement. Les espèces sténoèces sont sensibles à de faibles variations des conditions environnementales, tandis que les espèces euryèces tolèrent des variations importantes. Toutes les modifications des concentrations de métaux dans le milieu peuvent affecter la biodiversité. Les bio indicateurs écologiques, tels que les organismes aquatiques indicateurs de pollution, sont utilisés pour diagnostiquer le niveau de contamination d'un milieu.

Les activités humaines entraînent des pollutions métalliques en concentrant certaines espèces métalliques dans des zones précises. Les métaux ne sont pas assimilables par les organismes vivants sous toutes leurs formes, donc la concentration totale en métal dans un environnement ne permet pas de prédire l'impact toxique et la bioaccumulation. Pour estimer la biodisponibilité d'un polluant, trois méthodes complémentaires sont utilisées :

Méthode chimique : elle décrit les différentes formes chimiques du contaminant dans le milieu (spéciation des métaux).

Méthode chimique et biologique : elle mesure la concentration du polluant accumulé dans un organisme exposé.

Méthode biologique : elle mesure la réponse toxique, enzymatique ou physiologique d'un organisme à une exposition.

La détermination de la fraction de métal présente dans le système permet d'évaluer l'accumulation potentielle de métaux chez les organismes

### **I.2.3 L'interaction des organismes marins :**

Jusqu'au début des années 1970, la surveillance de la contamination métallique se limitait principalement à l'analyse chimique de l'eau. Cette approche analytique, bien que précise pour

mesurer les concentrations de métaux, ne permettait pas d'évaluer la biodisponibilité de ces éléments en traces ni de prédire leur impact sur les organismes. C'est dans ce contexte que Goldberg (1975) a proposé l'utilisation d'organismes vivants pour évaluer la qualité de l'environnement, donnant ainsi naissance au concept d'indicateur biologique ou bioindicateur.

Les bio indicateurs sont précieux car ils révèlent les déséquilibres au sein des écosystèmes et permettent de détecter rapidement les modifications, naturelles ou provoquées, de ces écosystèmes. Leur sélection repose sur une connaissance approfondie de leur biologie, y compris leur mode de vie, leur stratégie de nutrition, leur reproduction et leur croissance. Les espèces choisies pour la surveillance environnementale doivent répondre à plusieurs critères :

- Elles doivent être sédentaires pour refléter fidèlement la région où elles se développent.
- Leur durée de vie doit être compatible avec les variations temporelles que l'on souhaite mesurer.
- Elles doivent être largement répandues géographiquement, abondantes et présentes tout au long de l'année.
- Elles doivent avoir une taille suffisamment grande pour fournir des échantillons de tissus en quantité adéquate pour les analyses.
- Elles doivent avoir une capacité d'accumulation vis-à-vis des substances considérées.
- Leur prélèvement doit être facile à réaliser.

De nombreux organismes marins, tels que les bivalves, accumulent des contaminants à des concentrations très élevées dans leurs tissus. Ce processus d'accumulation dépend des taux d'assimilation, d'excrétion et de stockage de chaque élément.

Le concept d'organisme sentinelle, comme le "Mussel Watch", repose sur des recherches portant sur les modèles de métabolisme des contaminants chez les bivalves. Cependant, les limites de ce concept, notamment l'utilisation d'une seule espèce pour surveiller l'environnement, ont été soulignées dans de nombreuses études. Ainsi, l'utilisation de plusieurs espèces, représentant différents niveaux trophiques, est devenue progressivement nécessaire pour une évaluation plus complète de l'impact des contaminants sur l'environnement.

## **I.3 Les impacts et les risques des polluants métalliques**

### **I.3.1 L'écotoxicité aquatique et terrestre des métaux :**

L'écotoxicité, qui est la nocivité pour les écosystèmes, peut résulter de la présence de métaux lourds, dont les effets sont particulièrement préoccupants. Ces métaux, bien que présents naturellement dans l'environnement à des concentrations faibles, peuvent causer des dommages considérables lorsqu'ils sont libérés en quantités excessives par les activités humaines.

Une fois dans l'eau, les métaux lourds peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques en perturbant leur physiologie, leur reproduction, leur croissance et leur comportement. De plus, ces métaux ont tendance à s'accumuler dans les tissus des organismes

vivants, ce qui peut entraîner une bioaccumulation tout au long de la chaîne alimentaire. Les espèces en haut de la chaîne alimentaire, y compris les humains, peuvent ainsi être exposées à des niveaux élevés de métaux lourds, ce qui peut avoir des conséquences graves sur la santé humaine

Les métaux sont présents naturellement dans les sols à des concentrations généralement faibles, influencées par la composition de la roche mère et les processus d'altération météorique (Cabral Pinto et al., 2017). Cependant, les activités humaines telles que l'exploitation minière, l'utilisation de pesticides et d'engrais agricoles ont contribué à accroître la concentration en métaux dans les sols. Cette augmentation des niveaux de métaux peut avoir des impacts écotoxiques tant sur les écosystèmes terrestres que sur les écosystèmes aquatiques, en raison de la lixiviation et du ruissellement de ces substances dans les cours d'eau. (Dhriti et al. 2021; Golam Kibria 2016 ; Ardestani et al., 2014)

La consommation d'eau contaminée par ces processus peut également entraîner des impacts toxiques sur la santé humaine. Cependant, l'évaluation précise des impacts écotoxiques des métaux est complexe en raison de divers facteurs. Les métaux interagissent avec leur environnement, formant des mélanges dans le sol, et leur effet est influencé par les conditions environnementales. De plus, chaque métal a un mode d'action spécifique qui dépend de ses propriétés et de la sensibilité des organismes exposés.

Certains métaux, tels que le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc, le chrome et le cobalt, sont essentiels à de faibles concentrations pour certains organismes. Cependant, un excès de ces métaux essentiels peut également avoir des effets nocifs. En revanche, des métaux non essentiels comme le mercure, le plomb, le cadmium et l'aluminium sont toxiques à toutes les concentrations d'exposition, ce qui entraîne des risques pour les écosystèmes et la santé humaine

### **I.3.2 La toxicité humaine des métaux :**

La toxicité humaine résulte de l'exposition à des substances à la fois cancérigènes et non cancérigènes, émises par diverses activités industrielles ou agricoles et présentes dans différents compartiments de l'environnement tels que l'air, le sol et l'eau. Ces substances peuvent affecter les humains par ingestion, inhalation ou exposition cutanée.

Le potentiel de toxicité humaine évalue l'impact des substances toxiques en les classant selon leurs effets cancérigènes et non cancérigènes. Parmi ces substances, on retrouve les métaux lourds, les dioxines, les solvants, les composés organiques et les pesticides.

Ces substances peuvent avoir des effets divers sur la santé humaine. Les effets cancérigènes peuvent provoquer le développement de cancers chez les individus exposés, tandis que les effets non cancérigènes peuvent inclure des troubles du système nerveux, des problèmes respiratoires, des altérations du système immunitaire, des perturbations hormonales, et d'autres problèmes de santé graves. Il est donc crucial de surveiller et de réglementer l'émission de ces substances toxiques afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Cela nécessite une évaluation approfondie des risques associés à leur exposition, ainsi que des mesures de prévention et de réduction de ces risques dans les activités industrielles et agricoles.

# Conclusion :

Il est important d'identifier les sources anthropiques des émissions de métaux lourds et de comprendre leur devenir dans l'environnement terrestre et aquatique, leur comportement géochimique ainsi que leurs impacts toxiques. La prise en compte de ces aspects devient nécessaire pour évaluer et gérer efficacement les risques liés aux émissions industrielles et urbaines en zone littorale. Ceci permet d'adopter des mesures de prévention, de traitement et de réglementation appropriées pour limiter les rejets de métaux lourds issus des activités humaines. Une gestion durable des ressources et des écosystèmes côtiers passe par une compréhension approfondie de ces enjeux et la mise en œuvre de stratégies visant à réduire les impacts néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Ce chapitre établit les bases théoriques pour aborder l'analyse et la géolocalisation des risques associés aux émissions industrielles et urbaines en zone littorale, qui seront explorés plus en détail dans les chapitres suivants de ce projet de fin d'études.

# **Chapitre II : Matériel et méthodes**

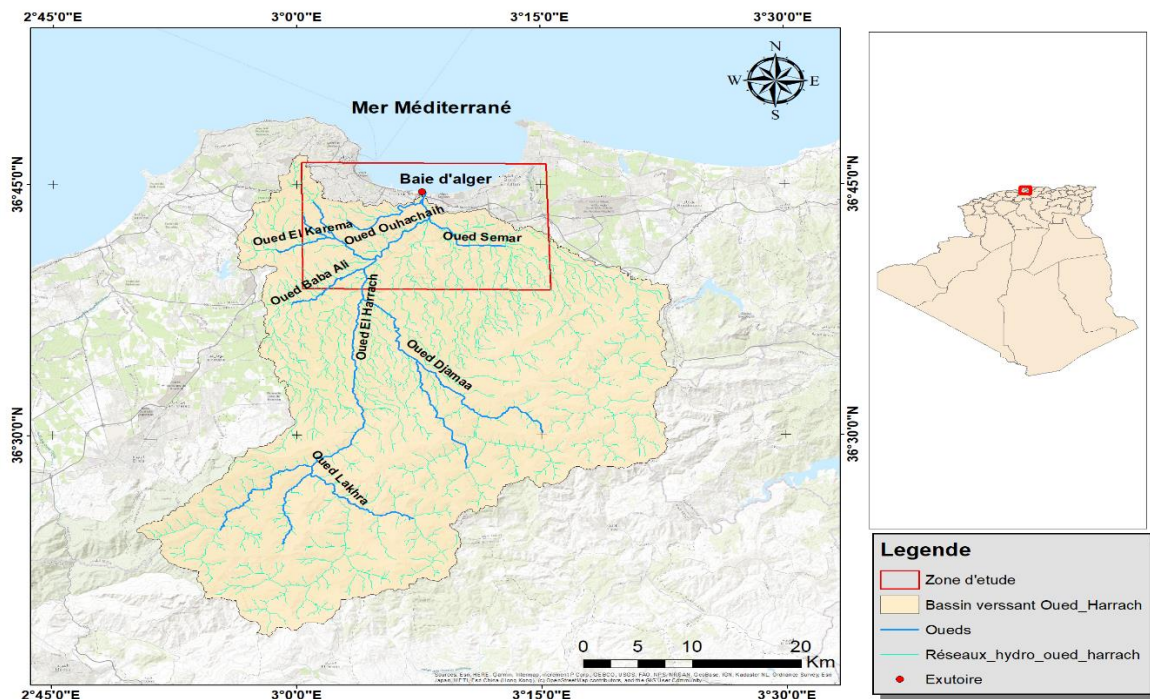
# Introduction

Dans le cadre de ce projet de fin d'études portant sur l'analyse et la géolocalisation des risques liés aux rejets industriels et urbains dans la zone côtière algéroise, ce chapitre décrit la méthodologie utilisée pour évaluer les impacts des émissions de polluants sur les écosystèmes marins littoraux ainsi que les risques toxiques pour l'homme. Une attention particulière est accordée à la localisation des sources potentielles de contamination par les métaux lourds provenant des activités anthropiques côtières. L'essentiel des objectifs réside dans l'identification des zones à risques élevés pour en étudier les conséquences sur les écosystèmes écologiquement fragiles.

## II.1 Présentation de la zone d'étude

### II.1.1 La baie d'Alger :

La baie d'Alger est positionnée dans la région centrale de la côte algérienne, s'étendant entre les longitudes Est de  $03^{\circ}01'00''$  E à  $03^{\circ}14'30''$  E et les latitudes Nord de  $36^{\circ}44'30''$  N à  $36^{\circ}49'15''$  N. De forme semi-circulaire, elle couvre une superficie d'environ  $180 \text{ km}^2$  et s'enfonce dans la plaine de la Mitidja. Les limites de la baie sont marquées par deux caps : la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est, bordée par la Méditerranée occidentale au Nord. Deux oueds, Oued El Hamiz et Oued El Harrach, se jettent dans la baie d'Alger (Guendouzi 2011).



## **Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude**

### **II.1.2 Le bassin versant de Oued El Harrach :**

Le bassin versant de l'Oued El Harrach couvre une superficie d'environ 1200 km<sup>2</sup>. Cet oued, l'un des plus importants traversant la plaine de la Mitidja, prend sa source dans l'Atlas Blideen, une partie de l'Atlas Tellien, au centre nord de l'Algérie. Il parcourt ensuite la plaine de la Mitidja avant de se jeter dans la baie d'Alger. Sa longueur totale est d'environ 67 km, dont près de 18,2 km s'étendent de la capitale à son embouchure en mer Méditerranée, le reste traversant les wilayas de Blida et de Médéa. ( Benhalima M 2023.)

#### **Les principaux affluents de l'Oued El Harrach comprennent :**

- L'Oued Djamaa, originaire de l'Atlas Blidéen, avec un bassin versant de 225 km<sup>2</sup>.
- L'Oued Baba Ali et l'Oued Terro, provenant de la Mitidja, avec un bassin versant de 166 km<sup>2</sup>.
- L'Oued Smar, issu de la Mitidja, recevant les eaux des zones industrielles d'Oued Smar et d'El Harrach Sud, avec un bassin versant de 117 km<sup>2</sup>.
- L'Oued El Kerma, provenant du sahel, avec un bassin versant de 74 km<sup>2</sup>.
- L'Oued Ouchaiah, également issu du sahel, recevant les eaux des quartiers urbains densément peuplés tels que Kouba et Birkhadem,
- L'Oued Adda, recevant les eaux des quartiers urbains d'El Harrach et des Eucalyptus .

Ces affluents contribuent à l'écoulement des eaux vers l'Oued El Harrach, qui finalement se jette dans la baie d'Alger. .( Benhalima M 2023.)

### **II.1.3 Précipitations et débit de l'Oued El Harrach) :**

**Tableau 4 :** Les précipitations annuelles cumulées à partir des moyennes mensuelles (1971-2011) bassin versant de l'oued El Harrach Station de Baraki-pont (ANRH).

Période (1971- 2011)	sép	oct	no v	dé c	jan v	fév	Mar s	Avr il	Ma i	jui n	juill et	ao ut	Moyen ne annuell e
Précipitati on_(mm)	30. 9	63. 1	10 0	10 3	81. 1	81. 6	63. 8	49. 8	35. 1	8.8	4.2	7	628.4

Selon les relevés de précipitations fournis par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), les précipitations dans le bassin versant de l'oued El Harrach (station Baraki-Pont) ont ces caractéristiques :

- les données couvrent la période de 1971 à 2011 (Tabl.4).
- les mois les plus pluvieux sont d'octobre à mars, avec des précipitations mensuelles de 61,3 à 103 mm.
- le mois de décembre est le plus arrosé.
- les mois de juin, juillet et août sont les plus secs, avec moins de 9 mm de pluie.
- le climat est méditerranéen semi-aride (hivers doux, étés chauds).
- la précipitation moyenne annuelle sur 1971-2011 est de 622 mm.
- le maximum annuel enregistré est 999,2 mm en 1972.
- le minimum annuel est 248,8 mm en 1982.

**Tableau 5:** Débit cumulé à partir des moyennes mensuelles (1971-2011) bassin versant de l'oued El Harrach (ANRH).

Période (1971-2011)	Sép	oct	nov	déc	janv	fév	Mar	Avr	Ma	Jui	Juill	Août	Moyenne Annuel
Débit(m <sup>3</sup> /s)	1.1	1.40	3.82	7.36	12.05	13.74	12.33	7.39	5.29	1.52	0.94	0.81	5.64

Quant au débit de l'oued El Harrach, ces caractéristiques peuvent être précisées (Tabl.5) :

- le débit moyen annuel en aval, sur la période 1971-2007, est de 5,84 m<sup>3</sup>/s (station BARAKI-PONT).
- il y a un long étiage de juin à octobre, avec un débit inférieur à 1,5 m<sup>3</sup>/s, correspondant aux mois les plus secs.
- le débit journalier est très irrégulier selon (Aroua and Berezowska-Azzag (2009), pouvant passer de zéro en période sèche à 3000 m<sup>3</sup>/s en période de crue
- la majorité (80 à 90%) des flux de métaux particuliers est délivrée en un laps de temps très court (moins de 12%).

#### **II.1.4 Inventaire et géolocalisation des émissions métalliques industrielles :**

Le développement industriel dans la zone source du bassin versant de l'Oued El Harrach a conduit à l'établissement de 1 086 unités industrielles, réparties entre 658 dans les zones industrielles et d'activités, et 428 dans les zones urbaines. Cette croissance industrielle a engendré une augmentation notable de la pollution dans la région. L'inventaire des émissions métalliques par les activités industrielles qui ont été mené dans le cadre de ce projet a été effectué par l'enquête de terrain, l'utilisation des outils cartographiques, la collecte des données

bibliographiques (Houas/JICA 2014, Morsli et Bouyakoub 2018, Kechidi 2014, Louati 2015) ainsi que par échantillonnage de 3 points de rejets sur les oueds Elharrach, Smar et Baba Ali.

Les activités identifiées appartiennent à plusieurs secteurs industriels :

- Industries des combustibles (carbonisation, lavoir, pétrole, etc.)
- Industries métallurgiques des mines et transformation
- Industries chimiques (acides, bases, tels que engrais, savonneries, etc.)
- Industries pharmaceutiques et phytosanitaires
- Industries des bois, celluloses et papier,
- Industries textiles et des matières plastiques
- Industries Agro-alimentaires : laiteries, abattoirs, conserveries, féculeries, brasseries, pectineries, boyauderies, équarrissages, tanneries.

#### **II.1.4.1 La collecte des données et l'investigation de terrain :**

Plusieurs sources bibliographiques ont été exploitées avec une compilation des données sur les industries identifiées pour avoir une représentativité et une couverture géographique satisfaisantes de la zone d'étude. Ainsi, les données sur les émissions industrielles de métaux collectées à partir de plusieurs sources dont celles du Laboratoire régionale centre et les experts de Jica (Houas 2014) en plus d'autres travaux (Morsli 2018, Kechidi 2014 ). Ces données ont été complétées par des prélèvements ponctuels menés par nos soins dans le cadre de ce projet de fin d'étude.

D'un autre côté, il a été important de visiter quelques industries pour comprendre les étapes de leur procédé industriel et identifier leurs effluents, pour optimiser l'exploitation de la collecte de données bibliographiques et la géolocalisation des activités anthropiques émettrices de métaux dans le bassin versant de Oued El Harrach. Ceci permettra d'estimer les flux des émissions de métaux pour évaluer les risques et les impacts environnementaux dans la zone d'étude. En l'absence de données sur la composition chimiques des effluents, ces flux ont été estimés par extrapolation des émissions issues de procédés similaires dans les bases de données industrielles internationales, en prenant en compte les volumes de production des industries locales.

Deux industries visitées dans le cadre de ce mémoire (IH1 et IH2) et qui ont été prises en compte dans l'inventaire des émissions peuvent être présentées ici et l'enquête auprès des industriels s'est bien passée dans l'ensemble, malgré quelques résistances initiales. La méthodologie rigoureuse, combinée à des mesures visant à assurer la participation et à protéger la confidentialité des répondants, a permis de surmonter les défis et de récolter des données significatives pour l'étude. Comme exemple :

**1. IH1 :** est une fonderie qui fabrique des pièces métalliques en fondant des métaux et en les moulant.

##### **Processus de production :**

- Fusion : Métaux fondus à haute température
- Moulage : Métal versé dans des moules
- Refroidissement et finition : Refroidissement des pièces suivies de meulage, polissage et usinage

**Émissions et impacts environnementaux :**

- Métaux lourds : Émission de plomb, cadmium et mercure
- Particules fines : Production de poussières et particules fines
- Gaz à effet de serre : Émissions provenant des fours de fusion

**2. IH2 : fabrique des bétonnières, utilisées pour mélanger le béton**

**Processus de production :**

- Conception et ingénierie : Développement des plans et modèles.
- Fabrication des pièces : Production de composants en acier.
- Assemblage : Assemblage des pièces pour former la bétonnière.
- Peinture et finition : Peinture et contrôle de qualité avant expédition.

**Émissions et impacts environnementaux :**

- Déchets métalliques : Gestion des chutes et rebuts de métal.
- Émissions de solvants : Émission de COV provenant des peintures et solvants.
- Consommation d'énergie : Utilisation d'énergie pour les processus de fabrication et d'assemblage.

Le tableau 6 répertorie un ensemble d'entreprises industrielles implantées dans zone d'étude. Il fournit les informations essentielles sur chaque entreprise, à savoir son nom, son type d'activité principal et ses coordonnées géographiques. Ce recensement sert à localiser précisément les sites industriels émetteurs de métaux ou de composés métalliques dans cette zone métropolitaine d'Alger.

**Tableau 6:** Entreprises et types d'activité identifiées dans la zone d'étude

<b>Entreprise</b>	<b>Type d'activité</b>
IH1	Production et commercialisation des produits de fonderie (pièces moulées en fonte, acier et métaux non-ferreux)
IH2	Production et commercialisation des engins
IH3	Production et commercialisation des chaudières
IOS1	Production de peinture
IOS2	Produit de l'électrochimie (Batterie)
IOS3	Laboratoire pharmaceutique
IDK1	Transformation et commercialisation de produits à base de métaux précieux.
IDK2	Entreprise Boutielles a Gaz spa
IDK3	Entreprise Nationale des Emballages Métalliques

## II.2 L'échantillonnage des points de rejets dans les oueds :

Pour déterminer les concentrations de métaux accumulées dans les sédiments des oueds et qui seraient principalement liés aux rejets industriels, trois sites de prélèvement ont été sélectionnés dans la zone d'étude (Fig. 3). Dans chaque site de prélèvement, des échantillons de sédiments ont été collectés pour analyser la concentration des métaux. Ces sites ont été choisis en fonction de critères principaux :

- La faisabilité de l'échantillonnage qui doit permettre des prélèvements manuels sans risques pour le préleveur.
- La localisation des sites prélevés comme points de rejets identifiés des trois zones industrielles d'Oued El-Harrach ainsi que celles de ses confluent Oued Smar et Baba Ali.
- La date d'échantillonnage : 29 Avril 2024
- On a adopté une stratégie qui est l'échantillonnage après la précipitation



**Figure 3** : Sites de prélèvement des sédiments dans la zone d'étude

### **II.2.1 La géolocalisation des sources émettrices de métaux et des sites de prélèvement :**

Les outils de géolocalisation utilisés pour l'inventaire des activités émettrices de métaux dans le bassin versant d'Oued Elharrach sont Google Earth Pro et ArcGIS Pro. Les étapes suivantes ont été suivies pour géolocaliser les sources de pollution et les points de prélèvement, afin d'analyser les données de manière efficace :

1. Localisation et ajout de points de repères avec Google Earth à partir de coordonnées géographiques, ensuite les repères sont enregistrés dans un fichier KML/KMZ.
2. Importation et ajout de points dans ArcGIS : le fichier KML/KMZ est importé dans ArcGIS Pro en ajoutant directement les points à partir de coordonnées géographiques. Des couches de points sont créés pour les industries et les points de prélèvement.

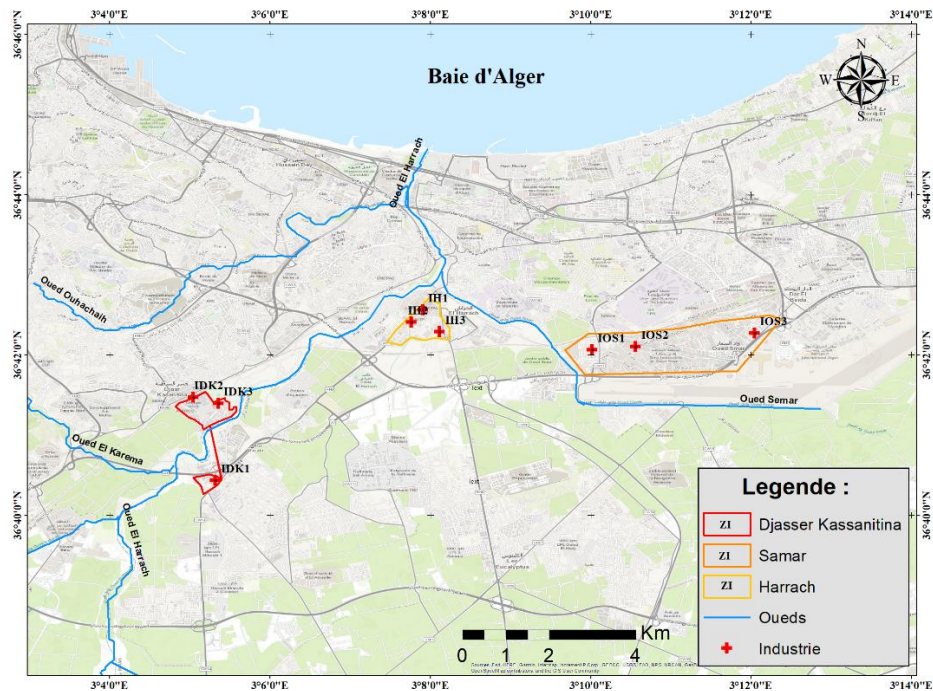
3. Analyse et Exportation : les données sont analysées à l'aide des outils d'ArcGIS. La carte finalisée peut être exportée ou partagée via ArcGIS Online.

La carte de géolocalisation des industries dans la baie d'Alger (Fig. 4) montre une concentration de différentes activités industrielles susceptibles d'émettre des métaux lourds dans trois zones principales : Oued Smar, El Harrach et Djasr Kassantina.

**Zone Est (IOS1, IOS2, IOS3) :** Cette zone abrite des industries chimiques et pharmaceutiques, notamment celles produisant des peintures (IOS1), des produits électrochimiques tels que les batteries (IOS2), et des produits pharmaceutiques (IOS3). Les procédés industriels dans ces entreprises peuvent utiliser des catalyseurs métalliques et générer des composés organométalliques. Bien que ces industries soient éloignées des zones résidentielles, leurs rejets nécessitent un traitement rigoureux pour éviter la pollution des écosystèmes marins.

**Zone Milieu (IH1, IH2, IH3) :** Ces entreprises sont impliquées dans la production et la commercialisation de produits de fonderie (IH1), des engins (IH2), et des chaudières (IH3). Leurs activités, qui incluent la fonte et le traitement des métaux, sont des sources significatives de rejets de métaux lourds tels que le plomb, le zinc, le chrome, et le nickel. La proximité de ces industries avec le littoral représente un risque direct de contamination des eaux marines par les effluents liquides et les poussières métalliques.

**Zone Ouest (IDK1, IDK2, IDK3) :** Cette zone comprend l'Entreprise Nationale des Emballages Métalliques (IDK3) et d'autres entreprises spécialisées dans la transformation et la commercialisation de produits à base de métaux précieux (IDK1, IDK2). Ces activités industrielles sont des sources potentielles de métaux lourds, avec des risques de contamination des sols et des eaux environnantes.



**Figure 4 :** La géolocalisation des activités industrielles émettrices de métaux (Ce travail, Guessab et Belhouadjeb)

La carte de géolocalisation des prélèvements réalisée (Fig. 5, Guessab et Belhouadjeb) montre la répartition des sites de prélèvement par compilation des données bibliographiques ainsi que celles des prélèvements effectués dans le cadre de ce mémoire. Cette carte est essentielle pour analyser l'impact des différentes sources de pollution, notamment les rejets industriels, sur la santé humaine et la qualité de l'environnement marin et terrestre.

La répartition spatiale des prélèvements couvre trois zones industrielles :

- Échantillons HR-1, HR-2, HR-3, qui sont plus proches de la zone industrielle de l'oued El Harrach,
- Échantillons IM-1, IM-2, IM-3, IM-4, qui couvrent une zone plus vaste autour des zones industrielles d'El Harrach et d'Oued Samar,
- Échantillons Jc-1 à Jc-9, qui sont dispersés le long des oueds et près des zones industrielles, ces sites de prélèvement constituent les points de réception finals des apports de l'Oued El-Harrach et ses confluent avant le déversement dans le milieu marin au niveau de l'embouchure.

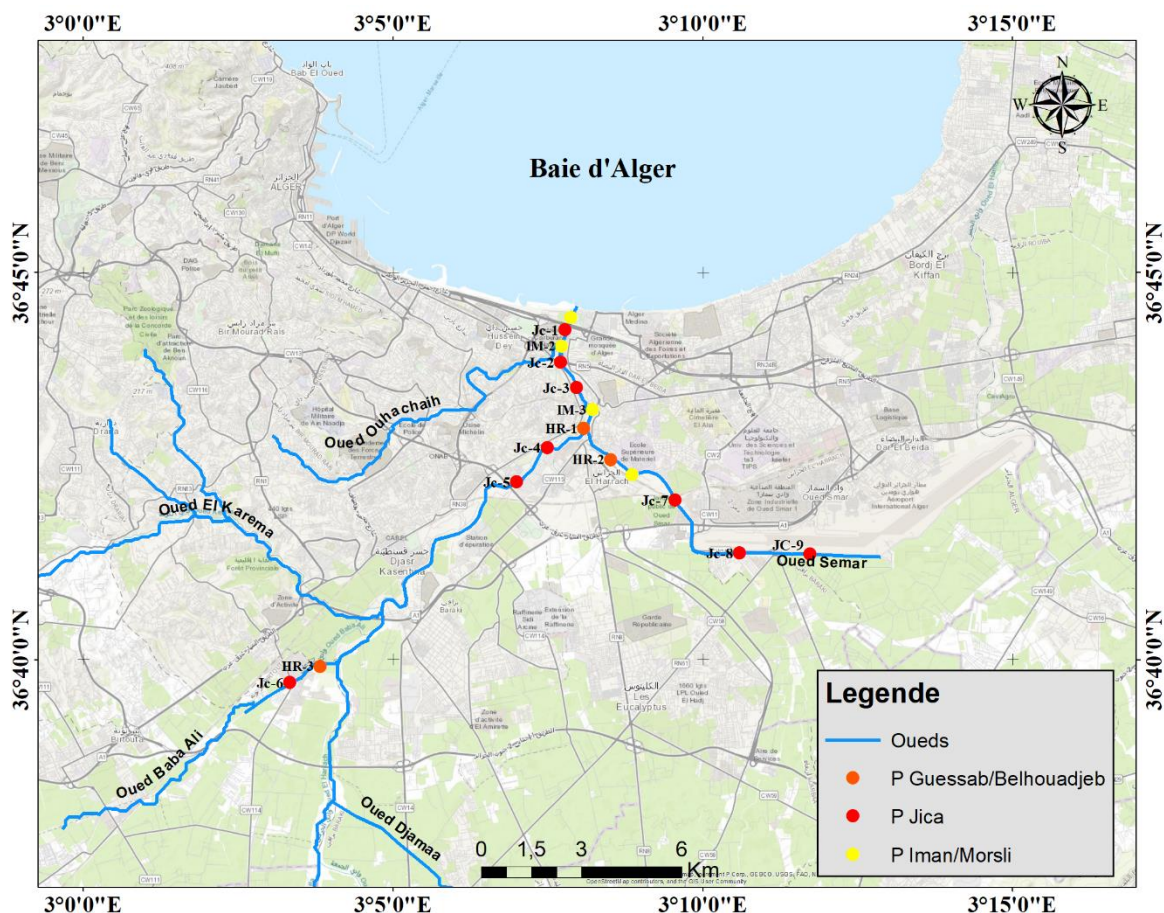


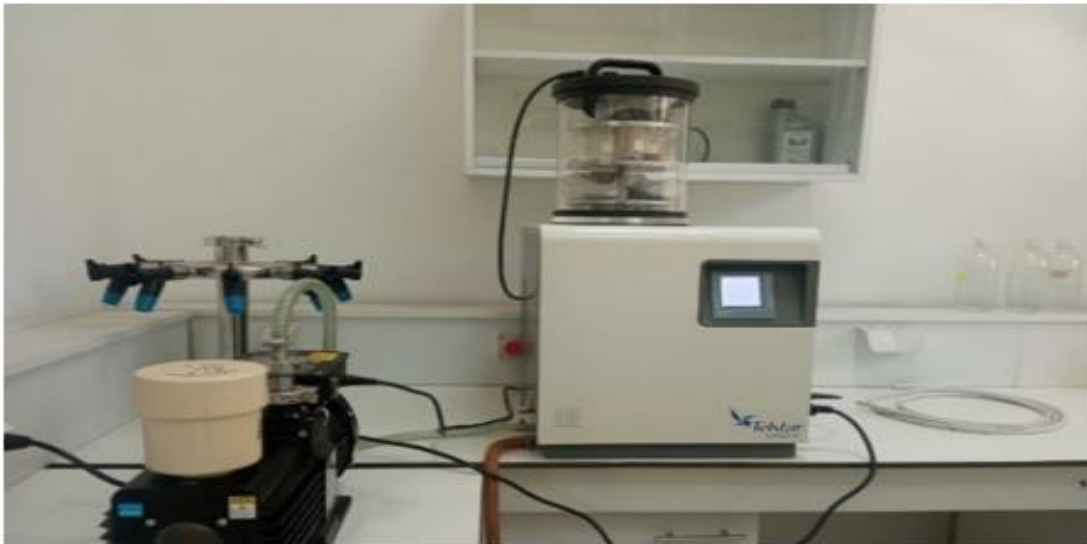
Figure 5 : Carte de géolocalisation des sites de prélèvements

## II.2.2 Analyse géochimique des sédiments :

Les échantillons de sédiments prélevés et qui sont destinés à l'analyse des concentrations de traitement avant le dosage des concentrations par la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) (Figures 6, 7, 8, 9) :

- **La lyophilisation :** Un processus de séchage sous vide à basse température. Dans un lyophilisateur de type CHRIST, les échantillons congelés sont exposés à des températures très basses (-50 °C à -60 °C) et à une pression réduite (10-1bar) pendant 48 heures. Cette méthode permet d'éliminer l'eau des échantillons congelés en passant directement de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide, un processus appelé sublimation.

Ce processus de déshydratation est préférable à l'évaporation dans une étuve, car dans ce dernier cas, l'augmentation de la température peut entraîner la volatilisation des métaux les plus instables, en particulier le mercure (Charlou and Joanny, 1983).



**Figure 6 : Lyophilisateur de type CHRIST**

- **Le broyage :**

Les échantillons de sédiments lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à obtenir une poudre fine. Cette poudre est ensuite transférée dans des piluliers en plastique et conservée jusqu'au moment de la minéralisation.



**Figure 7 : Broyage de sédiment lyophilisés**

**La minéralisation :** La minéralisation par micro-onde est une méthode de digestion chimique assistée par micro-onde qui permet une décomposition rapide et efficace des échantillons solides. Le processus de digestion se déroule en plusieurs étapes, au cours desquelles la température et la pression sont soigneusement contrôlées à l'aide des micro-ondes. Cela permet d'atteindre des conditions élevées de température et de pression nécessaires pour décomposer les échantillons de manière efficace. Dans ce processus, on trouve :

- la réduction en poudre fine des échantillons de sédiments lyophilisés à l'aide d'un mortier d'agate, ce qui augmente leur surface et facilite la réaction chimique ultérieure.
- le pesage d'une quantité précise de l'échantillon dans des tubes en téflon et des acides forts (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HF) sont ajoutés de manière progressive. Ces acides sont choisis pour leur capacité à dissoudre différents types de composés minéraux.
- les tubes contenant les échantillons et les acides sont placés dans un four à micro-ondes à chambre de réaction unique. Un gaz inerte (comme de l'azote) est utilisé pour pressuriser la chambre de réaction, créant ainsi un environnement contrôlé.

Après la digestion, les résidus sont dilués et stockés pour l'analyse ultérieure par SAA.



**Figure 8 : Minéralisation des échantillons par micro-onde**

## **La Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) :**

La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) est une technique analytique largement utilisée pour déterminer la concentration des métaux lourds et d'autres éléments dans divers échantillons.

La SAA repose sur le principe de l'absorption de la lumière par les atomes de l'élément à analyser. Lorsque l'échantillon est atomisé et vaporisé dans une flamme ou un four à graphite, les atomes de l'élément cible absorbent une quantité spécifique de lumière à une longueur d'onde caractéristique lorsqu'ils sont excités de leur état fondamental à un état électronique excité. La mesure de l'absorption de cette lumière permet de déterminer la concentration de l'élément dans l'échantillon.

### **Les étapes de l'analyse :**

- Préparation de l'échantillon : L'échantillon est généralement prétraité pour le rendre apte à l'analyse. Cela peut inclure la digestion, la dilution ou la dissolution de l'échantillon dans un solvant approprié.
- Atomisation : L'échantillon est introduit dans un dispositif d'atomisation, tel qu'une flamme ou un four à graphite. L'objectif est de convertir l'échantillon en un état atomique dans lequel les atomes de l'élément à analyser sont séparés les uns des autres.
- Excitation : Une source de lumière, généralement une lampe à cathode creuse ou une lampe à décharge électrique, est utilisée pour émettre un rayonnement à une longueur d'onde spécifique, correspondant à une transition électronique caractéristique de l'élément cible.
- Absorption : Les atomes de l'élément cible absorbent une partie de cette lumière incidente à la longueur d'onde spécifique pendant leur transition de l'état fondamental à l'état excité. La quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration de l'élément dans l'échantillon.
- Mesure de l'absorbance : Un détecteur mesure l'intensité de la lumière transmise à travers l'échantillon et détermine l'absorbance, qui est ensuite convertie en concentration à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie à partir de solutions étalons de concentrations connues.

### **Les avantages de la SAA :**

- La sensibilité élevée qui permet de détecter des concentrations faibles d'éléments, généralement dans la gamme des parties par million (ppm) ou même (ppb).
- La sélectivité qui permet généralement de mesurer un élément spécifique avec peu ou pas d'interférences provenant d'autres composés présents dans l'échantillon.
- La large gamme linéaire qui permet de mesurer des concentrations d'éléments sur une large gamme, ce qui en fait une méthode polyvalente pour l'analyse quantitative.

### **Les limitations de la SAA :**

La SAA est limitée aux éléments qui peuvent être atomisés et vaporisés efficacement dans les conditions de mesure.

Les matrices d'échantillons complexes peuvent entraîner des interférences spectrales, nécessitant parfois des étapes de prétraitement supplémentaires pour éliminer ces interférences.

La technique nécessite souvent des étalons de concentration connue pour construire des courbes d'étalonnage fiables, ce qui peut être un processus laborieux.



**Figure 9 : Spectrométrie d'absorption atomique (SAA)**

## II.3 L'évaluation des impacts toxiques des émissions métalliques

Les impacts environnementaux et les risques sanitaires des émissions de métaux sont liés aux rejets des activités industrielles ainsi qu'à leur bioaccumulation dans les matrices environnementales, en particulier les sédiments et les organismes aquatiques. L'évaluation des impacts environnementaux est basée sur la méthode d'analyse du modèle Impact2002+ qui est une des méthodes d'Analyse du Cycle de Vie permettant de calculer des scores d'impact dans les catégories suivantes : Toxicité humaine, Ecotoxicité terrestre, Ecotoxicité aquatique et marine.

Cette approche permet de calculer des scores dans ces catégories pour évaluer les risques environnementaux et sanitaires associés à l'exposition à des substances toxiques comme les métaux, en prenant en compte leur devenir biogéochimique dans les matrices environnementales ainsi que leurs effets toxiques sur les organismes vivants pour l'Ecotoxicité terrestre et aquatique. Pour la toxicité humaine, ce sont les données de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) concernant la santé humaine qui sont pris en compte. Cette approche a été appliquée sur plusieurs activités anthropiques pour analyser leurs impacts dans différents environnements et milieux naturels (Ghazi et al. 2011, 2017, 2018 ; Shih et al. 2011 ; Sadiq et al. 2001).

Dans le cas de l'écotoxicité terrestre et aquatique, la faune et la flore sont affectés par les substances toxiques qui causent également la toxicité humaine, tels que les métaux lourds, sauf que l'effet est engendré directement par concentration de la substance dans le milieu sans passer par la fraction ingérée comme il est le cas chez l'homme. Le dommage considéré est la diminution de la biodiversité où les espèces sensibles cèdent la place à celles qui sont plus résistantes à la pollution. Il est donc quantifié par la fraction d'espèces disparues (PDF) par mètre carré et par/an.

### II.3.1 L'écotoxicité aquatique et terrestre :

Dans cette méthode, l'impact de chaque polluant métallique présent dans les effluents industriels et dans les sédiments est évalué en fonction de sa concentration et sa toxicité pour les organismes aquatiques et terrestres (Ecotoxicité terrestre et aquatique).

Le score d'écotoxicité aquatique ou terrestre ( $S_i$ ) pour chaque polluant métallique ( $i$ ) est calculé en multipliant son facteur de caractérisation AEP $_i$  ou TEP $_i$  par sa masse ( $M_i$ ) dans les effluents.

Le facteur de caractérisation AEP ou TEP détermine le potentiel d'écotoxicité du polluant métallique par rapport à une substance de référence qui est le TEG (triéthylène glycol), et est exprimé en unités d'équivalent toxicité aiguë (Kg eq TEG/mg ou Kg eq TEG/ $\mu$ g).

La somme de ces produits pour tous les polluants métalliques présents dans les effluents donne le score total d'écotoxicité aquatique et terrestre :

$$S_i = \sum AEP_i * M_i \text{ (Ecotoxicité aquatique)}$$

$$S_i = \sum TE P_i * M_i \text{ (Ecotoxicité Terrestre)}$$

Ces scores permettent d'estimer l'impact global des polluants métalliques sur les organismes aquatiques et terrestres selon les cibles exposées et d'identifier les substances les plus préoccupantes en termes d'écotoxicité.

### **II.3.2 La toxicité humaine :**

L'impact sur la santé humaine (Toxicité humaine) est évalué en fonction de sa toxicité et de la fraction ingérée du polluant via l'alimentation et l'eau potable.

Le score de toxicité humaine  $S_i$  [Kg eq.  $C_2H_3Cl$ ] pour chaque polluant métallique (i) est calculé en multipliant son facteur de caractérisation qui détermine son potentiel de toxicité humaine (Human Toxicity Potential ou  $HTP_i$ ) par sa masse ( $M_i$ ) résultant du flux annuel du métal dans les effluents. Le score de toxicité humaine peut donc être calculé par cette équation :

$$S_i = \sum HTP_i * M_i$$

Le facteur de toxicité humaine potentielle ( $HTP_i$ ) est une mesure de la toxicité relative du polluant métallique par rapport à une substance de référence, souvent le chlorure de vinyle ( $C_2H_3Cl$ ), et est exprimé en unités d'équivalent toxicité humaine (Kg eq  $C_2H_3Cl$ /mg ou Kg eq  $C_2H_3Cl$ /μg). La somme de ces produits pour tous les polluants métalliques présents dans les effluents donne le score total de toxicité humaine. Ce score permet d'estimer l'impact global des polluants métalliques sur la santé humaine et d'identifier les substances les plus préoccupantes en termes de toxicité pour l'homme.

## **II.4 L'estimation des masses totales à partir des flux anthropiques de métaux**

L'estimation des flux anthropiques de métaux vers les oueds et les eaux marines repose sur le calcul du flux, qui représente la quantité de métal introduite dans l'environnement aquatique sur une période donnée. Ce calcul est effectué en divisant la masse totale du métal par le débit annuel, selon la formule suivante :

$$F \text{ (Flux annuel)} = M/Q(\text{Metal})$$

**M : (Masse du métal)**

Cette valeur correspond à la quantité totale de métal libérée dans le milieu naturel sur une période donnée. Elle peut être calculée à partir de diverses sources, telles que les données de

surveillance environnementale, les volumes et la composition chimique des effluents (concentrations de métaux), ou les estimations basées sur des données industrielles. La précision de cette estimation dépend de la qualité et de la disponibilité des données sources, ainsi que des méthodes utilisées pour recueillir ces informations.

### **Q (Débit moyenne annuel)**

Ce paramètre représente le volume total d'eau s'écoulant dans le système aquatique étudié au cours d'une année. Il peut être mesuré directement sur le terrain à l'aide d'instruments de mesure appropriés, ou estimé à partir de données hydrologiques historiques et de modèles hydrauliques.

La fiabilité de cette estimation dépend de la disponibilité des données de débit et de la précision des méthodes de mesure ou de modélisation utilisées pour évaluer le débit annuel.

Pendant la période estivale, le volume d'eau dans l'oued tend à diminuer en raison de plusieurs facteurs tels que la diminution des précipitations, l'évaporation accrue due aux températures plus élevées, et la diminution du ruissellement causée par l'assèchement des sols. Cette diminution du débit estival peut entraîner une concentration plus élevée de métaux dans l'eau, ce qui peut conduire à un impact toxique plus important.

$$F(\text{estivale})=M/Q(\text{estivale})$$

## **II.5 L'évaluation des risques toxiques des émissions métalliques**

Dans l'analyse des impacts et des risques toxiques, l'objectif principal est d'évaluer les dangers potentiels liés à l'exposition à des substances toxiques et d'estimer les conséquences sur la santé humaine. Cette évaluation est essentielle pour comprendre les risques associés à l'exposition à ces substances via l'alimentation contaminée d'origine marine.

Dans le cadre de la caractérisation du risque pour les effets à seuil, une méthode couramment utilisée est le calcul du quotient de danger (QD). Le QD compare la dose journalière d'exposition (DJE), qui est la quantité de substance toxique ingérée par jour et par kilogramme de poids corporel, à la dose journalière admissible (DJA) ou à la valeur toxicologique de référence (VTR), qui représente la quantité maximale de substance que l'on considère généralement comme étant sans danger pour la santé humaine (Ghazi M., TP/ENSSMAL).

Le quotient de danger (QD) est calculé ainsi :

$$\mathbf{QD = DJE/DJA}$$

DJE = Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/j)

DJA = Dose Journalière Admise (mg/kg/j).

Cette analyse du risque est liée à la consommation des poissons contaminés par les métaux en se basant sur les concentrations de référence dans deux espèces contaminées et qui ont été identifiées par certains travaux dans la zone d'étude (Kechidi 2014 ; Mehoul 2020). Ces deux

espèces consommées sont la sardine (*Sardina Pilchardus*) qui est parmi les produits de la mer les plus consommés sur le littoral algérien en plus de sa sensibilité aux conditions du milieu (Bouchereau et Ghazi 1988). L'autre espèce est l'espadon qui est moins consommée mais pouvant accumuler des concentrations préoccupantes de métaux (Mehouel 2020).

La dose Journalière d'Exposition (DJE) aux métaux est liée à la consommation des poissons et peut être déterminée comme suit :

$$DJE = C \times Q \times F/P$$

Où DJE = Dose journalière d'exposition aux éléments traces (mg/kg/j) ; C = Concentration en éléments traces des poissons (mg/kg) ; Q = Quantité de poisson ingérée par jour, (kg/j) ; F = Fréquence d'exposition (F = 1), il est sans unité ; P = Poids corporel de la cible (kg).

Les scénarios d'exposition où l'individu est le plus exposé (hypothèse maximaliste) seront utilisés. Les scénarios d'exposition des adultes et des enfants seront évalués par consommation des deux espèces (Sardine et Espadon) en prenant en compte ces critères :

- La quantité moyenne de poissons offerte à un Algérien est de 9,2 kg/an (0,025 kg/j) (FAO, 2007).
- Il sera considéré que l'individu consomme cette quantité de poissons chaque jour.
- Le poids corporel moyen des enfants de 0 à 15 ans est de 28 kg et celui d'un adulte est conventionnellement égal à 70 kg selon l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA).

### **L'interprétation des résultats :**

Si  $QD < 1$ , la survenue d'un effet toxique est très peu probable ;

Si  $QD > 1$ , l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue.

## **Conclusion :**

Ce chapitre a fourni une description détaillée de la méthodologie adoptée pour analyser et géolocaliser les risques liés aux émissions industrielles et urbaines dans la zone littorale de la baie d'Alger. L'accent a été mis sur l'identification des sources potentielles de pollution par les métaux, notamment les industries métallurgiques, mécaniques et chimiques présentes dans le bassin versant de l'Oued El Harrach.

Les méthodes analytiques telles que la spectrométrie d'absorption atomique, a permis de mesurer les niveaux de contamination métallique des sédiments. L'estimation des flux anthropiques de métaux vers les oueds et les eaux marines a également été abordée, soulignant l'importance de surveiller et de gérer les rejets industriels pour préserver l'environnement terrestre et marin.

Les méthodes d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires, telles que les scores d'écotoxicité aquatique et de toxicité humaine, ont été présentées, offrant des outils pertinents

pour identifier les substances les plus préoccupantes et prioriser les actions de gestion des risques.

# **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

# III.1. Calcul des scores d'impacts : Toxicité humaine, Ecotoxicité aquatique et marine :

## III.1.1 Calcul des scores d'impact des effluents d'industries :

Les scores de plusieurs classes d'impacts ont été calculés en se basant sur les estimations des masses totales émises dans les oueds à partir des flux annuels et les facteurs de caractérisation du potentiel de toxicité spécifique à chaque métal. Les masses des métaux ont été calculé pour tous les sites inventoriés pour avoir une meilleure représentativité des impacts environnementaux et sanitaires des rejets métalliques dans cette région. Les scores d'impact sont donc déterminés pour les industries inventoriées dans les trois zones industrielles, à savoir, Oued El-Harrach, Oued Smar et Baba Ali.

### ➤ La zone industrielle de l'Oued El-Harrach.

Dans le tableau 7 sont présentés les résultats des scores de toxicité humaine, d'écotoxicité terrestre et aquatiques qui ont été calculés pour les émissions de Pb, Cr, Cd, Zn, Hg, Ni, Co, Mn, Cu par les trois industries IH1, IH2, IH3. Ces dernières se trouvent dans la zone industrielle de l'Oued El-Harrach.

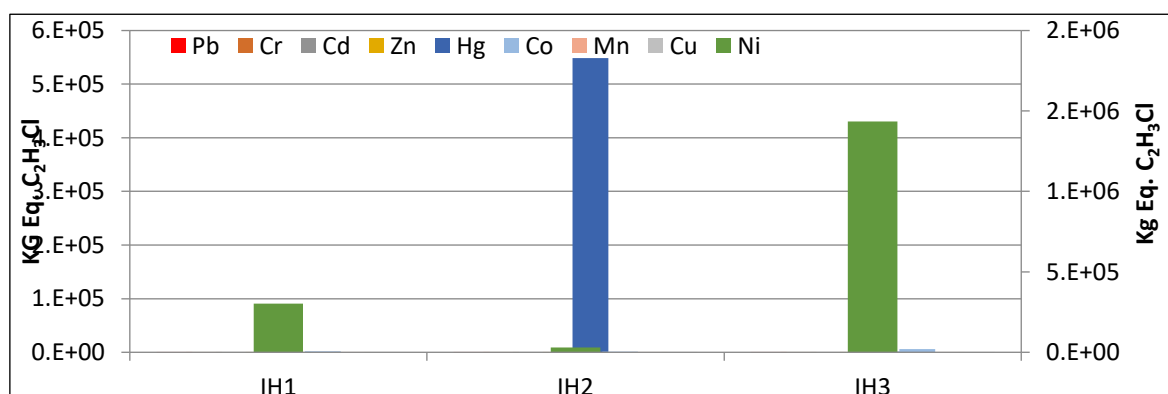


Figure 10 : Si (ZI El-Harrach)

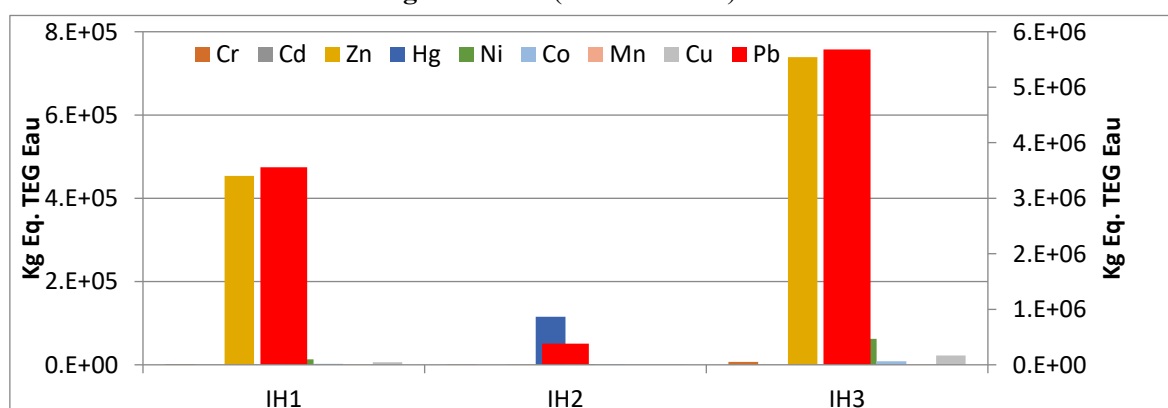
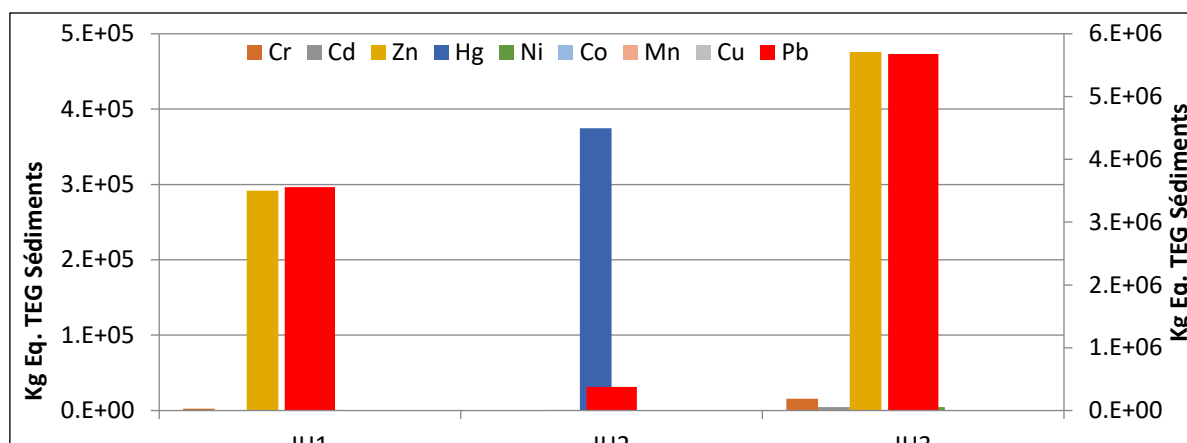


Figure 11 de Score d'Écotoxicité aquatique (ZI El-Harrach)



### Discussion :

D'après les graphiques des figures 10, 11 et 12, ces points essentiels peuvent être soulignés :

Industrie IH-1 : les scores d'Écotoxicité aquatique sont relativement élevés pour plusieurs métaux, en particulier le plomb et le zinc. Les scores d'Écotoxicité des sédiments de l'oued sont modérés à élevés, avec des valeurs significatives pour le plomb, le zinc, et le nickel. Tandis que ceux de la Toxicité humaine sont modérés avec des valeurs notables pour le nickel et le zinc.

Industrie IH-2 : les scores de Toxicité humaine sont généralement les plus faibles parmi les trois industries, sauf pour le mercure qui présente un score élevé. Les scores d'Écotoxicité aquatique sont faibles pour la plupart des métaux, à l'exception du mercure qui a un score très élevé également dans l'Écotoxicité Terrestre.

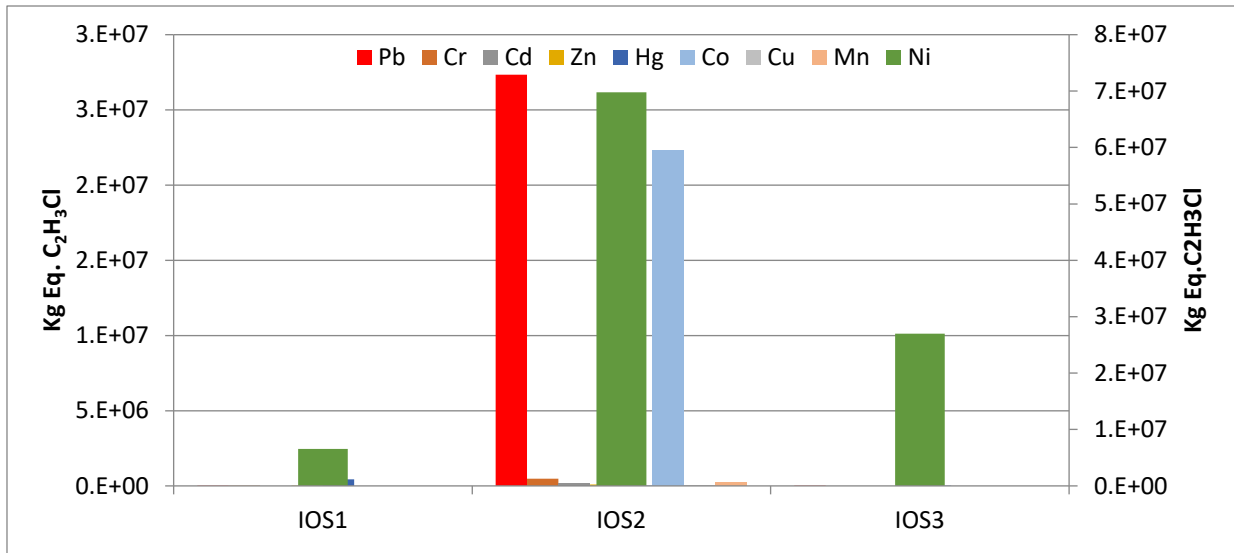
Industrie IH-3 : les scores de Toxicité humaine sont élevés pour la majorité des métaux. Ceux d'Écotoxicité aquatique sont les plus élevés parmi les trois industries, notamment pour le plomb, le chrome, le cadmium, et le zinc. Les scores d'Écotoxicité Terrestre sont maximaux pour plusieurs métaux, en particulier le plomb, le chrome, le nickel, et le cobalt.

Finalement, l'industrie (IH-3) présente les scores les plus élevés dans toutes les classes d'impact et pour la grande majorité des métaux. (IH-1) se situe généralement en seconde position, avec des scores modérés à élevés, particulièrement pour le nickel et le zinc. (IH-2) a les scores les plus faibles, sauf pour le mercure, où elle présente des scores très élevés en termes de toxicité humaine et d'écotoxicité aquatique et terrestre. Ces résultats soulignent la nécessité d'une attention particulière à la réduction des émissions de métaux, surtout pour le mercure dans cette zone à forte densité de population.

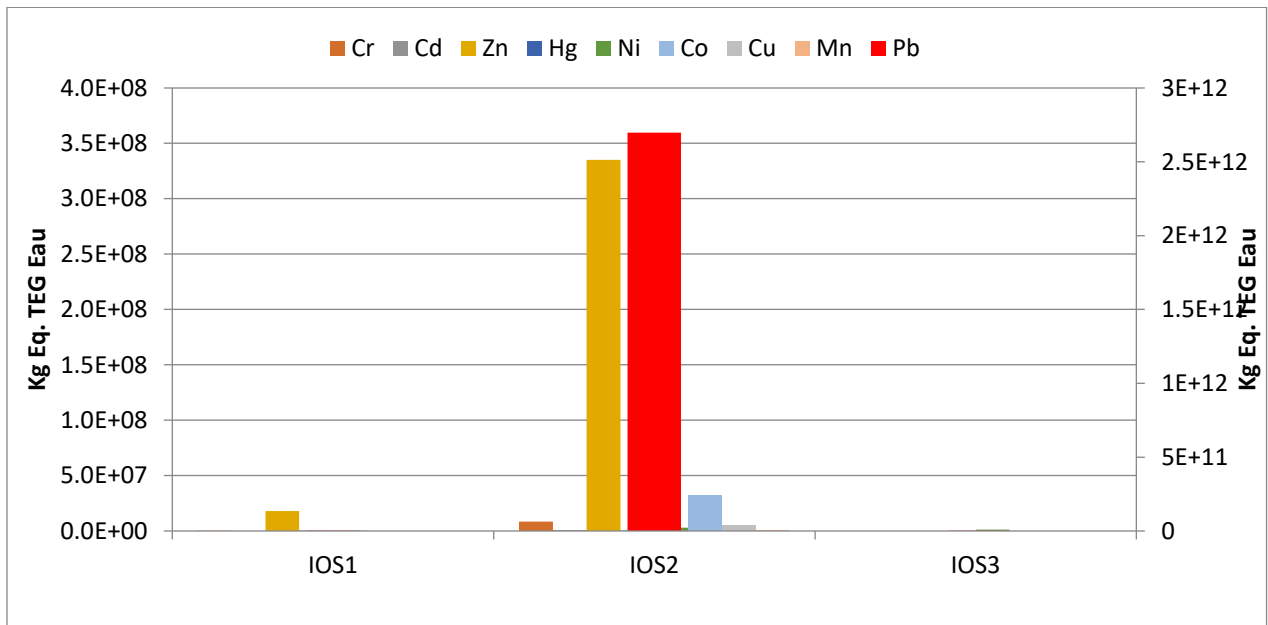
#### ➤ Les zones industrielles d'Oued Samar et de Djesser Kassentina

**Tableau 8 :** Les scores d'impact des effluents la zone industrielle d'Oued Samar et de Djesser Kassentina

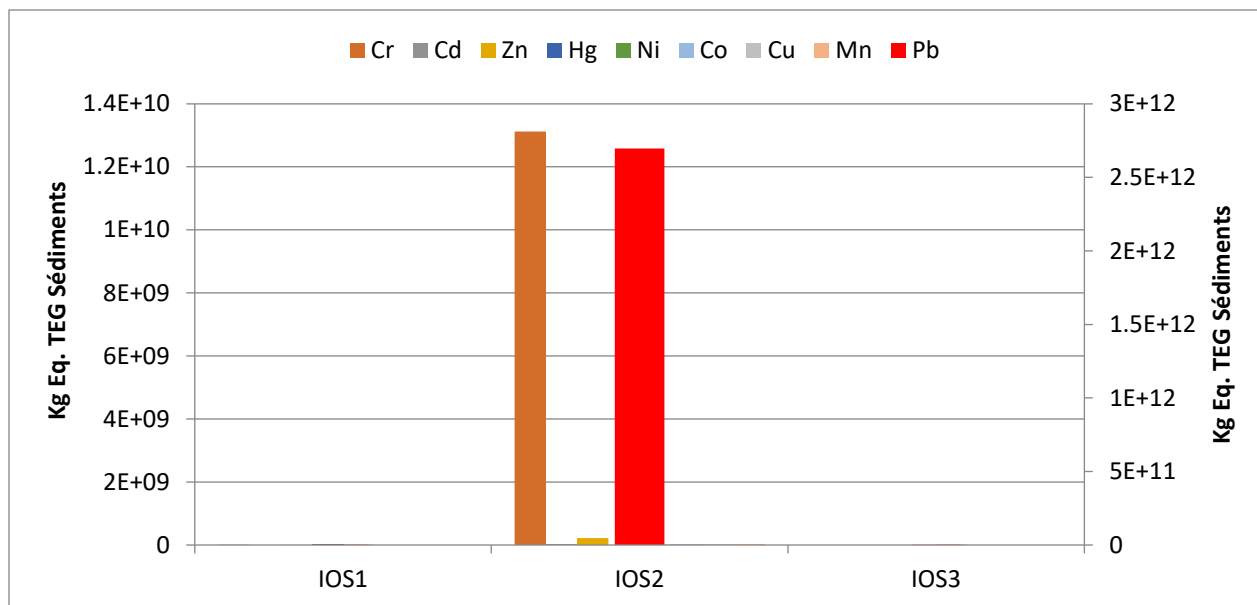
- Les scores d'impact de la zone industrielle d'Oued Smar



**Figure 13 :** Score de toxicité humaine de la zone Oued Samar



**Figure 14 :** Score d'Ecotoxicité aquatique de la zone Oued Samar



**Figure 15 :** Score d'Ecotoxicité des sédiments de la zone Oued Samar

### Discussion :

D'après les graphiques des figures 13, 14 et 15, ces points essentiels peuvent être soulignés :

Industrie IOS1 : les scores de Toxicité Humaine sont relativement élevés pour le plomb, le chrome, le zinc, le mercure, et le nickel. Les scores d'Écotoxicité Aquatique sont modérés à élevés, notamment pour le zinc et le plomb, alors que ceux de l'Écotoxicité des sédiments sont relativement faibles, sauf pour le mercure qui présente des scores maximaux.

Industrie IOS2 : les scores de Toxicité Humaine sont plus élevés pour la majorité des métaux, en particulier pour le plomb, le chrome, le cadmium, le zinc, et le nickel, alors que ceux de l'Écotoxicité Aquatique sont très élevés pour la plupart des métaux, particulièrement pour le zinc et le chrome. Quant aux scores l'Écotoxicité des sédiments, ceux-ci sont plus élevés, avec des valeurs significatives pour le plomb, le chrome, le cadmium, le zinc, et le nickel.

Industrie IOS3 : les scores de Toxicité Humaine sont élevés pour certains métaux, notamment le plomb et le nickel, mais inférieurs à ceux de IOS2. Les scores d'Écotoxicité Aquatique sont très élevés pour le plomb, mais inférieurs à ceux de IOS2, alors que ceux de l'Écotoxicité des sédiments sont inférieurs à ceux de IOS2, mais supérieurs à ceux de IOS1.

Pour résumer, la majorité des métaux, l'industrie IOS2 présente les scores de toxicité humaine et d'écotoxicité (eaux et sédiments) les plus élevés, indiquant des niveaux de pollution plus importants en métaux à fort potentiel toxique. IOS3 suit en deuxième position et c'est IOS1 qui a les scores les plus faibles sauf pour le mercure, où cette industrie présente des valeurs très élevées pour la toxicité et l'écotoxicité. Ces résultats soulignent la nécessité d'une attention particulière à la réduction des émissions de métaux, surtout dans l'industrie IOS2 et celle du mercure pour IOS1.

- **Les scores d'impact de la zone industrielle de Djesre Kasentina**

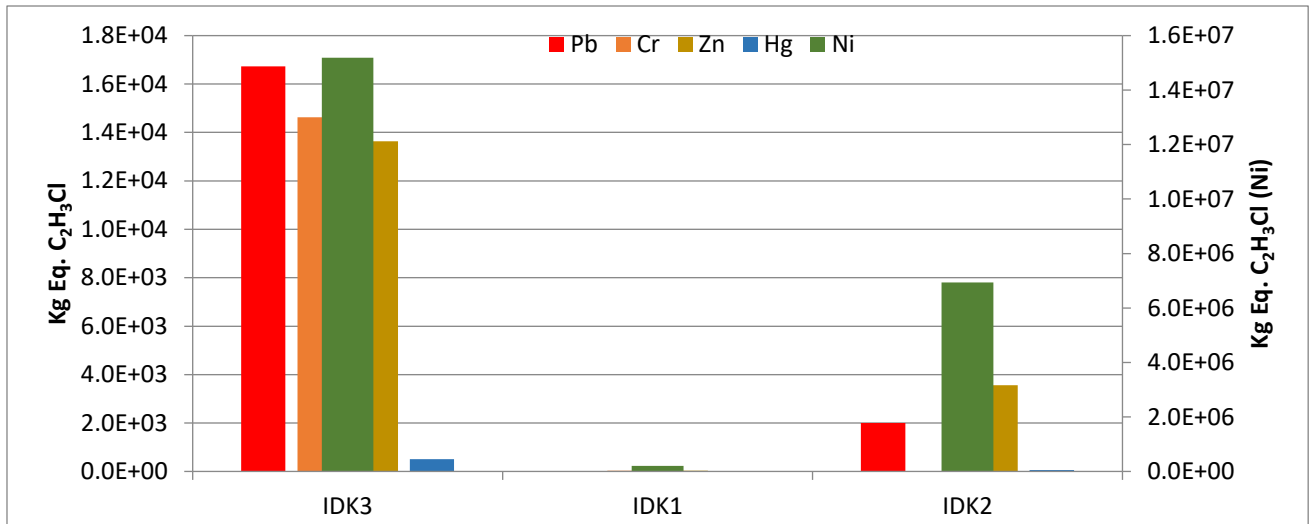


Figure 16 : Score de toxicité humaine de la zone Djésre Kassantina

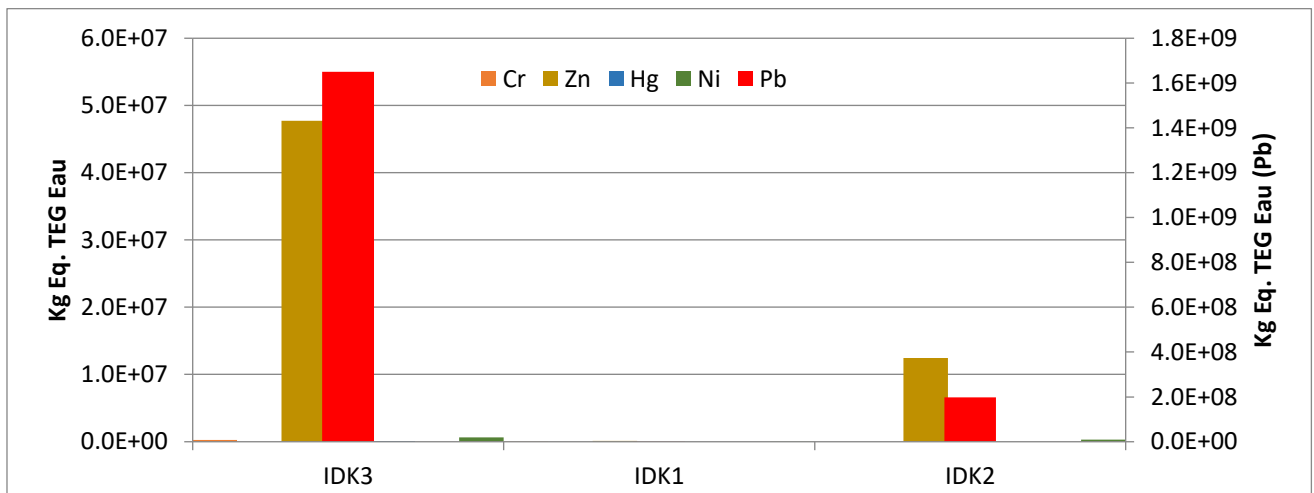


Figure 17 : Score d'Ecotoxicité aquatique de la zone Djésre Kassantina

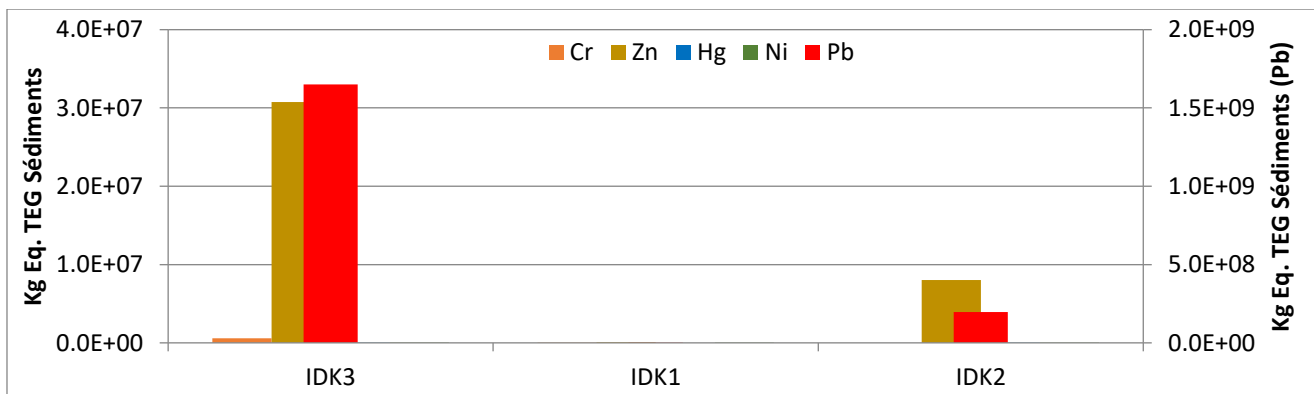


Figure 18 : Score d'Ecotoxicité des sédiments (Oued Baba Ali) de la zone djesere Kassantina

### Discussion :

D'après les graphiques des figures 16, 17 et 18, ces points essentiels peuvent être soulignés :

Industrie IDK1 : les scores de Toxicité Humaine sont modérés pour le plomb, le chrome, le zinc, et le nickel et faibles pour le mercure, alors que ceux du cadmium, cobalt et manganèse

ne sont pas disponibles. Les scores d'Écotoxicité Aquatique sont élevés pour le zinc, modérés pour le plomb, le chrome, et le cuivre, et faibles pour le mercure et le nickel. Ceux de l'Écotoxicité des sédiments sont relativement faibles pour la plupart des métaux, excepté pour le zinc.

Industrie IDK2 : les scores de Toxicité Humaine sont élevés pour le cuivre et le nickel suivis par le plomb, le zinc et le mercure. Ceux de l'Écotoxicité Aquatique sont élevés pour le cuivre, le zinc et le nickel et modérés pour le mercure, alors que ceux de l'Écotoxicité Terrestre sont élevés pour le cuivre et modérés pour le plomb, le zinc et le nickel.

Industrie IDK3 : les scores de Toxicité Humaine sont élevés pour le plomb, le chrome, le zinc, le mercure et le nickel alors que ceux de l'Écotoxicité Aquatique sont élevés pour le plomb, le chrome, le zinc, le mercure et le nickel. Les scores de l'Écotoxicité des sédiments sont élevés pour le plomb, le chrome, le zinc, le mercure et le nickel.

### **Conclusion :**

Finalelement, dans la zone Industrielle de Djesser Kassantina, c'est l'industrie IDK3 qui présente les scores de toxicité humaine et d'écotoxicité (aquatique et sédiments) les plus élevés pour la majorité des métaux, indiquant des niveaux de d'impact significativement plus élevés que les autres industries. L'Industrie IDK2 suit avec des scores maximaux pour le cuivre et le nickel, tandis que l'Industrie IDK1 affiche généralement les scores les plus faibles, excepté pour le zinc qui présente une écotoxicité notable.

La comparaison des trois zones industrielles montre une prépondérance des impacts toxiques de celle de Djesser Kassantina (IDK) principalement à cause des niveaux élevés de pollution par le plomb, le chrome, le zinc, le mercure et le nickel dans les industries IDK3 et IDK2. La zone Industrielle d'Oued Samar (IOS) suit, avec l'Industrie IOS2 montrant des niveaux de pollution élevés pour le plomb, le chrome, le cadmium, le zinc et le nickel. Alors que la contribution de celle d'El-Harrach (IH) est la moins élevée, bien que l'industrie IH-3 présente des scores élevés pour plusieurs métaux, surtout pour le plomb, le chrome, le cadmium et le zinc .

### **III.1.2 Calcul des scores d'impact des eaux des Oueds :**

Les scores d'impact des eaux des Oueds El- Harrach, Samar et Baba Ali sont présentés dans le tableau de l'Annexe A.

#### **➤ Les scores d'impact d'Oued el Harrach aval et les eaux marines**

Les graphiques des figures 19 à 22 présentent les contributions des différentes émissions métalliques à plusieurs classes d'impacts à l'aval de l'Oued el Harrach et les eaux marines. Ainsi, le nickel est le principal contributeur à la toxicité humaine et l'aluminium est majoritaire dans l'écotoxicité marine et celle des sédiments de l'Oued. Le cadmium montre un score élevé pour l'écotoxicité aquatique, alors que le plomb a un impact significatif sur l'écotoxicité des sédiments marins. On observe des variations entre les stations, suggérant des sources de pollution non uniformes le long de l'oued.

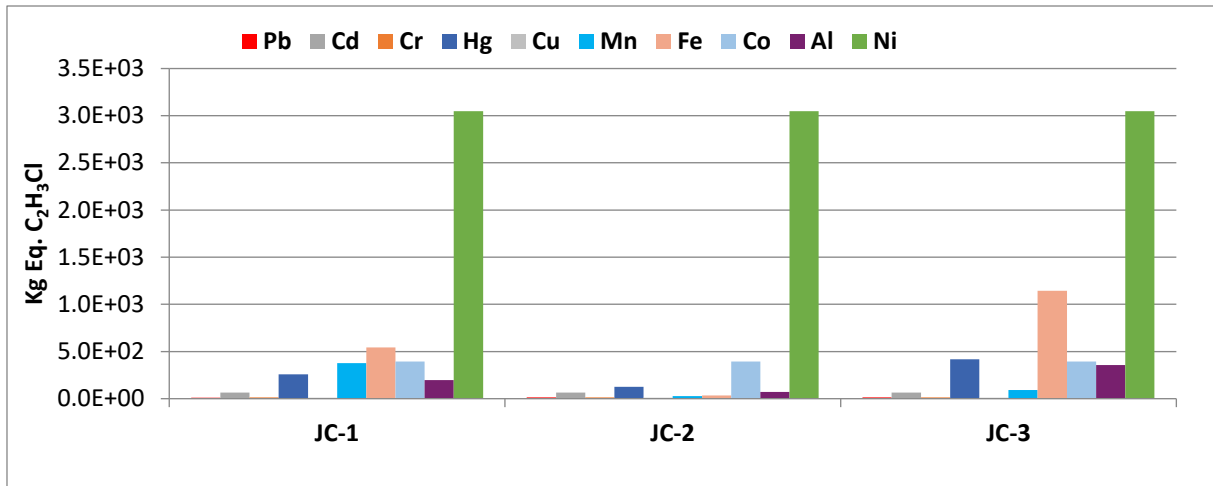


Figure 19 : Scores de Toxicité humaine de l'Oued El Harrach aval

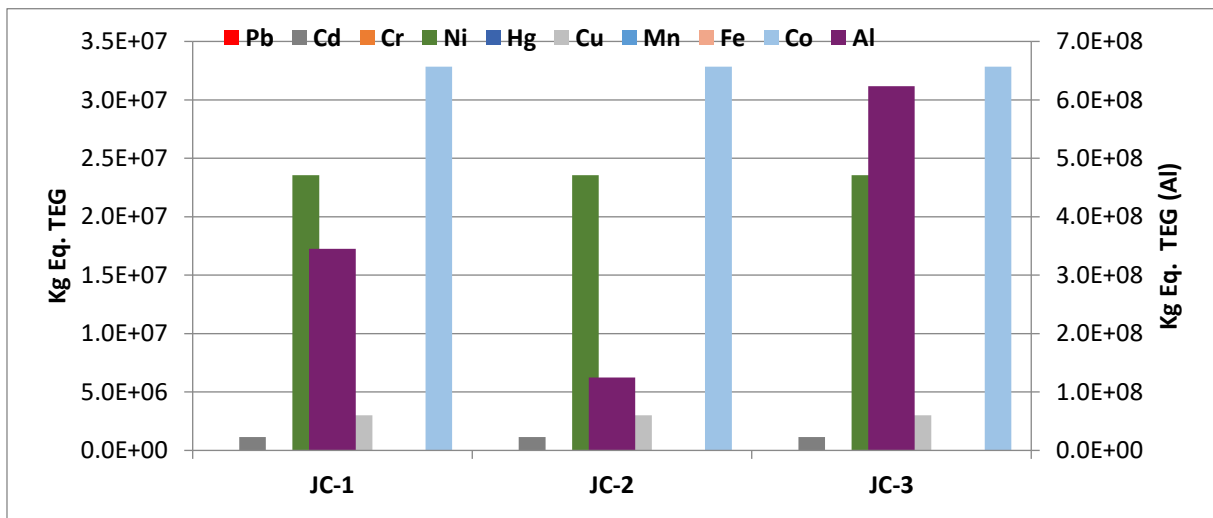


Figure 20 : Score d'écotoxicité marine de l'Oued El Harrach aval

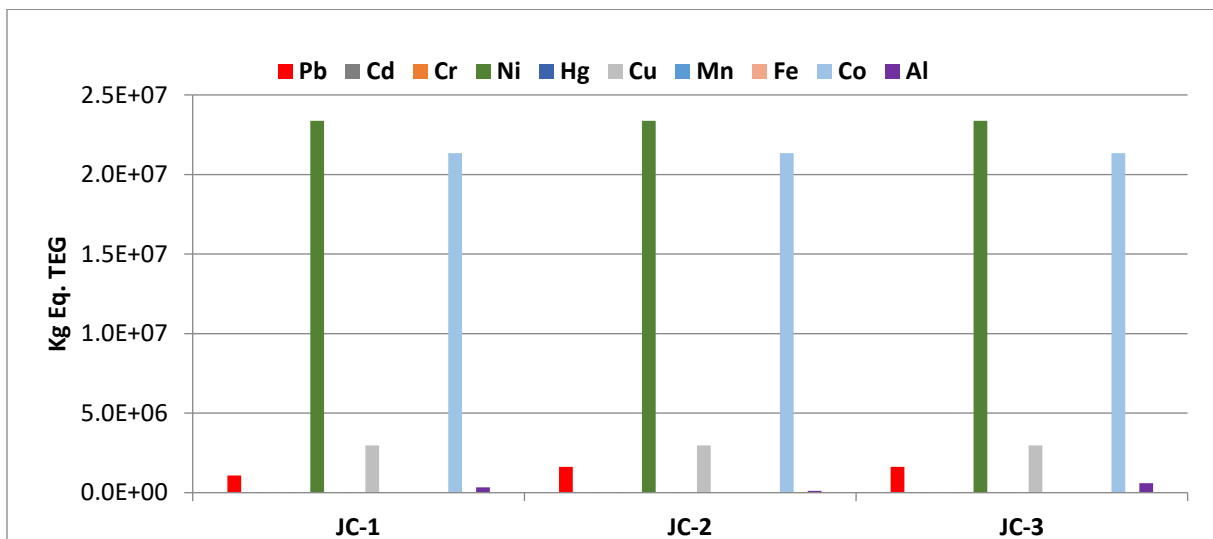


Figure 21 : Score d'écotoxicité des sédiments marins de l'Oued El Harrach aval

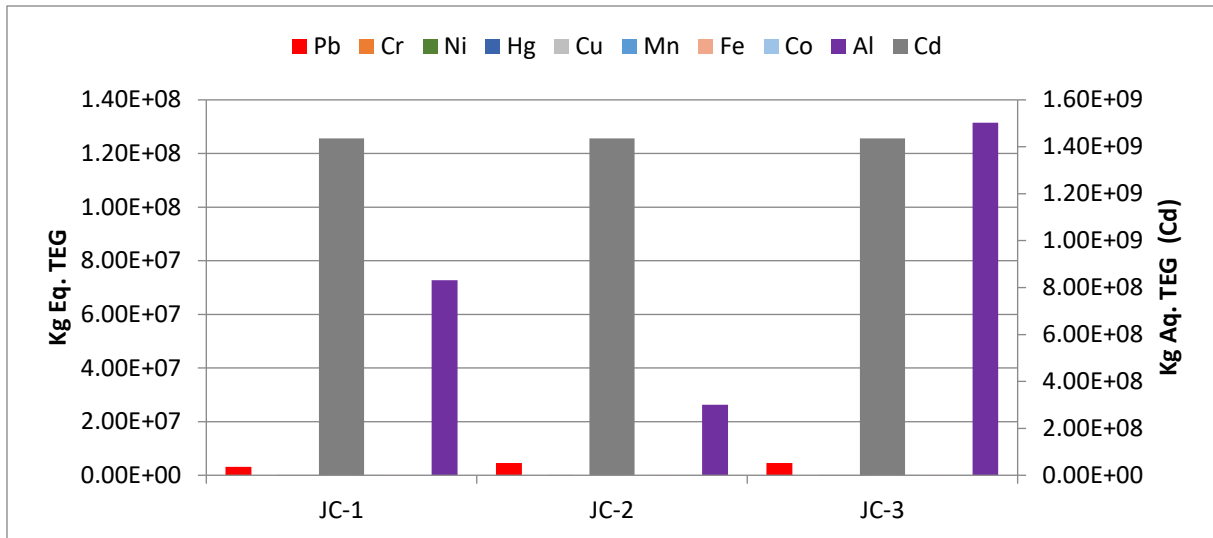


Figure 22: Scores de d'Ecotoxicité aquatique de l'Oued El-Harrach aval

➤ **Les scores d'impact de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali**

Les graphiques des figures 23 à 26 présentent les scores d'impacts toxiques au niveau de l'Oued El Harrach amont et son confluent Baba Ali. Les résultats montrent des tendances similaires à l'Oued el Harrach en termes de contaminants principaux. Le nickel est le contributeur dominant de la toxicité humaine et l'aluminium reste le contributeur majoritaire pour l'écotoxicité marine et des sédiments de l'Oued, tandis que le cadmium maintient son niveau élevé d'impact pour l'écotoxicité aquatique. Les variations entre les stations sont moins prononcées que dans l'Oued el Harrach aval, suggérant une pollution plus homogène.

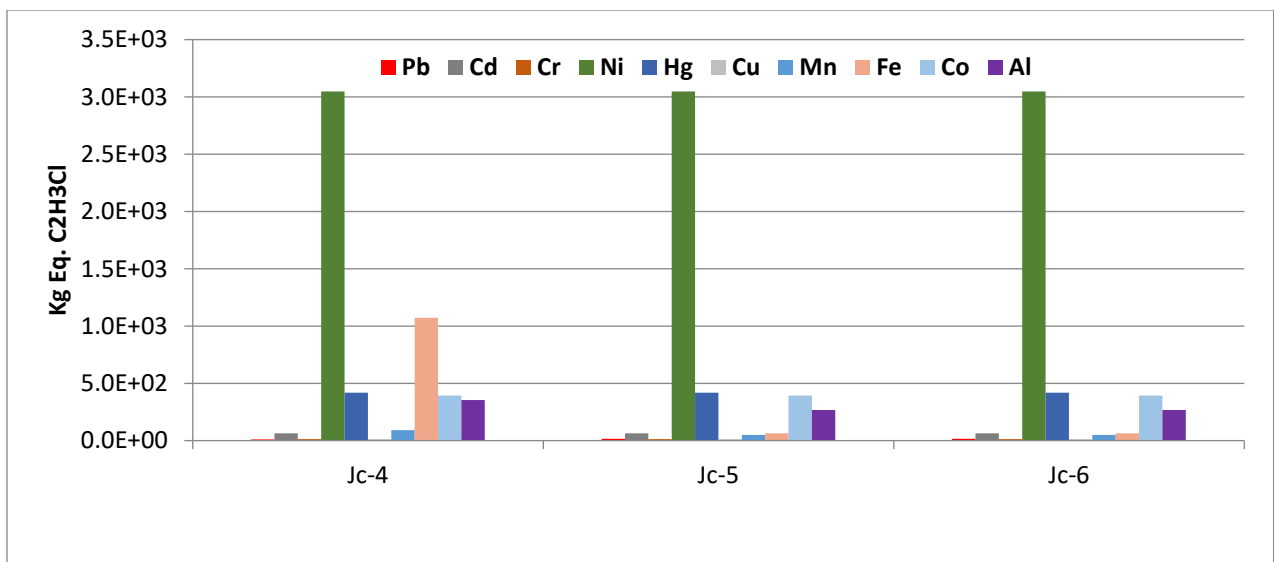


Figure 23: Scores de Toxicité humaine des eaux de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali

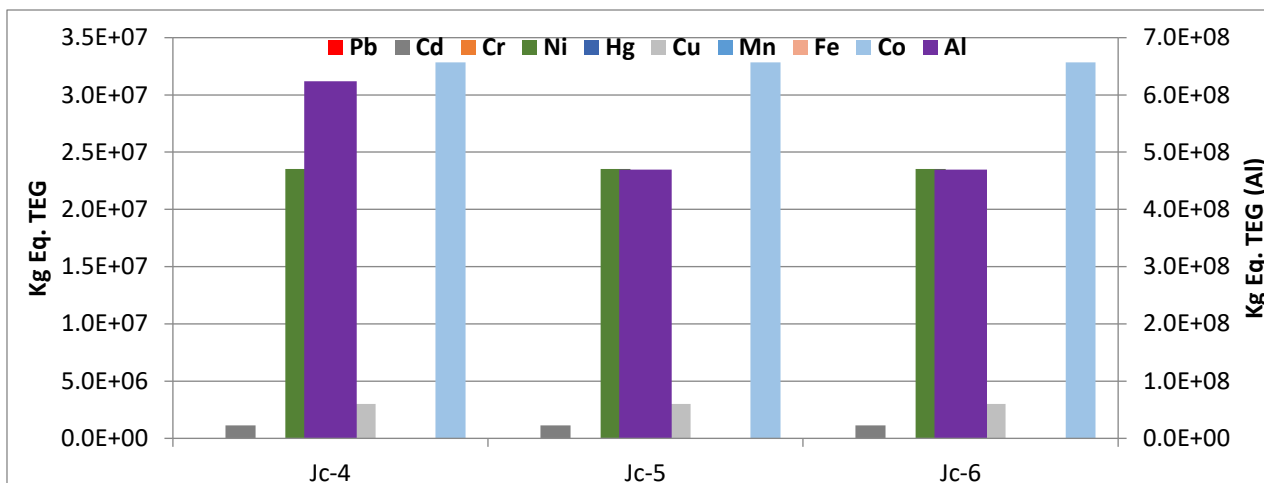


Figure 24: Scores d'Ecotoxicité marine des eaux de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali

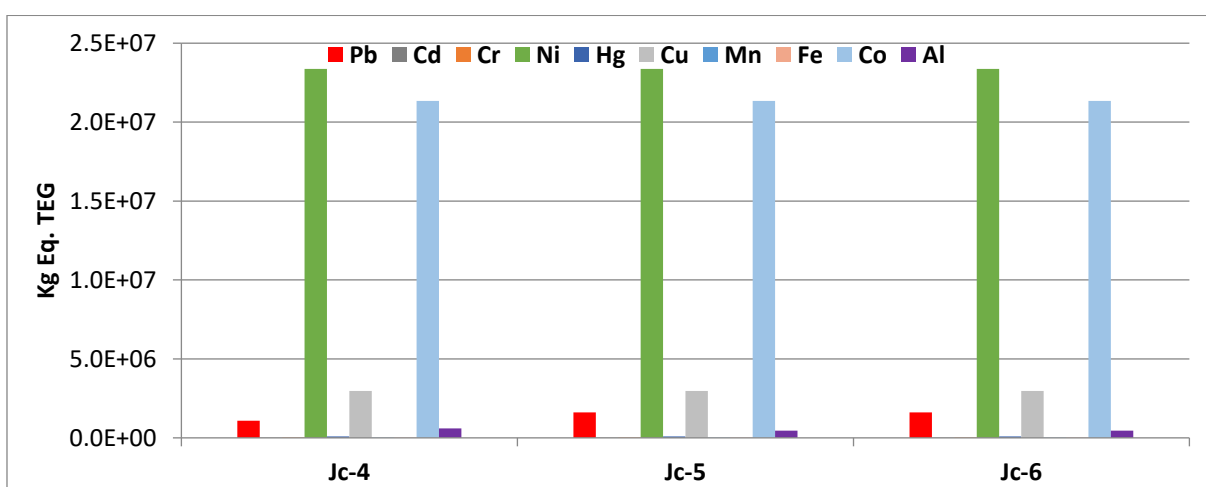


Figure 25: Scores d'Ecotoxicité marine des sédiments marins de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali

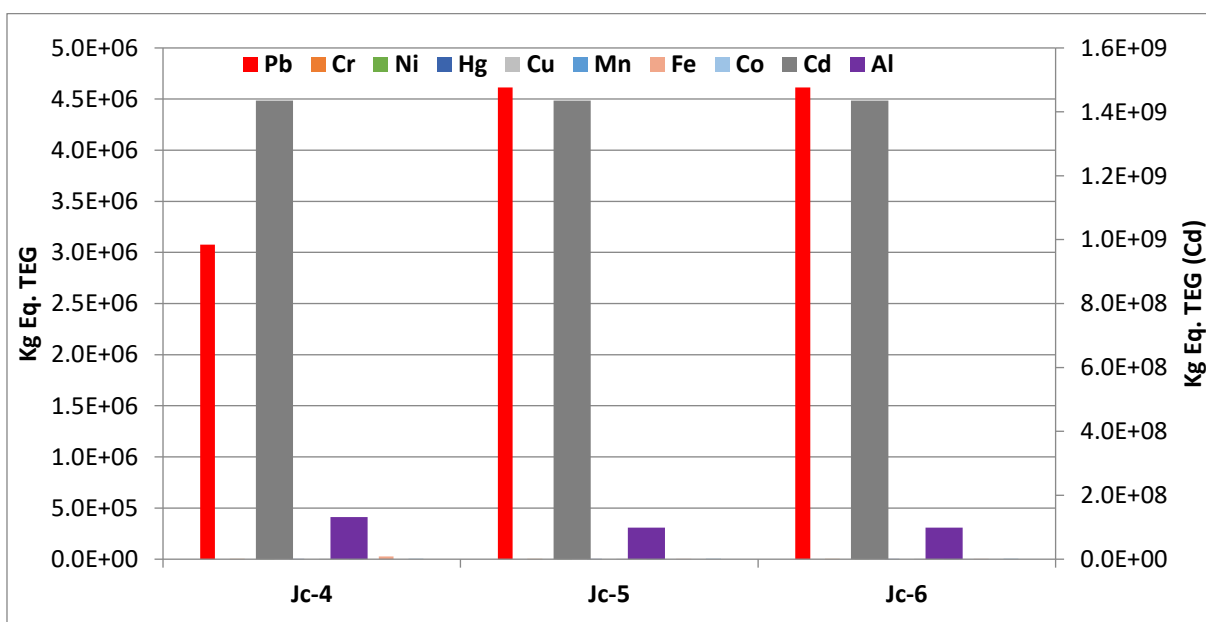


Figure 26: Scores d'Ecotoxicité aquatique de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali

➤ Les scores d'impact de l'Oued Samar

Les scores d'impact dans cette zone sont présentés dans les figures 27 à 30. Ce confluent d'Oued El-Harrach présente les plus grandes variations entre les stations, indiquant une pollution très hétérogène. Un pic notable de manganèse est observé dans une station (Jc-8), suggérant une source de pollution ponctuelle. L'aluminium montre une variation extrême entre les stations, allant de très faible à très élevé. Le cadmium maintient son niveau élevé d'impact pour l'écotoxicité aquatique. Le nickel reste le principal contributeur à la toxicité humaine, sauf dans la station où le manganèse domine.

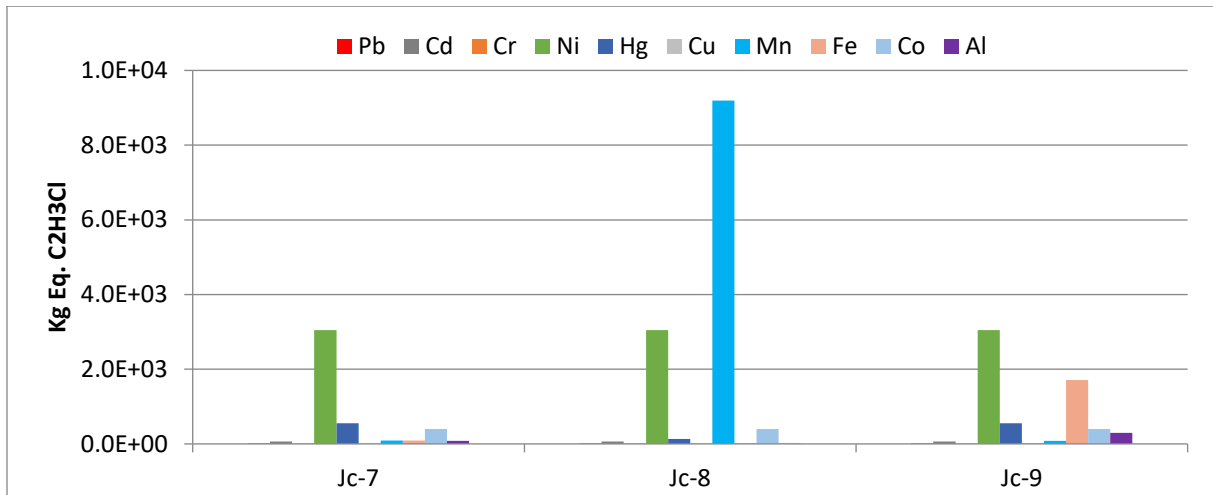


Figure 27: Scores de Toxicité humaine des eaux de l'Oued Samar

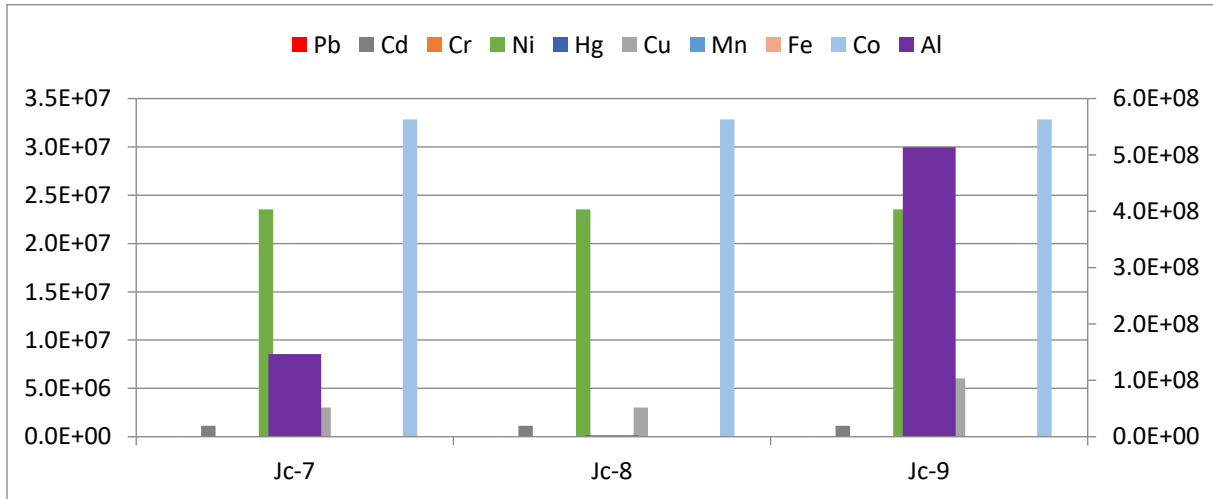


Figure 28: Scores d'écotoxicité marine de l'Oued Samar

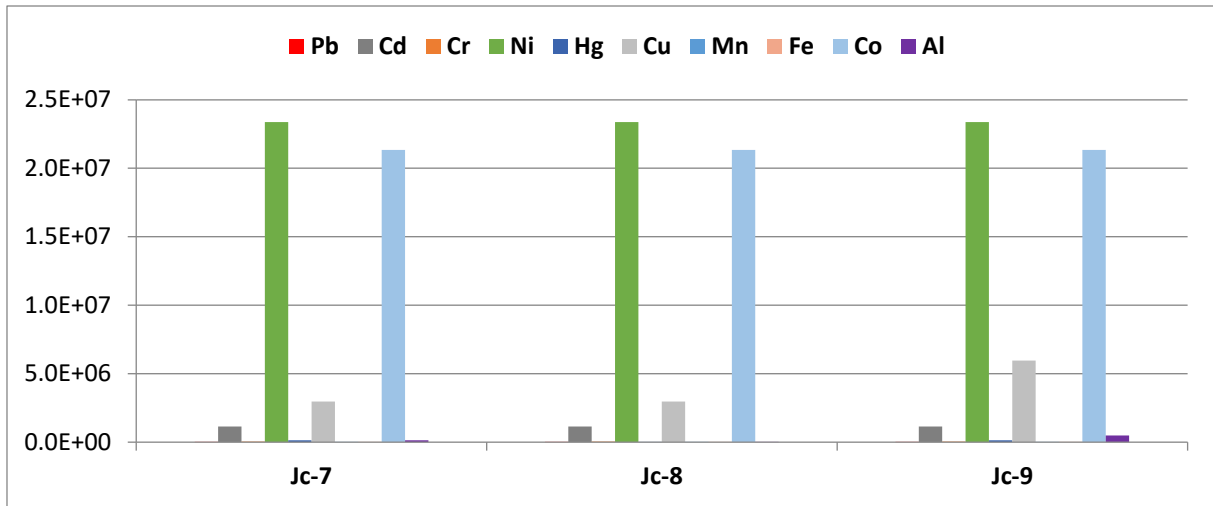


Figure 29: Scores d'écotoxicité des sédiments marins d'Oued Samar

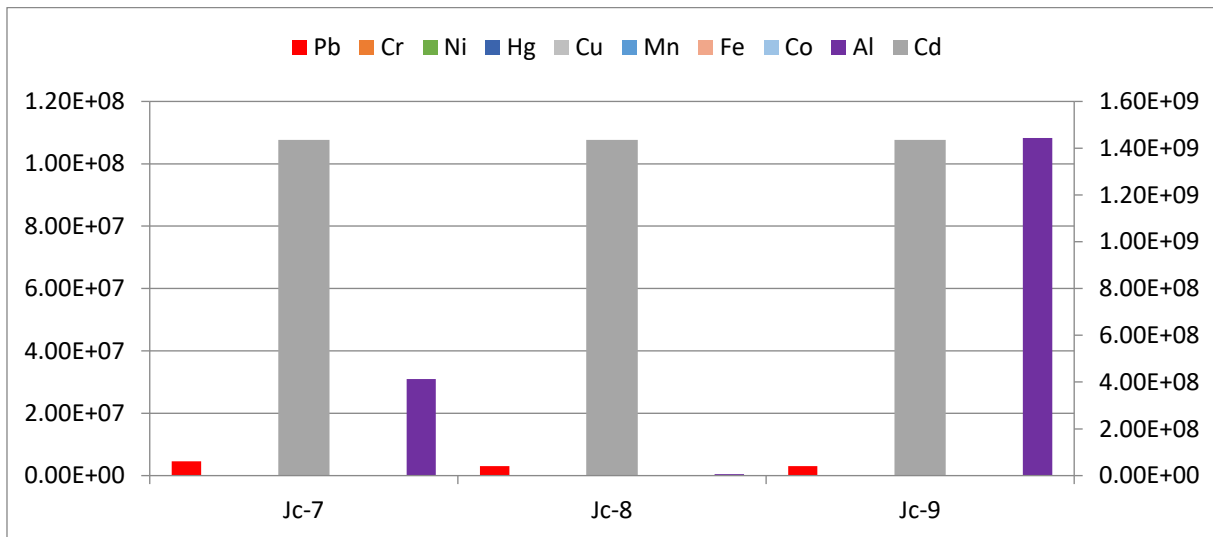


Figure 30: Scores d'écotoxicité aquatique de l'Oued Samar

### Discussion :

L'aluminium apparaît comme un contaminant majeur dans tous les oueds, mais avec une variabilité spatiale importante, particulièrement dans l'Oued Samar. Le cadmium présente un impact toxicologique élevé pour les eaux de tous les oueds, malgré sa faible masse. Le nickel est généralement le principal contributeur à la toxicité humaine dans tous les oueds. Le plomb reste un contaminant préoccupant pour les sédiments marins dans tous les oueds.

L'Oued Samar semble avoir la pollution la plus hétérogène, suggérant des sources de contamination très localisées ou des conditions environnementales variables. L'Oued Baba Ali semble avoir la pollution la plus homogène parmi les trois oueds étudiés,

### III.1.3 Calcul des scores d'impact des sédiments des Oueds :

Les scores d'impact des sédiments des Oueds El- Harrach, Samar et Baba Ali sont présentés dans le tableau de l'Annexe B.

#### ➤ Les scores d'impact des sédiments de l'Oued El Harrach aval

La figure 31 montre une contribution majoritaire du chrome et du fer à l'écotoxicité des sédiments dans la zone aval de l'oued El-Harrach avant son embouchure. Le nickel a le troisième score le plus élevé suivi du zinc et du mercure. Ces métaux, à l'exception du fer ont un fort potentiel toxique pour l'homme et les organismes marins à faible concentration. Leur bioaccumulation dans certaines espèces marines constitue un risque sanitaire pour la population locale.

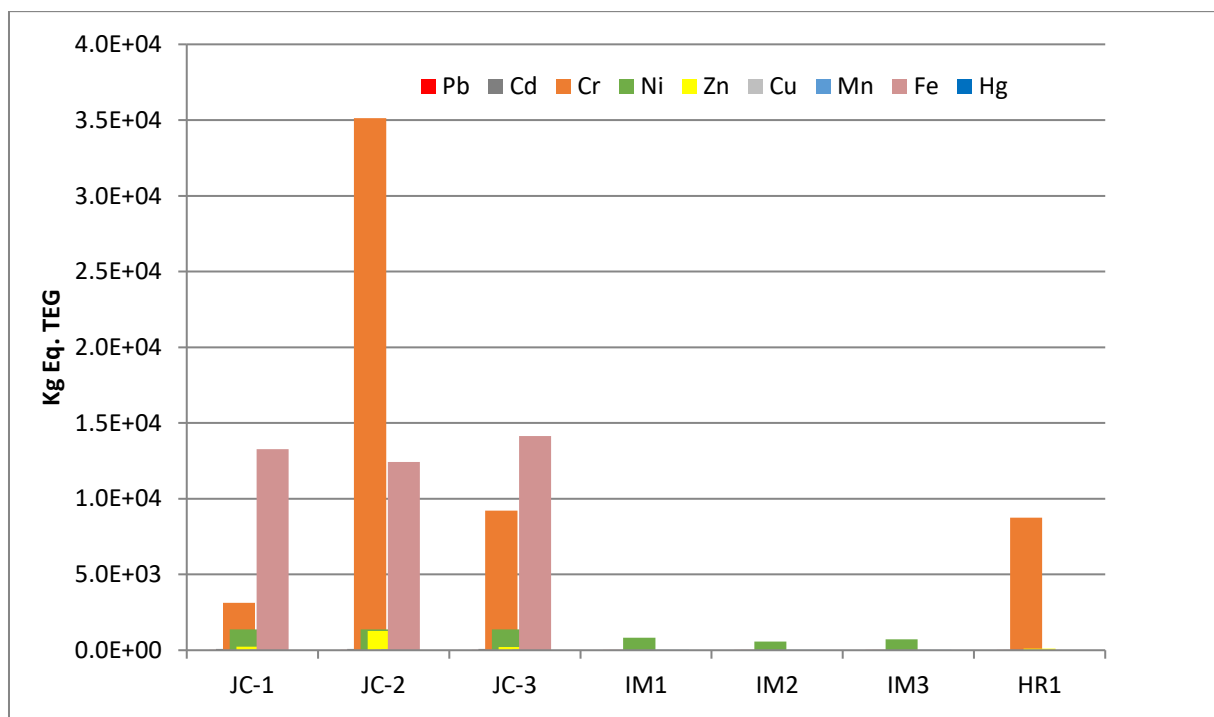


Figure 31 : Scores d'écotoxicité des sédiments à l'aval de l'oued El-Harrach

#### ➤ Les scores d'impact des sédiments de l'Oued El Harrach amont et Baba Ali

Au niveau de l'amont d'oued El-Harrach et son confluent Baba Ali, le chrome et le fer contribuent majoritairement à l'écotoxicité des sédiments, suivis par le zinc et le mercure au point J-5.

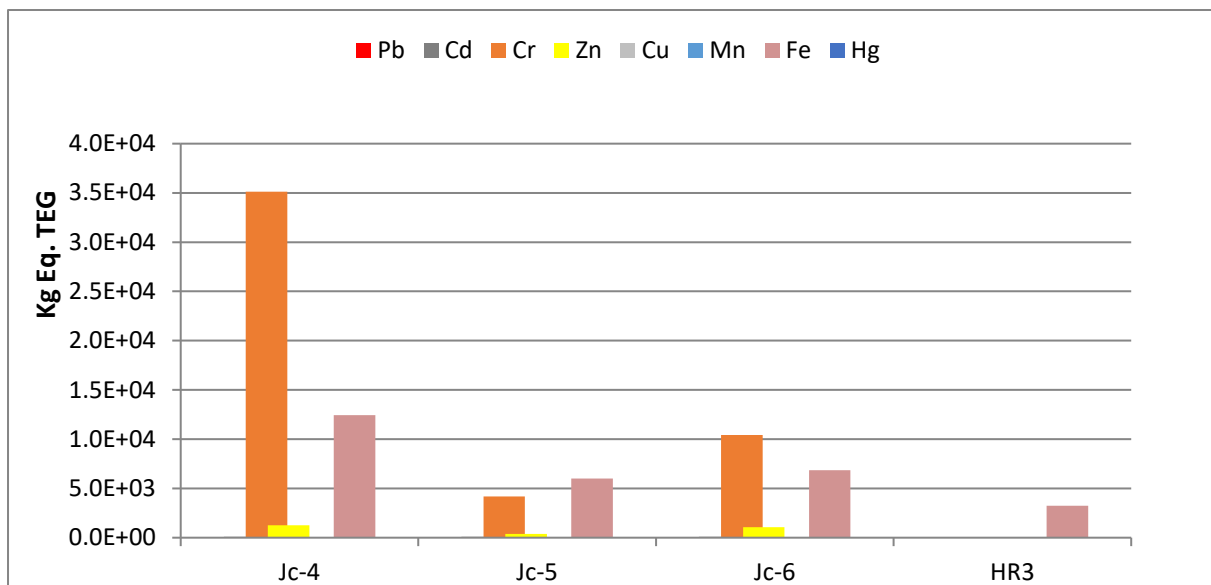


Figure 32 : Scores d'écotoxicité des sédiments à l'amont d'Oued El Harrach et Baba Ali

#### ➤ Les scores d'impact des sédiments de l'Oued Samar

Les scores du chrome et du fer sont les plus élevés et leur contribution à l'écotoxicité des sédiments est confirmée également majoritaire pour l'oued Samar. Ils sont suivis par le nickel et le zinc en particulier aux points J-8 et j-9, ce qui peut être expliqué par la nature des effluents dans cette zone industrielle.

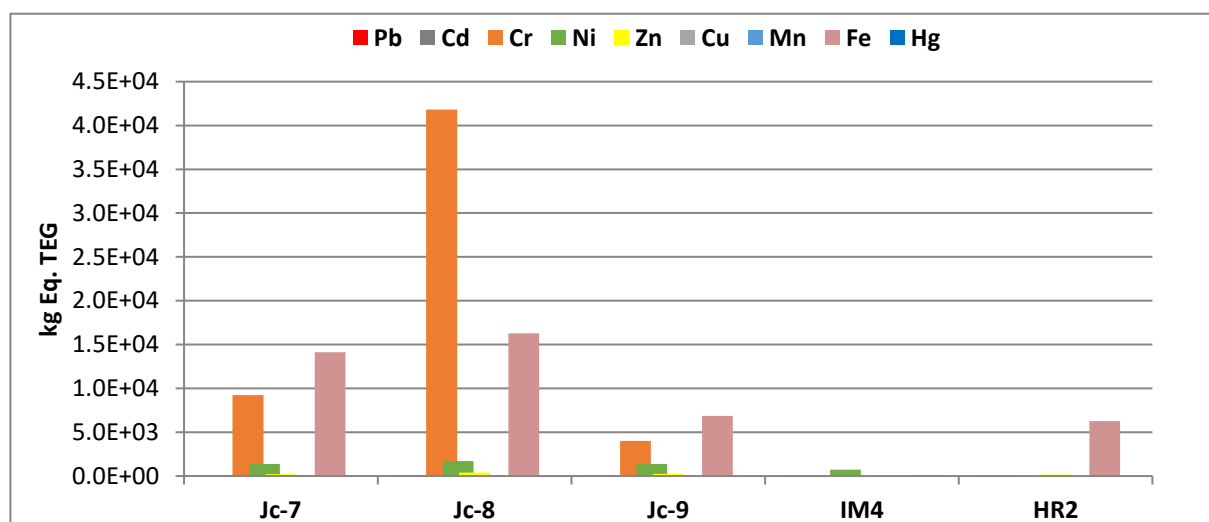


Figure 33 : Scores d'écotoxicité des sédiments l'Oued Samar

#### Discussion générale :

Pour évaluer l'écotoxicité des sédiments au niveau d'Oued El-Harrach et ses deux confluent Oued Samar et Baba Ali, un inventaire des émissions et des flux annuels de métaux a été élaboré et estimé à partir des données bibliographiques (Houas 2014 et Morsli 2018), en plus de nos propres analyses géochimiques qui ont été effectuées dans le cadre de ce PFE.

La variabilité spatiale des scores d'écotoxicité des sédiments des trois oueds a été influencée par plusieurs conditions, notamment :

- Les concentrations et les types de métaux rejetés par les industries et accumulés dans les sédiments
- Les potentiels toxiques spécifiques caractérisant chaque métal selon ses propriétés physico-chimiques et les conditions géochimiques du milieu récepteur.

L'écotoxicité des sédiments à l'aval de l'Oued El-Harrach est prononcée pour le chrome et le fer suivis par le zinc et le nickel. Il y'a également la contribution du nickel même si ses scores sont moins élevés dans toutes les stations, suivi par celle du zinc au point J-c2.

L'Oued Baba Ali enregistre des scores élevés pour le zinc et le chrome surtout au niveau du site HR-3 ainsi que pour le fer et le zinc au niveau des stations Jc-4 à Jc-6.

L'Oued Samar indique des scores élevés pour plusieurs métaux, notamment le chrome et le fer au niveau du point HR-2. Les résultats révèlent également des scores très élevés pour plusieurs métaux, notamment le plomb et le zinc au niveau des stations Jc-7 à Jc-9 ainsi que pour le plomb et le cuivre au niveau du point IM-4.

Il faut souligner que les faibles scores des autres métaux peuvent être liés soit à:

- une insuffisance analytique de détection par un moyen plus sensible comme l'ICP-MS ;
- leurs faibles concentrations initiales dans les rejets industriels selon les types d'industries locales ;
- leur mobilité géochimique qui induit leurs désorption des sédiments et leur transfert dans les eaux de l'oued et l'eau de mer.

## III.2 Calcul des quotients de risques toxiques

### III.2.1 La caractérisation du risque :

La caractérisation du risque a été basée sur le calcul d'un coefficient de danger QD (cf. II.2) pour deux catégories de populations, les adultes et les enfants, via l'alimentation de produits de la mer qui sont contaminés par les métaux émis par les industries dans cette région. Ainsi, deux scénarios d'exposition ont été pris en compte, celui de la consommation de la sardine et celui de l'espadon. Le choix de ces deux espèces a été en fonction de la disponibilité des données sur les concentrations en métaux de ces produits de la mer (auteurs) et également le fait que l'une représente une source de protéines à plus faible coût économique que l'autre pour les consommateurs locaux.

Les doses journalières d'exposition DJE pour tous les métaux auxquels les individus sont exposés, ont été calculées selon l'équation du risque (cf. II.2) et en prenant en compte les paramètres estimés, à savoir les concentrations de métaux dans les deux espèces, le poids moyen de l'individu adulte ou enfant, la ration moyenne ingérée de poisson pour l'Algérie. La dose journalière admise DJA a été définie pour chaque métal par l'Organisation Mondiale de la Santé OMS. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tabl.9).

L'analyse des Quotients de Danger (QD) pour les différents éléments traces révèle des niveaux de risque variés pour la santé humaine. Les préoccupations majeures concernent l'arsenic, le plomb et le mercure, qui présentent des QD largement supérieurs à 1, indiquant un risque élevé d'effets toxiques, particulièrement chez les enfants. Le cadmium montre également un risque pour les enfants. En revanche, les autres éléments (nickel, cuivre, zinc, manganèse, chrome, cobalt et fer) présentent des QD inférieurs à 1, suggérant un faible risque d'effets toxiques. Ces résultats soulignent l'importance de surveiller et de contrôler particulièrement les niveaux d'exposition à l'arsenic, au plomb et au mercure dans l'environnement, avec une attention particulière pour les populations vulnérables comme les enfants. Des mesures de prévention et de réduction de l'exposition à ces éléments devraient être envisagées pour minimiser les risques pour la santé publique.

### III.2.2 Evaluation des scénarios d'exposition au risque toxique :

Trois scénarios d'exposition maximal, moyen et minimal sont comparés pour chaque espèce de poisson consommé (Sardine et Espadon) selon la concentration du métal dans l'espèce et par conséquent la dose d'exposition journalière DJE. Le tableau 10 présente les résultats des coefficients de danger pour chaque population cible selon le scénario d'exposition.

Les graphiques des figures 34 à 37 montrent les niveaux de risques, exprimés en coefficients de danger QD pour les deux types de populations où les enfants sont plus vulnérables aux substances toxiques. Les niveaux de risque sont également dépendant de la fraction ingérée de la substance toxique via l'alimentation et les seuils de toxicité de chaque élément métallique selon son potentiel de toxicité dans l'organisme humain.

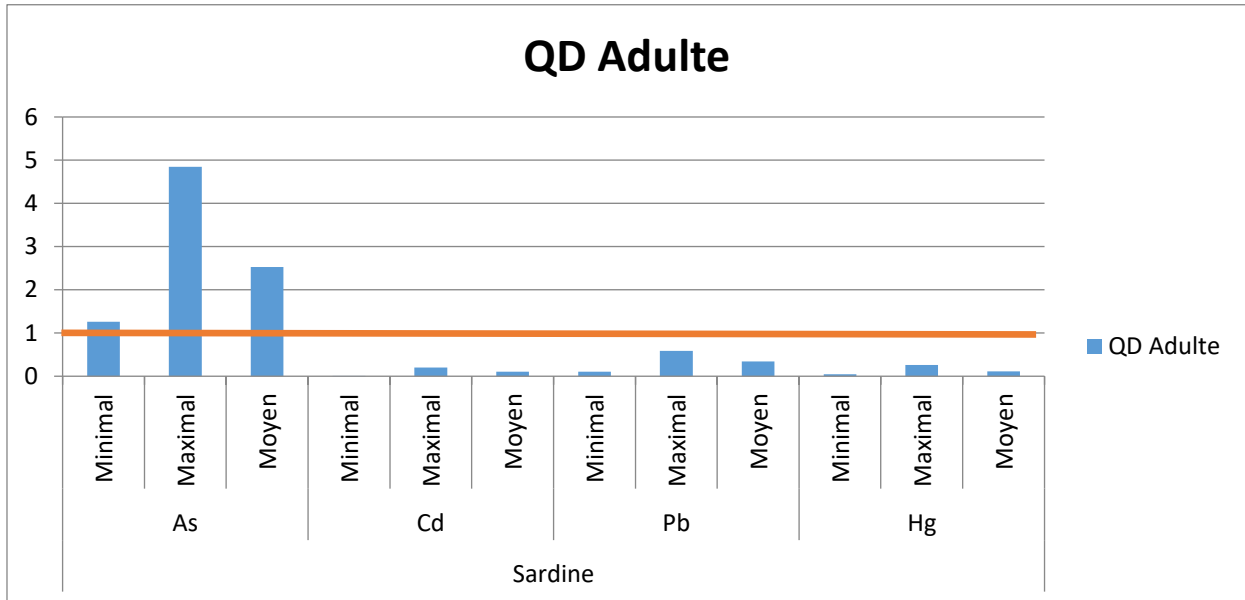


Figure 34: QD Adulte pour la sardine

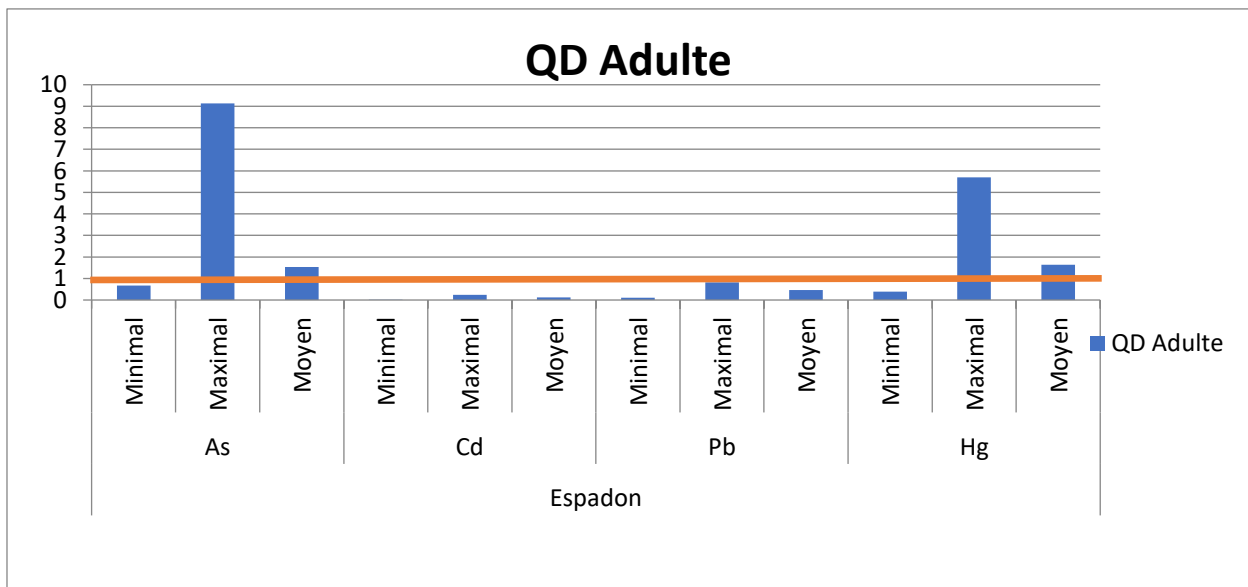


Figure 35 : QD Adulte pour l'Espadon

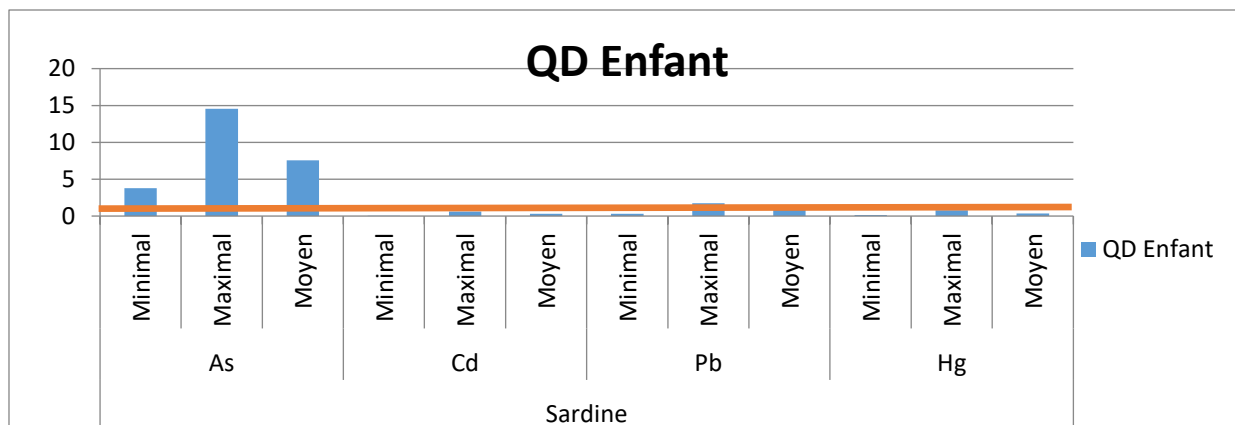


Figure 36 : QD Enfant pour la Sardine

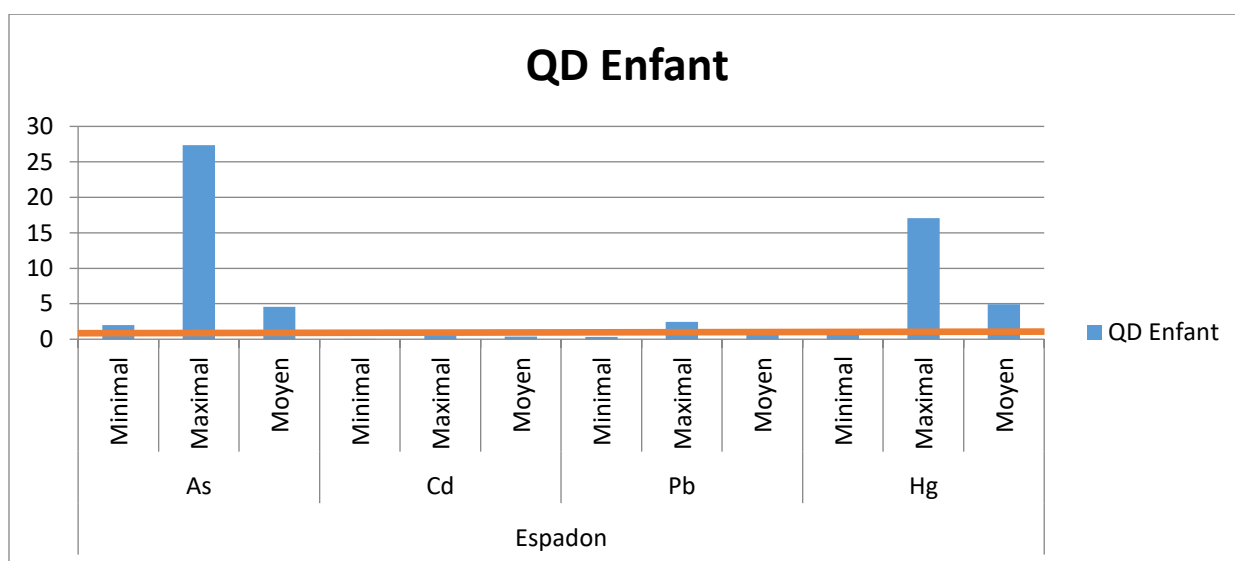


Figure 37 : QD Enfant pour l'Espadon

### Discussion générale :

L'évaluation des risques liés à la consommation de sardine et d'espadon met en évidence des niveaux de danger variables selon les métaux et les scénarios de consommation. L'arsenic apparaît comme le contaminant le plus préoccupant pour les deux espèces, avec des QD systématiquement supérieurs à 1, indiquant un risque potentiel d'effets toxiques même dans les scénarios de consommation minimale. Le mercure présente également un risque significatif, particulièrement dans l'espadon. Le plomb montre un risque potentiel pour les enfants dans les scénarios de consommation élevée. Le cadmium, en revanche, présente un faible risque pour les deux espèces.

L'espadon semble globalement présenter des risques plus élevés que la sardine, notamment en ce qui concerne l'arsenic et le mercure. Les enfants apparaissent comme une population particulièrement vulnérable, avec des QD généralement plus élevés que chez les adultes.

Ces résultats suggèrent la nécessité de recommandations de consommation prudentes, en particulier pour l'espadon et pour les populations sensibles comme les enfants et les femmes enceintes. Une surveillance continue des niveaux de contamination dans ces espèces de poissons est recommandée, ainsi que des efforts pour réduire la pollution marine par ces métaux

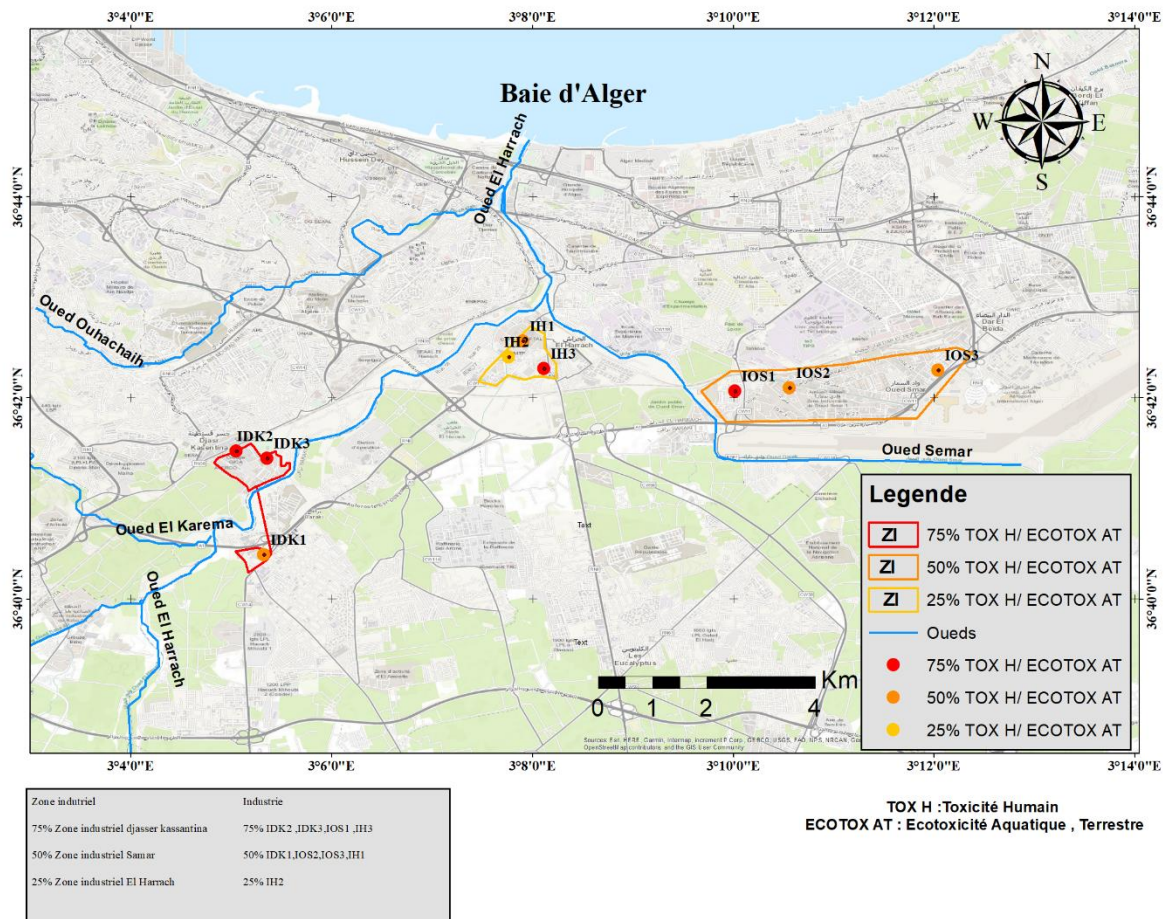
lourds. Des conseils diététiques équilibrés, promouvant une consommation variée de poissons tout en limitant l'exposition aux espèces les plus contaminées, pourraient aider à maximiser les bénéfices nutritionnels tout en minimisant les risques toxicologiques.

## **III.3 La géolocalisation des impacts et des risques toxiques**

Dans une démarche d'innovation, les résultats d'évaluation des impacts et des risques toxiques sont géolocalisés à l'aide d'outils cartographiques. Cette géolocalisation concerne les scores d'impact et les coefficients de risque pour optimiser leur visibilité et leur gestion.

### **III.3.1 La géolocalisation des scores d'impact des zones industrielles :**

Les résultats des scores d'impacts environnementaux des industries sont géolocalisés dans trois zones industrielles : Djar Kasentina, Samar, et El Harrach (Fig.38).



**Figure 38:** Carte de géolocalisation des Scores d'impact toxique des industries (Ce travail, Guessab et belhouadjeb 2024)

### Discussion :

La géolocalisation des impacts environnementaux des industries dans trois zones industrielles autour de la Baie d'Alger : Djar Kasantina, El Harrach et Samar. Les impacts sont évalués en termes de toxicité humaine (TOX H) et d'écotoxicité aquatique et terrestre (ECOTOX AT), et sont classés en trois catégories : 25%, 50%, et 75%.

La zone industriel Djar Kasantina d'impact de (75%) affichent que IDK2 et IDK3 a des niveaux élevés de toxicité et d'écotoxicité (75%), indiqués par des points rouges. L'industrie IDK1, représentée par un point orange, montre un impact de (50%).

La zone industriel Samar d'impact (50%) affichent que IOS1 a des niveaux élevés de toxicité et d'écotoxicité (75%), indiquées par point rouge, IOS2 et IOS représentées par un point orange d'impact de (50%)

La zone industriel Harrach d'impact (25%) affichent que IH3 a des niveaux élevés de toxicité et d'écotoxicité (75%), indique par point rouge, IH1 représentée par un point orange d'impact (50%) , IH2 représentée par point jaune d'impact (25%).

### III.3.2 La géolocalisation des scores d'impact des eaux et des sédiments des oueds :

La carte de géolocalisation d'Impact ECOTOX présente une vue d'ensemble des impacts éco toxicologiques dans la région de la Baie d'Alger, en se concentrant sur quatre types d'écotoxicité : Eaux marines (EM), Eaux d'Oued (EO), Sédiments d'Oued (SO) et Sédiments marins (SM). Les impacts sont classés selon leur intensité en trois catégories : 25%, 50% et 75%.

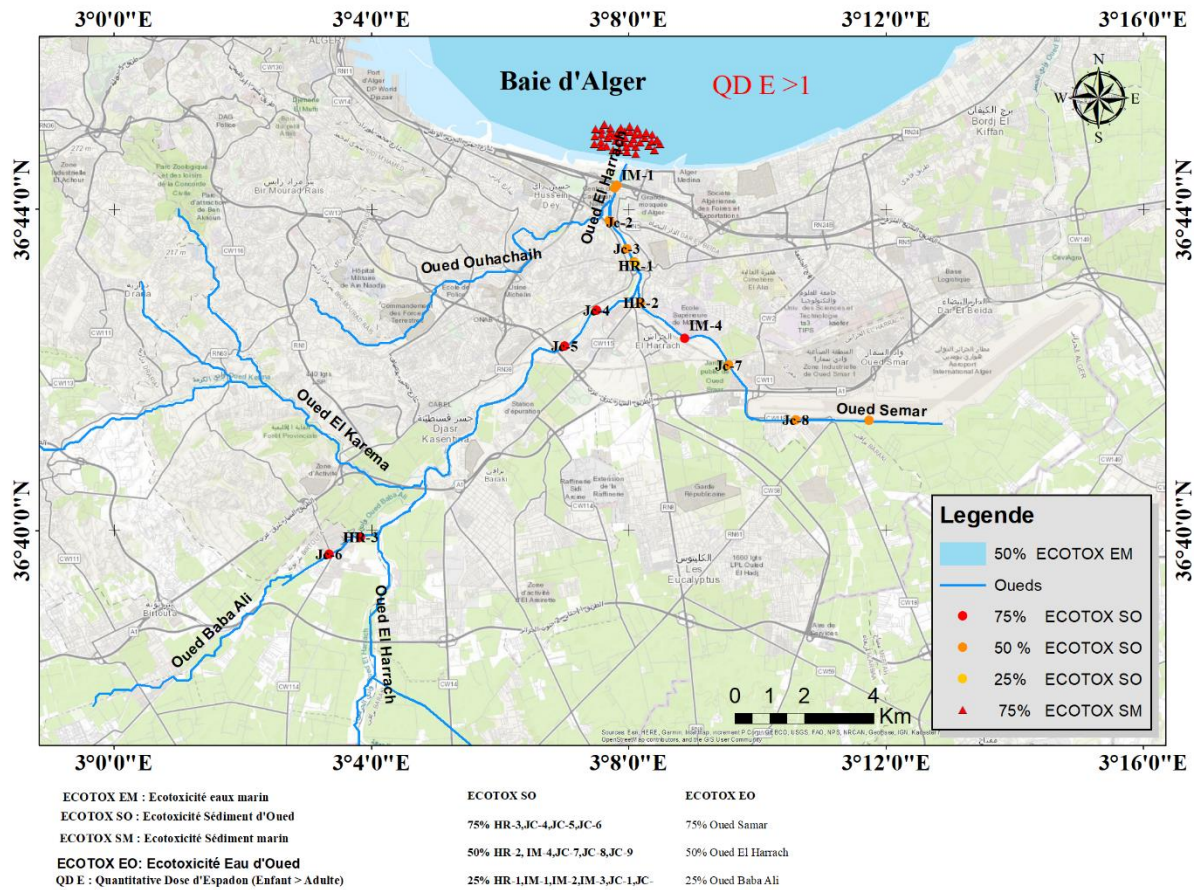


Figure 39: Carte de géolocalisation des risques et scores d'impact des eaux et des sédiments (Ce travail, Guessab et belhouadjeb 2024)

#### Discussion :

##### Écotoxicité des Eaux Marines (ECOTOX EM) :

- La Baie d'Alger montre un niveau d'écotoxicité de 50% sur toute sa surface, indiqué par la couleur bleu clair.

##### Écotoxicité des Eaux d'Oued (ECOTOX EO) :

- Oued Samar et Oued Harrach présentent des niveaux élevés d'écotoxicité (75%)
- Oued Baba Ali montre un niveau d'écotoxicité modéré (50%)

##### Écotoxicité des Sédiments d'Oued (ECOTOX SO) :

- Les points le long des oueds indiquent des niveaux variables d'écotoxicité des sédiments :
  - o Points rouges (75%) : niveaux élevés d'écotoxicité, principalement observés près de l'embouchure des oueds.

- Points orange (50%) : niveaux modérés d'écotoxicité, observés à divers endroits le long des oueds.
- Points jaunes (25%) : niveaux faibles d'écotoxicité,

Écotoxicité des Sédiments Marins (ECOTOX SM) :

- Les triangles rouges dans la Baie d'Alger indiquent un niveau élevé d'écotoxicité (75%) des sédiments marins. Cette concentration de points suggère une accumulation significative de contaminants dans les sédiments marins près de la côte.

Quantitative Dose d'Exposition (QD E) :

- La mention "QD E >1" dans la Baie d'Alger indique que la dose d'exposition quantitative d'Espadon dépasse le seuil de référence, suggérant un risque potentiel pour la santé humaine (enfants > adultes).

# Conclusion Générale :

L'évaluation des impacts et des risques a été élaborée selon une approche couplée et originale, en exploitant les outils d'analyse des impacts et des risques avec les outils cartographiques pour offrir une vision spatialisée et dynamique des problèmes de pollution dans cette région fortement industrialisée et urbanisée.

Ainsi, l'analyse et la géolocalisation des émissions industrielles et urbaines de métaux lourds dans le littoral algérien, ont révélé des niveaux significatifs de contamination, particulièrement dans les oueds de la région d'Alger. Les résultats montrent une variabilité des niveaux de pollution en fonction des différentes zones de prélèvement, avec des concentrations élevées de certains métaux lourds dans des sites spécifiques. Cette étude met en évidence l'importance de surveiller régulièrement les niveaux de pollution métallique pour protéger les écosystèmes marins et la santé publique.

Les résultats obtenus soulignent la nécessité de mettre en œuvre des mesures de prévention et de réduction des émissions de métaux lourds. Cela inclut l'amélioration des pratiques industrielles, la gestion appropriée des déchets urbains et industriels, ainsi que des politiques de régulation plus strictes. De plus, la géolocalisation des sources de pollution s'est avérée un outil précieux pour identifier les zones à risque et cibler les efforts de remédiation.

Cette étude fournit une base solide pour comprendre la dynamique de la pollution métallique dans le littoral algérien et propose des recommandations pour une gestion durable de ces environnements fragiles. En complétant la collecte des données pour avoir des analyses plus fines de la situation, ceci permettra d'élaborer des stratégies efficaces visant à minimiser les impacts négatifs des métaux lourds et d'autres polluants sur les écosystèmes et la santé humaine.

# REFERENCES

## BIBLIOGRAPHIQUES

**Adeline Tatangelo. (2013)** Optimisation de la précipitation des métaux lourds en mélange et valorisation des boues d'hydroxydes : application aux effluents de traitement de surfaces. Ingénierie de l'environnement. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2006. Français. ffNNT : 2006EMSE0037ff. fftel-00784807.

**Ardestani, M. M., van Straalen, N. M., & van Gestel, C. A. M. (2014).** Uptake and elimination kinetics of metals in soil invertebrates: A review. *Environmental Pollution*, 193, p.p.277–295. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.026>

**Aroua M., Boulahdid M., Radakovitch O., Benhalima M, Guendouzi Y., Scott Fowler W., Ambrosi J.P. (2022)** Sediment pollution : An assessment of anthropogenic and geogenic trace element contributions along the central Algerian coast. *Marine Pollution Bulletin* 186. p.p114-398

**Aroua N., Berezowska-Azzag E. (2009)** Contribution à l'étude de la vulnérabilité urbaine au risque d'inondation dans un contexte de changement climatique. Cas de la vallée de Oued El Harrach à Alger. Conference: 5th Urban Research Symposium Cities and climate change: Responding to an urgent Agenda.

**Asman, W., Jorgensen, A., and Jensen, P. K. 2003.** Dry deposition and spray drift of pesticides nearby water bodies. *Pesticide Research* Nr 66 2003. Danish Environmental Protection Agency.

**Benhalima M., Boulahdi M., Guendouz Y., Radakovitch O., Aroua M., Fowler S.W., Ambrosi J. P., Angeletti B. (2022)** . Occurrence, contamination level and ecological risk assessment of dissolved and particulate trace elements in rivers entering the southwestern Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 180, 113723. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113723>.

**Bouchereau J.L., Ghazi M., 1988,** “Paramètres de croissance de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), de la baie de Béni-Saf (Algérie)“. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 31 (2): p.267.

**Boulahdid M., Eddalia N., Boudjellal B., Azouz M. (2003)** les eaux de la baie d'Alger. Quelques aspects physico-chimiques et environnementaux. *Annales de l'Institut National Agronomique - ElHarrach - Vol.24, N° 1 et 2, 2003.*

**Cabral Pinto, M. M. S., Silva, M. M. V. G., Ferreira da Silva, E. A., Dinis, P. A., & Rocha, F. (2017).** Transfer processes of potentially toxic elements (PTE) from rocks to soils and the

143 origin of PTE in soils: A case study on the island of Santiago (Cape Verde). *Journal of Geochemical Exploration*, 183, p.p.140–151.

[En ligne]. [Consulte le 20/5/2024]. Disponible sur le web :

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.004>

**Campbell, P. G. C., O. Errécalde, C. Fortin, V. P. Hiriart-Baer et B. Vigneault (2002).** "Metal bioavailability to phytoplankton-applicability of the biotic ligand model." *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 133: p.p.189-206.

**Charlou J., Joanny M. (1983).** Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique. In Aminiot A & Chaussepied M. (Eds) : *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Bndo/Document, Brest, p.p. 285-295.

**Dagne Bekele Bahiru (2020)** Determination of Heavy Metals in Wastewater and Their Toxicological Implications around Eastern Industrial Zone, Central Ethiopia. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 12(2):p.p.72-79.

**Dhriti Kapoor, Mahendra P. Singh (2021)** Heavy metal contamination in water and its possible sources. *Heavy Metals in the Environment, Impact, Assessment and Remediation*, Pages p.p.179-189.

**Errahmani D. T., Nouredine A., Abril-Hernánde J, Boulahdi M. (2020)** Environmental radioactivity in a sediment core from Algiers Bay : Radioecological assessment, radiometric dating and pollution records. *Quaternary Geochronology*, Volume 56, March 2020, 101049. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.101049>.

**Eunice Iloms, Olusolao O. Ololade, Henry J. O. Ogola, and Ramganes Selvarajan , (2020)** Investigating Industrial Effluent Impact on Municipal Wastewater Treatment Plant in Vaal. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*; South Africa; 17(1096):18. DOI: 10.3390/ijerph17031096.

**FAO (2009)** Directives pour l'inspection du poisson fondée sur les risques. *Etude FAO alimentation et nutrition*, n°90, Rome, p.95

**Geoffrey K. Kinuthia, Veronica Nguni, Dunstone Beti, Reuben Lugalia, Agnes Wangila, and Luna Kamau (2020)** Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: community health implication. *Sci Rep.* 2020 ; 10 : 8434. Doi : 10.1038/s41598-020-65359-5.

**Golam Kibria, Maruf Hossain , Debbrota Mallick b, T.C. Lau, Rudolf Wu (2016)** Trace/heavy metal pollution monitoring in estuary and coastal area of Bay of Bengal, Bangladesh and implicated impacts. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 105, Issue 1, p.p.393-402.

**Goldberg, E.D. (1975)** The Mussel Watch: A First Step in Global Marine Monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 6, 111-114. [En ligne]. [consulte le 23/6/2024]. Disponible sur le web : [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(75\)90271-4](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(75)90271-4)

**Guendouzi Yassine (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. Dely Brahim : ENSSMAL, Alger.

**Guendouzi Y., Soualili D. L., Fowler S. W., Boulahdid M. (2020)** Environmental and human health risk assessment of trace metals in the mussel ecosystem from the southwestern Mediterranean. Mar. Pollut. Bull. 151. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110820>

**Ghazi M., Duplay J., Hadjamor R., Khodja M, Ait Amar H., Kessaissia Z., 2011,** "Life-Cycle Impact Assessment of oil drilling mud system in Algerian arid area". Resources, Conservation and Recycling journal, p.18

**Ghazi M., Setiti S, Silhadi M.A, Khateb M (2017)** Evaluation de la performance environnementale de la station de dessalement de l'eau de mer (Fouka, Alger) par l'Analyse du Cycle de Vie (ACV). 3ème colloque international francophone en environnement et santé. Dunkerque, p.p. 23-25 octobre, Communication orale.

**Ghazi M., Duplay J., Hernandez F., Tarmoul F., Rousseaux P. (2018)** Methodological sustainability analysis of the industrial process by tridimensional and combined assessments: Environmental impacts, Costs and Risks. 4th Green and Sustainable Chemistry Conference, 5-8 May 2019, Dresden, Germany.

**Kechidi S.A. (2014)** Contribution à l'étude de la contamination par les métaux traces (Pb, Cu, Cd, Ni, Zn) de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbbaum, 1792) de la baie d'Alger.

**Kherraf Allaoua (2014)** Propriétés mécaniques et biomécaniques de dépôts obtenus par projection thermique « Application de l'Emission Acoustique ». Thèse de Doctorat, Batna 2 :Université.

Larbi Salem Amine (2016) Métallisation des pièces en matières plastiques. Mémoire de Master. Environnement. Blida : Université

**Le Goff F., Bonnomet V. (2004)** Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique, INERIS DRC-03-46822-FLg/JL-03.0693.

**Houas Omar (2014)** Etude de la pollution dans le bassin versant de l'Oued-El-Harrach. Projet de coopération de l'Observatoire National de l'Environnement et du développement Durable (ONEDD) et l'Agence International de Coopération japonaise (JICA) Séminaire National de formation HORIZON 2020, Alger, 24 et 25 septembre 2014.

**Louati Brahim (2015)** Etude de dépollution industrielle du bassin versant de l'Oued El Harrach. Mémoire de master. Environnement . Annaba: Université de Badji Mokhtar

- Maciej Thomas, Violetta Kozik, Andrzej Bąk, Krzysztof Barbusiński, Joanna Jazowiecka-Rakus, and Josef Jampilek (2021)** Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: An Application of Sodium Trithiocarbonate and Wastewater Toxicity Assessment. *Materials* (Basel). 14(3): 655.10.3390/ma14030655
- McGeer, J. C., K. V. Brix, J. M. Skeaff, D. K. DeForest, S. I. Brigham, W. J. Adams et A. Green (2003).** "Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment." *Environm. Toxicol. Chem.* 22(5): p.p.1017-1037.
- Mehouel F. (2020)** Contamination de la sardine et de l'espadon par les métaux lourds et évaluation du risque d'exposition pour les consommateurs algériens. Thèse de Doctorat, Université Saad Dahlab Blida 1, Institut des sciences vétérinaires.
- Meyer, J. S. (2002).** "The utility of the terms "bioavailability" and "bioavailable fraction" for metals." *Marine Environ. Res.* 53: p.p.417-423.
- Morsli I., Bouyakoub F. (2018)** Contribution à l'évaluation de degrés de contamination physico-chimique et microbiologique au niveau de l'oued El-Harrach. Mémoire de Master. Environnement. Blida 1 : Université
- MTD (2006)** Traitement de surface des métaux et matières plastiques. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Commission européenne, PT/EIPPCB/STM\_BREF\_FINAL septembre 2005.
- Newman, M. C. et C. H. Jagoe (1994).** Ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments. Bioavailability:physical, chemical and biological interactions. J. M. Heamelinck, P. F. Landrum, H. L. Bergman and W. H. Benson. Boca Raton, USA, Lewis Publishers.
- Reta H, Mekonen N (2023)** Determining heavy metal concentrations and physicochemical properties in wastewater. *Adv Toxicol Toxic Effects* 7(1): 001-007. DOI: 10.17352/atte.000012
- Rigaud J., (1998)** Traitements de surfaces. Epuration des eaux. 1-287.Lyon, SITS. Viveros
- Santos, I. (2022)** Modélisation de l'influence du changement climatique sur l'écotoxicité terrestre du cuivre dans le cadre de l'analyse du cycle de vie prospective : application à la filière vitivinicole. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique de Montréal.
- Sadiq R. (2001)** Drilling waste discharges in the marine environment: A risk based decision methodology. Ph.D. Thesis. Memorial University of Newfoundland, St. John's, Canada.
- Shih H.-c., Ma H.-w. (2011)** Life cycle risk assessment of bottom ash reuse. *Journal of Hazardous Materials* 190. p.p. 308–316.
- Soualili, D ; Dubois, P ; Gosselin, P ; Pernet, P et Guillou, M. (2008).** Assessment of seawater pollution by heavy metals in the neighbourhood of Algiers : use of the sea urchin, *Paracentrotus lividus*, as a bioindicator. *ICES Journal of Marine Science*, 65 :p.p. 132-139.

## Les sites consultés

<https://prototool.com/fr/manufacturing-process/>

<https://books.googleusercontent.com/books/content>

<https://www.suezwaterhandbook.fr>

<http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dossiers/d/developpement-durable-vegetal-alternative-petrole-1513/>

<https://www.connaissancedesenergies.org/node/70>.

<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/environnement-ressources/monitoring-analyse/indicateurs-agro-environnementaux/Bilan-metaux-lourds.html>

<https://www.olympus-ims.com/fr/insight/heavy-metals-in-wastewater-locating-pollution-sources-using-portable-xrf/>

<https://www.aps.dz/regions/144641-oued-el-harrach-necessite-d-accelerer-les-projets-de-pretraitement-des-eaux-industrielles-rejetees>



# **Annexes**

**Annexes A : Scores d'impact des eaux des Oueds El Harrach, El Samar et Baba Ali**

Score/Zone		Oued El Harrach			Oued El Samar			Oued Baba Ali		
		Jc-1	Jc-2	Jc-3	Jc-4	Jc-5	Jc-6	Jc-7	Jc-8	Jc-9
<b>Pb</b>	Toxicité humaine	1,81E+01	3,57E+01	2,94E+01	2,59E+01	2,79E+01	2,94E+01	1,81E+01	4,36E+01	3,92E+01
	Ecotoxicité marine	6,42E+01	1,27E+02	1,04E+02	9,19E+01	9,88E+01	1,04E+02	6,42E+01	1,54E+02	1,39E+02
	Ecotoxicité des Sédiments marins	1,99E+06	3,93E+06	3,23E+06	2,85E+06	3,07E+06	3,23E+06	1,99E+06	4,79E+06	4,30E+06
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	5,69E+06	1,12E+07	9,23E+06	8,15E+06	8,77E+06	9,23E+06	5,69E+06	1,37E+07	1,23E+07
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	4,14E+01	8,18E+01	6,72E+01	5,94E+01	6,38E+01	6,72E+01	4,14E+01	9,97E+01	8,96E+01
<b>Cd</b>	Toxicité humaine	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01	6,36E+01
	Ecotoxicité marine	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06	1,13E+06
	Ecotoxicité des Sédiments marins	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02	1,18E+02
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09	1,44E+09
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02	7,16E+02
<b>Cr</b>	Toxicité humaine	1,40E+01	1,40E+01	1,40E+01	1,40E+01	1,40E+01	1,40E+01	1,40E+01	3,49E+01	3,77E+01
	Ecotoxicité marine	2,81E+04	2,81E+04	2,81E+04	2,81E+04	2,81E+04	2,81E+04	2,81E+04	8,38E+04	3,77E+01
	Ecotoxicité des Sédiments marins	3,44E+04	3,44E+04	3,44E+04	3,44E+04	3,44E+04	3,44E+04	3,44E+04	8,61E+04	9,30E+04
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	2,82E+01	2,82E+01	2,82E+01	2,82E+01	2,82E+01	2,82E+01	2,82E+01	7,05E+01	7,61E+01
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	1,10E+04	1,10E+04	1,10E+04	1,10E+04	1,10E+04	1,10E+04	1,10E+04	2,74E+04	2,96E+04
<b>Ni</b>	Toxicité humaine	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03	3,05E+03
	Ecotoxicité marine	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07	2,35E+07
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07	2,34E+07
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04	1,32E+04
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03	6,90E+03
<b>Zn</b>	Toxicité humaine	9,14E+00	1,96E+00	8,49E+00	1,04E+01	1,96E+00	1,96E+00	1,24E+03	7,83E+01	3,79E+01
	Ecotoxicité marine	3,20E+05	6,85E+04	2,97E+05	3,66E+05	6,85E+04	6,85E+04	4,34E+07	2,74E+06	1,33E+06
	Ecotoxicité des Sédiments marins	3,26E+05	6,98E+04	3,02E+05	3,72E+05	6,98E+04	6,98E+04	4,42E+07	2,79E+06	1,35E+06
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	5,03E-21	1,08E-21	4,67E-21	5,74E-21	1,08E-21	1,08E-21	6,82E-19	4,31E-20	2,08E-20
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	1,36E+02	2,92E+01	1,27E+02	1,56E+02	2,92E+01	2,92E+01	1,85E+04	1,17E+03	5,64E+02
<b>Hg</b>	Toxicité humaine	1,67E+02	4,01E+02	3,04E+02	1,67E+02	1,20E+03	1,92E+02	1,67E+02	2,01E+02	1,92E+02

	Ecotoxicité marine	3,84E+04	9,20E+04	6,98E+04	3,84E+04	2,76E+05	4,41E+04	3,84E+04	4,60E+04	4,41E+04
	Ecotoxicité des Sédiments marins	3,92E+04	9,40E+04	7,13E+04	3,92E+04	2,82E+05	4,50E+04	3,92E+04	4,70E+04	4,50E+04
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	3,51E+01	8,42E+01	6,39E+01	3,51E+01	2,53E+02	4,04E+01	3,51E+01	4,21E+01	4,04E+01
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	1,14E+02	2,74E+02	2,08E+02	1,14E+02	8,23E+02	1,31E+02	1,14E+02	1,37E+02	1,31E+02
<b>Cu</b>	Toxicité humaine	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	2,89E+01	1,21E+01
	Ecotoxicité marine	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	7,25E+06	3,02E+06
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	7,15E+06	2,98E+06
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	5,68E+03	2,37E+03
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	7,05E+01	2,94E+01
<b>Mn</b>	Toxicité humaine	1,41E+02	1,62E+01	8,11E+01	1,62E+01	2,00E+02	2,05E+02	2,00E+02	8,11E+01	1,46E+02
	Ecotoxicité marine	1,20E+02	1,38E+01	6,92E+01	1,38E+01	1,71E+02	1,75E+02	1,71E+02	6,92E+01	1,24E+02
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,29E+02	2,64E+01	1,32E+02	2,64E+01	3,26E+02	3,35E+02	3,26E+02	1,32E+02	2,38E+02
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	1,82E+02	2,11E+01	1,05E+02	2,11E+01	2,60E+02	2,67E+02	2,60E+02	1,05E+02	1,89E+02
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	3,29E+01	3,79E+00	1,90E+01	3,79E+00	4,68E+01	4,81E+01	4,68E+01	1,90E+01	3,41E+01
<b>Fe</b>	Toxicité humaine	3,78E+02	1,43E+01	8,35E+01	4,57E+02	3,57E+01	1,43E+01	5,52E+02	1,64E+03	4,43E+02
	Ecotoxicité marine	4,52E+03	1,71E+02	9,98E+02	5,46E+03	4,26E+02	1,71E+02	6,59E+03	1,96E+04	5,29E+03
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,49E+02	9,38E+00	5,49E+01	3,00E+02	2,35E+01	9,38E+00	3,63E+02	1,08E+03	2,91E+02
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	9,84E+03	3,71E+02	2,17E+03	1,19E+04	9,28E+02	3,71E+02	1,43E+04	4,27E+04	1,15E+04
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	2,27E+03	8,57E+01	5,01E+02	2,74E+03	2,14E+02	8,57E+01	3,31E+03	9,85E+03	2,66E+03
<b>Zn</b>	Toxicité humaine	9,14E+00	1,96E+00	8,49E+00	1,04E+01	1,96E+00	1,96E+00	1,24E+03	7,83E+01	3,79E+01
	Ecotoxicité marine	3,20E+05	6,85E+04	2,97E+05	3,66E+05	6,85E+04	6,85E+04	4,34E+07	2,74E+06	1,33E+06
	Ecotoxicité des Sédiments marins	3,26E+05	6,98E+04	3,02E+05	3,72E+05	6,98E+04	6,98E+04	4,42E+07	2,79E+06	1,35E+06
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	5,03E-21	1,08E-21	4,67E-21	5,74E-21	1,08E-21	1,08E-21	6,82E-19	4,31E-20	2,08E-20
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	1,36E+02	2,92E+01	1,27E+02	1,56E+02	2,92E+01	2,92E+01	1,85E+04	1,17E+03	5,64E+02
<b>Hg</b>	Toxicité humaine	1,67E+02	4,01E+02	3,04E+02	1,67E+02	1,20E+03	1,92E+02	1,67E+02	2,01E+02	1,92E+02
	Ecotoxicité marine	3,84E+04	9,20E+04	6,98E+04	3,84E+04	2,76E+05	4,41E+04	3,84E+04	4,60E+04	4,41E+04
	Ecotoxicité des Sédiments marins	3,92E+04	9,40E+04	7,13E+04	3,92E+04	2,82E+05	4,50E+04	3,92E+04	4,70E+04	4,50E+04
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	3,51E+01	8,42E+01	6,39E+01	3,51E+01	2,53E+02	4,04E+01	3,51E+01	4,21E+01	4,04E+01

	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	1,14E+02	2,74E+02	2,08E+02	1,14E+02	8,23E+02	1,31E+02	1,14E+02	1,37E+02	1,31E+02
<b>Cu</b>	Toxicité humaine	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	1,21E+01	2,89E+01	1,21E+01
	Ecotoxicité marine	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	3,02E+06	7,25E+06	3,02E+06
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	2,98E+06	7,15E+06	2,98E+06
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	2,37E+03	5,68E+03	2,37E+03
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	2,94E+01	7,05E+01	2,94E+01
<b>Mn</b>	Toxicité humaine	1,41E+02	1,62E+01	8,11E+01	1,62E+01	2,00E+02	2,05E+02	2,00E+02	8,11E+01	1,46E+02
	Ecotoxicité marine	1,20E+02	1,38E+01	6,92E+01	1,38E+01	1,71E+02	1,75E+02	1,71E+02	6,92E+01	1,24E+02
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,29E+02	2,64E+01	1,32E+02	2,64E+01	3,26E+02	3,35E+02	3,26E+02	1,32E+02	2,38E+02
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	1,82E+02	2,11E+01	1,05E+02	2,11E+01	2,60E+02	2,67E+02	2,60E+02	1,05E+02	1,89E+02
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	3,29E+01	3,79E+00	1,90E+01	3,79E+00	4,68E+01	4,81E+01	4,68E+01	1,90E+01	3,41E+01
<b>Fe</b>	Toxicité humaine	3,78E+02	1,43E+01	8,35E+01	4,57E+02	3,57E+01	1,43E+01	5,52E+02	1,64E+03	4,43E+02
	Ecotoxicité marine	4,52E+03	1,71E+02	9,98E+02	5,46E+03	4,26E+02	1,71E+02	6,59E+03	1,96E+04	5,29E+03
	Ecotoxicité des Sédiments marins	2,49E+02	9,38E+00	5,49E+01	3,00E+02	2,35E+01	9,38E+00	3,63E+02	1,08E+03	2,91E+02
	Ecotoxicité des Eaux de l'Oued	9,84E+03	3,71E+02	2,17E+03	1,19E+04	9,28E+02	3,71E+02	1,43E+04	4,27E+04	1,15E+04
	Ecotoxicité des sédiments de l'Oued	2,27E+03	8,57E+01	5,01E+02	2,74E+03	2,14E+02	8,57E+01	3,31E+03	9,85E+03	2,66E+03

**Annexe B : Les scores d'impact des effluents d'industries de la zone industrielle d'El Harrach**

ScoreS/Industrie/ZI		Effluents/industries		
		IH1	IH2	IH3
<b>Pb</b>	Masse (kg)	1,35E+01	1,60E+00	2,40E+01
	Toxicité humaine	3,24E+01	3,84E+00	5,76E+01
	Ecotoxicité aquatique	3,56E+06	3,79E+05	5,68E+06
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	3,56E+06	3,79E+05	5,68E+06
<b>Cr</b>	Masse (kg)	4,05E+00	8,00E-01	2,40E+01
	Toxicité humaine	6,76E+01	1,34E+01	4,01E+02
	Ecotoxicité aquatique	1,22E+03	2,40E+02	7,20E+03
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	2,62E+03	5,18E+02	1,55E+04
<b>Cd</b>	Masse (kg)	2,70E-01	8,00E-02	6,00E+00
	Toxicité humaine	2,81E+01	8,32E+00	6,24E+02
	Ecotoxicité aquatique	3,05E-01	9,04E-02	6,78E+00
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	2,10E+02	6,21E+01	4,66E+03

<b>Zn</b>	Masse (kg)	4,05E+01	8,00E-02	6,60E+01
	Toxicité humaine	1,30E+02	2,56E-01	2,11E+02
	Ecotoxicité aquatique	4,54E+05	8,96E+02	7,39E+05
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	2,92E+05	5,77E+02	4,76E+05

<b>Hg</b>	Masse (kg)	1,35E-02	6,69E+01	1,20E-01
	Toxicité humaine	1,11E+02	5,48E+05	9,84E+02
	Ecotoxicité aquatique	2,32E+01	1,15E+05	2,06E+02
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	7,56E+01	3,75E+05	6,72E+02
<b>Ni</b>	Masse (kg)	4,05E+00	4,00E-01	1,92E+01
	Toxicité humaine	3,03E+05	2,99E+04	1,43E+06
	Ecotoxicité aquatique	1,31E+04	1,30E+03	6,22E+04
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	9,68E+02	9,56E+01	4,59E+03
<b>Co</b>	Masse (kg)	6,75E-01	4,00E-01	2,40E+00
	Toxicité humaine	1,61E+03	9,56E+02	5,74E+03
	Ecotoxicité aquatique	2,30E+03	1,36E+03	8,18E+03
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	1,51E+02	8,92E+01	5,35E+02
<b>Mn</b>	Masse (kg)	1,08E+01	8,00E-01	1,44E+01
	Toxicité humaine	2,86E+02	2,12E+01	3,82E+02
	Ecotoxicité aquatique	3,72E+02	2,75E+01	4,95E+02
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	6,70E+01	4,96E+00	8,93E+01
<b>Cu</b>	Masse (kg)	5,40E+00	8,00E-01	1,92E+01
	Toxicité humaine	3,19E+01	4,73E+00	1,13E+02
	Ecotoxicité aquatique	6,26E+03	9,28E+02	2,23E+04
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	7,78E+01	1,15E+01	2,76E+02

Scores/Industrie/ZI		Effluents/ZI			Effluents/ZI		
		Oued Smar			Djesser Kassentina		
		IOS1	IOS2	IOS3	IDK1	IDK2	IDK3
<b>Pb</b>	Masse (kg)	2,E+03	1,E+07	2,E+03	3,E+00	8,E+02	7,E+03
	Toxicité humaine	4,E+03	3,E+07	5,E+03	8,E+00	2,E+03	2,E+04
	Ecotoxicité aquatique	4,E+08	3,E+12	5,E+08	8,E+05	2,E+08	2,E+09
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	4,E+08	3,E+12	5,E+08	8,E+05	2,E+08	2,E+09
<b>Cr</b>	Masse (kg)	9,E+02	3,E+04	/	2,E+00	0,E+00	9,E+02
	Toxicité humaine	1,E+04	5,E+05	/	3,E+01	0,E+00	1,E+04
	Ecotoxicité aquatique	3,E+05	8,E+06	0,E+00	5,E+02	0,E+00	3,E+05
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	6,E+05	1,E+10	/	1,E+03	0,E+00	6,E+05
<b>Cd</b>	Masse (kg)	0,E+00	1,E+03	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00
	Toxicité humaine	0,E+00	1,E+05	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00
	Ecotoxicité aquatique	0,E+00	2,E+03	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	0,E+00	1,E+06	0,E+00	0,E+00	0,E+00	0,E+00
<b>Zn</b>	Masse (kg)	2,E+03	3,E+04	0,E+00	1,E+01	1,E+03	4,E+03
	Toxicité humaine	5,E+03	1,E+05	0,E+00	3,E+01	4,E+03	1,E+04
	Ecotoxicité aquatique	2,E+07	3,E+08	0,E+00	1,E+05	1,E+07	5,E+07
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	1,E+07	2,E+08	0,E+00	8,E+04	8,E+06	3,E+07
	Masse (kg)	5,E+01	5,E-01	2,E-02	2,E+00	7,E-03	6,E-02

<b>Hg</b>	Toxicité humaine	4,E+05	4,E+03	1,E+02	1,E-01	5,E+01	5,E+02
	Ecotoxicité aquatique	9,E+04	8,E+02	3,E+01	3,E-03	1,E+01	1,E+02
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	3,E+05	3,E+03	1,E+02	1,E-02	4,E+01	3,E+02
<b>Ni</b>	Masse (kg)	9,E+01	9,E+02	4,E+02	3,E+00	9,E+01	2,E+02
	Toxicité humaine	7,E+06	7,E+07	3,E+07	2,E+05	7,E+06	2,E+07
	Ecotoxicité aquatique	3,E+05	3,E+06	1,E+06	9,E+03	3,E+05	7,E+05
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	2,E+04	2,E+05	9,E+04	6,E+02	2,E+04	5,E+04
<b>Co</b>	Masse (kg)	0,E+00	9,E+03	0,E+00			
	Toxicité humaine	0,E+00	2,E+07	0,E+00			
	Ecotoxicité aquatique	0,E+00	3,E+07	0,E+00			
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	0,E+00	2,E+06	0,E+00			
<b>Mn</b>	Masse (kg)	0,E+00	5,E+03	0,E+00			
	Toxicité humaine	0,E+00	3,E+04	0,E+00			
	Ecotoxicité aquatique	0,E+00	5,E+06	0,E+00			
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	0,E+00	7,E+04	0,E+00			
<b>Cu</b>	Masse (kg)	0,E+00	9,E+03	0,E+00			
	Toxicité humaine	0,E+00	2,E+05	0,E+00			
	Ecotoxicité aquatique	0,E+00	3,E+05	0,E+00			
	Ecotoxicité des sédiments de l'oued	0,E+00	6,E+04	0,E+00			

## Annexes C : Scores d'impact des sédiments des Oueds El Harrach, El Samar et Baba Ali

		Oued El Harrach							Oued Baba Ali				Oued Smar				
		J/C-1	J/C-2	J/C-3	IM1	IM2	IM3	HR1	Jc-4	Jc-5	Jc-6	HR3	Jc-7	Jc-8	Jc-9	HR2	IM4
<b>Pb</b>	Masse (Kg)	3,5E+00	4,1E+00	1,7E+00	1,0E+00	6,4E-01	6,0E-01	7,6E-01	4,1E+00	2,7E+00	3,5E+00	1,4E-01	1,7E+00	2,8E+00	1,7E+00	6,8E-01	6,0E-01
	TEP sedimen	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00	5,5E+00
	Score d'Ecoto	1,9E+01	2,2E+01	9,3E+00	5,7E+00	3,5E+00	3,3E+00	4,2E+00	2,2E+01	1,5E+01	1,9E+01	7,5E-01	9,3E+00	1,5E+01	9,3E+00	3,7E+00	3,3E+00
<b>Cd</b>	Masse (Kg)	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	2,7E-02	3,3E-02	3,3E-02	6,7E-03	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	5,7E-04	1,2E-01	1,2E-01	1,2E-01	3,1E-03	3,3E-02
	TEP sedimen	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02	6,3E+02
	Score d'Ecoto	7,8E+01	7,8E+01	7,8E+01	1,7E+01	2,1E+01	2,1E+01	4,3E+00	7,8E+01	7,8E+01	7,8E+01	3,6E-01	7,8E+01	7,8E+01	7,8E+01	1,9E+00	2,1E+01
<b>Cr</b>	Masse (Kg)	1,2E+00	1,3E+01	3,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,2E+02	1,3E+01	1,6E+00	3,9E+00	0,0E+00	3,4E+00	1,6E+01	1,5E+00	0,0E+00	0,0E+00
	TEP sedimen	2,7E+03	2,7E+03	2,7E+03	2,7E+03	2,7E+03	2,7E+03	2,1E+01	2,7E+03	2,7E+03	2,7E+03	0,0E+00	2,7E+03	2,7E+03	2,7E+03	0,0E+00	0,0E+00
	Score d'Ecoto	3,1E+03	3,5E+04	9,2E+03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	8,8E+03	3,5E+04	4,2E+03	1,0E+04	0,0E+00	9,2E+03	4,2E+04	4,0E+03	0,0E+00	0,0E+00
<b>Ni</b>	Masse (Kg)	8,2E-01	8,2E-01	8,2E-01	4,9E-01	3,4E-01	4,2E-01	0,0E+00	8,2E-01	8,2E-01	8,2E-01	0,0E+00	8,2E-01	1,0E+00	8,2E-01	0,0E+00	4,2E-01
	TEP sedimen	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	0,0E+00	1,7E+03	1,7E+03	1,7E+03	0,0E+00	1,7E+03
	Score d'Ecoto	1,4E+03	1,4E+03	1,4E+03	8,3E+02	5,8E+02	7,2E+02	0,0E+00	1,4E+03	1,4E+03	1,4E+03	0,0E+00	1,4E+03	1,7E+03	1,4E+03	0,0E+00	7,2E+02
<b>Zn</b>	Masse (Kg)	4,7E+00	2,7E+01	4,4E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,2E+00	2,7E+01	7,8E+00	2,2E+01	5,0E-01	4,4E+00	8,3E+00	5,2E+00	3,4E+00	0,0E+00
	TEP sedimen	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	4,8E+01	0,0E+00
	Score d'Ecoto	2,2E+02	1,3E+03	2,1E+02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+02	1,3E+03	3,7E+02	1,1E+03	2,4E+01	2,1E+02	4,0E+02	2,5E+02	1,6E+02	0,0E+00
<b>Cu</b>	Masse (Kg)	9,0E-01	3,1E+00	9,4E-01	1,9E-01	2,1E-01	2,2E-01	1,0E+00	3,1E+00	1,8E+00	2,2E+00	5,6E-01	9,4E-01	1,4E+00	6,9E-01	1,4E+00	0,0E+00
	TEP sedimen	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	1,4E+01	0,0E+00
	Score d'Ecoto	1,3E+01	4,4E+01	1,4E+01	2,7E+00	3,1E+00	3,2E+00	1,4E+01	4,4E+01	2,6E+01	3,2E+01	8,1E+00	1,4E+01	2,0E+01	1,0E+01	2,0E+01	0,0E+00
<b>Mn</b>	Masse (Kg)	8,2E+00	5,5E+00	5,8E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,5E+00	3,5E+00	5,7E+00	0,0E+00	5,8E+00	1,0E+01	4,8E+00	0,0E+00	0,0E+00
	TEP sedimen	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	0,0E+00	6,2E+00	6,2E+00	6,2E+00	0,0E+00	0,0E+00
	Score d'Ecoto	5,1E+01	3,4E+01	3,6E+01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,4E+01	2,2E+01	3,5E+01	0,0E+00	3,6E+01	6,2E+01	3,0E+01	0,0E+00	0,0E+00
<b>Fe</b>	Masse (Kg)	6,3E+02	5,9E+02	6,7E+02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,9E+02	2,9E+02	3,3E+02	1,5E+02	6,7E+02	7,8E+02	3,3E+02	3,0E+02	0,0E+00
	TEP sedimen	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	2,1E+01	0,0E+00
	Score d'Ecoto	1,3E+04	1,2E+04	1,4E+04	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,2E+04	6,0E+03	6,9E+03	3,2E+03	1,4E+04	1,6E+04	6,9E+03	6,3E+03	0,0E+00
<b>Hg</b>	Masse (Kg)	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,1E-04	4,1E-04	4,1E-04	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,1E-04
	TEP sedimen	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	0,0E+00	5,6E+03	5,6E+03	5,6E+03	0,0E+00	5,6E+03
	Score d'Ecoto	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,3E+00	2,3E+00	2,3E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,3E+00

## Annexes D :

Paramètres d'exposition métallique et coefficients de danger pour l'adulte et l'enfant

Éléments traces	C (mg/kg)	Q (kg/j)	P (kg)		DJE (mg/kg/j)		DJA (mg/kg/j)	QD	
			Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
As	10,46	0,025	60	20	0.004358	0.013075	$3 \times 10^{-4}$	14.53	43.58
Pb	74,77				0.031154	0.093463	$2 \times 10^{-3}$	15.58	46.73
Ni	0,88				0.000367	0.001100	0,013	0.03	0.08
Cu	53,85				0.022438	0.067313	0,07	0.32	0.96
Zn	598,81				0.249504	0.748513	5	0.05	0.15
Hg	2,73				0.001138	0.003413	$3 \times 10^{-4}$	3.79	11.38
Mn	31,11				0.012963	0.038888	3,1	0.004	0.013
Cr	8,37				0.003487	0.010462	0,25	0.014	0.042
Cd	1,26				0.000525	0.001575	$1 \times 10^{-3}$	0.53	1.58
Co	0,37				0.000154	0.000462	$1,6 \times 10^{-3}$	0.10	0.29
Fe	183				0.076250	0.228750	0,8	0.10	0.29

Résultats d'évaluation des risques (Adulte/Enfant)

Espèce	Métal	Scénario	DJE Adulte (mg/kg/j)	QD Adulte	DJE Enfant (mg/kg/j)	QD Enfant
Sardine	As	Minimal	0,000379	1,26	0,001138	3,79
		Maximal	0,001454	4,85	0,004363	14,54
		Moyen	0,000758	2,53	0,002275	7,58
Sardine	Cd	Minimal	0,000004	0,004	0,000013	0,013
		Maximal	0,0002	0,2	0,0006	0,6
		Moyen	0,000104	0,104	0,000313	0,313
Sardine	Pb	Minimal	0,000213	0,106	0,000638	0,319
		Maximal	0,001171	0,586	0,003513	1,756
		Moyen	0,000692	0,346	0,002075	1,038
Sardine	Hg	Minimal	0,000013	0,043	0,000038	0,127
		Maximal	0,000079	0,263	0,000238	0,793
		Moyen	0,000033	0,11	0,0001	0,333
Espadon	As	Minimal	0,0002	0,667	0,0006	2
		Maximal	0,002738	9,127	0,008213	27,377

		Moyen	0,000458	1,527	0,001375	4,583
<b>Espadon</b>	<b>Cd</b>	Minimal	0,000004	0,004	0,000013	0,013
		Maximal	0,000238	0,238	0,000713	0,713
		Moyen	0,000121	0,121	0,000363	0,363
<b>Espadon</b>	<b>Pb</b>	Minimal	0,000213	0,106	0,000638	0,319
		Maximal	0,001625	0,813	0,004875	2,438
		Moyen	0,000921	0,46	0,002763	1,381
<b>Espadon</b>	<b>Hg</b>	Minimal	0,000117	0,39	0,00035	1,167
		Maximal	0,001708	5,693	0,005125	17,083
		Moyen	0,000492	1,64	0,001475	4,917



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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

Etude technico-économique en vue de l'obtention  
du diplôme Start-up

## Projet:

**Application SIG pour l'Évaluation et la Visualisation des  
Risques Toxiques Environnementaux**

Présenté par :

**Guessab Haithem**

**Boulahouadjeb Rayan**

Encadre par :

**Pr, Ghazi Malika**

Soutenue le 3/07/2023, devant le jury composé de :

<sup>1</sup>Année universitaire : 2023/2024

# Table de matière :

Table de matière :	78
Introduction :	80
Le premier axe : Présentation du projet	81
1.L'idée de projet :	81
2.Les valeurs proposées :	81
3.Equipe de travail :	82
4.Objectifs du projet :	82
5.Calendrier de réalisation de projet :	82
Deuxième axe: Aspects innovants	84
1.Aspects innovants	84
2.Domaines d'innovation :	84
Troisième axe : Analyse stratégique du marché	85
1.Le segment du marché :	85
2.Mesure de l'intensité de concurrence :	85
3.La stratégie marketing :	86
Quatrième axe : Plan de production et organisation	87
1.Le processus de production :	87
2.L'approvisionnement:	89
3.La main d'œuvre :	89
4.Les principaux partenaires :	90
Cinquième axe : Plan financier	91
1.Les couts et charges :	91
2.Le chiffre d'affaires :	93
3.Les comptes de résultats escomptés :	95
4.Le plan de trésorerie :	97
Sixième axe : Prototype experimental:	99
BUSINESS MODEL CANVA	1
Conclusion :	2

---

## Carte d'information

### 1. Equipe d'encadrement :

<b>MCA , GHAZI Malika</b>	

### 2. Equipe de projet :

<b>Étudiant</b>	<b>Faculté</b>	<b>Spécialité</b>
<b>Guessab Haithem</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Gestion et Protection du Littoral</b>
<b>Belhouadjeb Rayan</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Gestion et Protection du Littoral</b>
<b>Bounoua Zaki Brahim</b>	<b>Université Oran</b>	<b>Math et informatique</b>

## **Introduction :**

Dans le cadre de l'obtention de notre diplôme en gestion et protection du littoral, nous avons entrepris une étude technico-économique visant à développer une application innovante qui répondra aux besoins cruciaux de surveillance environnementale. Cette initiative s'inscrit dans une perspective de protection et de gestion durable des zones littorales, en utilisant des outils technologiques avancés pour aborder les défis posés par la pollution industrielle et la contamination des oueds.

Notre idée repose sur la création d'une application intégrant un Système d'Information Géographique (SIG) couplé à une base de données environnementales. Cette application permettra de collecter, analyser et visualiser des données précises sur les concentrations de métaux lourds, de polluants chimiques et d'autres substances toxiques. Ces contaminants proviennent principalement des activités industrielles et des infiltrations dans les oueds, représentant un danger significatif pour la santé humaine et l'écosystème marin.

Grâce à des algorithmes dédiés, l'application calculera des scores quantitatifs d'impact sur la toxicité humaine et l'écotoxicité marine. Ces scores permettront d'évaluer les risques sanitaires et les dommages écologiques, fournissant ainsi une représentation claire et objective des zones les plus à risque. Les résultats seront présentés sous forme de cartes et de rapports géolocalisés, facilitant l'identification des zones nécessitant une intervention urgente des autorités compétentes.

En combinant la collecte de données sur le terrain, des analyses toxicologiques avancées et des représentations cartographiques claires, cette application SIG de pointe offrira un suivi continu et une évaluation précise des menaces toxiques dans chaque région. Ce projet vise non seulement à améliorer la gestion environnementale mais également à promouvoir des actions préventives et correctives, renforçant ainsi la résilience des écosystèmes littoraux face à la pollution.

## **Le premier axe : Présentation du projet**

### **1.L'idée de projet :**

Au cours de nos travaux, nous avons pris conscience d'un enjeu majeur pour la santé publique et l'environnement : la nécessité d'identifier avec précision les zones géographiques présentant des niveaux élevés de toxicité dus aux pollutions industrielles et aux rejets dans les cours d'eau. Une cartographie détaillée de ces "points chauds" toxiques est indispensable pour pouvoir agir efficacement en prévention et réduction des risques.

Notre idée est donc de développer une application innovante couplant un Système d'Information Géographique (SIG) à une base de données environnementales. Cette application permettra de collecter, analyser et visualiser des données précises sur les concentrations de métaux lourds, polluants chimiques et autres substances toxiques provenant des activités industrielles et de la contamination des oueds. Grâce à des algorithmes dédiés, l'application calculera des scores quantitatifs d'impact sur la toxicité humaine (risques sanitaires) et l'écotoxicité marine (dommages écosystémiques). Ces résultats seront restitués sous forme de cartes et rapports géolocalisés, mettant en évidence les zones les plus à risque nécessitant une intervention urgente des autorités compétentes. Cette application SIG de pointe combinera donc collecte de données terrain, analyses toxicologiques avancées et représentations cartographiques claires pour permettre un suivi continu et une évaluation objective des menaces toxiques dans chaque région.

Au-delà de l'outil technologique, cette application vise à contribuer activement à la préservation de la santé et de l'environnement en identifiant rapidement les principaux foyers de pollution toxique afin de prendre les mesures

### **2.Les valeurs proposées :**

On a listé les principales valeurs à mettre en avant auprès des clients, cibles que sont les collectivités, services de l'État et bureaux d'études en environnement/aménagement :

- **Précision et fiabilité des données :** Utilisation des technologies les plus avancées pour collecter et analyser avec exactitude les concentrations de polluants toxiques sur le terrain.
- **Vision cartographique claire et exploitable :** Représentation visuelle géolocalisée des zones à risque facilitant la compréhension de la situation et la prise de décision.
- **Approche scientifique rigoureuse :** Calculs d'impacts toxicologiques basés sur des algorithmes validés par des experts toxicologues et environnementalistes.
- **Suivi en temps réel :** Mise à jour continue des données permettant de surveiller l'évolution temporelle de la pollution.
- **Personnalisation des besoins :** Possibilité de filtrer, croiser et prioriser les informations selon les préoccupations spécifiques de chaque client.
- **Sensibilisation à la préservation de l'environnement :** Contribution à identifier et réduire les foyers de pollution représentant un danger pour les écosystèmes.
- **Protection de la santé publique :** Détection précoce des zones à risque toxique élevé pour la population, permettant des actions préventives rapides.

- **Aide à la décision avisée des autorités** : Données objectives et exploitables pour la planification stratégique et le contrôle réglementaire.
- **Responsabilité sociale et environnementale** : Engagement envers un développement industriel plus respectueux de la santé humaine et des milieux naturels.

### **3. Equipe de travail :**

#### **Encadreur :**

- **MCA : Ghazi Malika** (Sciences de la mers. Géochimiste)

#### **Equipe :**

- Ingénieur 01 : **Guessab ahmed** (Sciences de la mers. S I G)
- Ingénieur 02 : **Belhouadjeb rayan** (Sciences de la mers. S I G)
- Ingénieur 03 : **terme Bounoua Zaki Brahim** ( Informaticien )

### **4. Objectifs du projet :**

#### **✓ Objectifs à court (1-2 ans) :**

- Développer et valider technologiquement l'application SIG et ses algorithmes de calcul de toxicité
- Constituer une base de données initiale avec les données industrielles et environnementales clés
- Réaliser des pilotes opérationnels sur quelques zones tests représentatives
- Acquérir une première clientèle d'utilisateurs de référence (autorités environnementales, industriels)
- Atteindre un niveau de revenus permettant l'autofinancement du proje

### **5. Calendrier de réalisation de projet :**

- ❖ **Etudes préalables (4 mois) :**
  - Analyser les besoins utilisateurs et sources de données
  - Concevoir l'application SIG et les modèles de calcul de toxicité
- ❖ **Développement de la solution (8 mois) :**
  - Développer les interfaces utilisateur
  - Implémenter le noyau SIG
  - Développer les algorithmes de calcul des scores de toxicité
  - Intégrer un jeu de données de test
- ❖ **Projet pilote (6 mois) :**
  - Sélectionner des zones tests représentatives
  - Collecter et intégrer des données réelles de terrain
  - Déployer l'application en pilote et réaliser les tests utilisateurs
- ❖ **Lancement commercial (6 mois) :**
  - Campagnes marketing et prospection commerciale

- Préparer le support client et la maintenance
- Mise en production industrielle de l'application
- Déployer chez les premiers clients payants

❖ **Enrichissement continu (12 mois) :**

- Intégrer de nouvelles sources de données
- Améliorer et affiner les modèles de calcul de toxicité
- Développer de nouvelles fonctionnalités
- Etendre la couverture géographique
- Optimisations techniques\*

		4 mois	12 mois	18 mois	24 mois	36 mois
1	Études préalables	✗				
2	Développement de la solution		✗			
3	Projet pilote			✗		
4	Lancement commercial				✗	
5	Enrichissement continu					✗
6	Réalisation de prototype					

## **Deuxième axe: Aspects innovants**

### **1.Aspects innovants :**

Le projet vise à développer une application innovante utilisant un Système d'Information Géographique (SIG) pour identifier les zones les plus toxiques pour la santé humaine. Les données sont collectées par échantillonnage dans l'environnement et dans les effluents des industries, mesurant les concentrations de métaux lourds.

Le SIG permet de créer des cartes dynamiques et d'analyser spatialement les données pour identifier les sources de pollution. Des algorithmes calculent les scores de toxicité humaine et d'écotoxicité marine, permettant d'évaluer l'impact sur la santé et l'environnement.

Accessible via des applications mobile et web, le système envoie des alertes aux populations locales et aux autorités en cas de dépassement des seuils de sécurité. Le processus comprend la collecte des données, leur intégration dans une base SIG, l'analyse et la cartographie, le calcul des scores d'impact, le développement de l'application, la mise en œuvre et la surveillance, ainsi que la communication et la sensibilisation des communautés.

Cette approche innovante améliore la détection et la gestion des zones toxiques, contribuant à la protection de la santé publique et de l'environnement.

### **2.Domaines d'innovation :**

Les domaines d'innovation pour ce projet sont les suivants :

- **Systèmes d'Information Géographique (SIG) :** Utilisation avancée du SIG pour la cartographie dynamique des concentrations de métaux lourds et l'analyse spatiale des zones de pollution.
- **Collecte de Données Environnementales :** Échantillonnage systématique des sols, des eaux et des effluents industriels pour obtenir des données précises sur les concentrations de métaux lourds.
- **Analyse de Données :** Développement d'algorithmes pour calculer les scores de toxicité humaine et d'écotoxicité marine à partir des données collectées.
- **Accessibilité et Utilisabilité :** Développement d'applications mobile et web pour permettre aux utilisateurs de visualiser les données et les cartes interactives facilement.
- **Alerte et Communication :** Système d'alerte pour informer les populations locales et les autorités en cas de dépassement des seuils de sécurité.
- **Surveillance Environnementale :** Mise en place d'un réseau de surveillance continue pour suivre les niveaux de pollution et mettre à jour les données en temps réel.

## Troisième axe : Analyse stratégique du marché

### 1. Le segment du marché :

Le marché potentiel pour cette application SIG de détection des zones à risque toxique est composé d'acteurs impliqués dans la compréhension, le suivi et la gestion des risques environnementaux. Ils sont intéressés par une solution permettant un déploiement initial rapide, puis une mise à jour régulière des données. On peut le segmenter ainsi :

#### ✓ **Marchés cibles prioritaires (6 à 12 premiers mois) :**

- **Autorités environnementales régionales et nationales :** Offre initiale de lancement pour surveiller et réguler la pollution.
- **Bureaux d'études spécialisés en environnement et risques industriels :** Utilisation pour des études et projets de recherche sur la pollution.

#### ✓ **Second segment de marché (12 à 24 mois) :**

- **Services environnement des grandes collectivités :** Gestion de l'environnement urbain et mise en œuvre de politiques locales de réduction de la pollution.
- **Industriels à forts enjeux de risques toxiques :** Surveillance des effluents et conformité réglementaire pour les industries extractives, manufacturières et pétrochimiques.

#### ✓ **Segment de marché de diversification (au-delà de 24 mois) :**

- **Organismes académiques et scientifiques :** Développement de modules spécifiques pour la recherche et l'enseignement en sciences environnementales.
- **Acteurs publics de l'environnement :** Répondre à des besoins élargis pour la protection de l'environnement et de la santé publique.

La stratégie marketing initiale vise à déployer rapidement une offre solide pour les autorités environnementales publiques et les acteurs privés experts. Ensuite, l'extension se focalisera sur la conquête des services municipaux et industriels. Enfin, une ouverture vers les organismes académiques permettra d'élargir encore le segment de marché. Cette segmentation permet une mise sur le marché progressive et optimisée des capacités de l'application.

### 2. Mesure de l'intensité de concurrence :

#### ✓ **Au niveau national (Algérie) :**

Sur le marché algérien de la cartographie et de l'analyse des risques toxiques environnementaux, il n'existe actuellement aucune solution logicielle dédiée similaire à notre application SIG. Les principaux acteurs sont :

- **Centre National des Techniques Spatiales (CNTS) :** Réalise un suivi du littoral par imagerie satellite sans calculs de toxicité spécifiques.
- **Bureaux d'études généralistes (ENHYD, Géo-Ingénierie) :** Incluent des analyses environnementales basiques dans leurs prestations.

Cependant, aucun de ces acteurs ne propose une solution complète et automatisée combinant acquisition de données terrain, modélisation algorithmique des impacts toxiques et restitutions cartographiques dédiées.

### **Intensité concurrentielle nationale : Quasi-nulle**

Notre application SIG représenterait donc une réelle innovation et entrerait sur un créneau de marché encore vierge en Algérie. Cela constitue une opportunité de se positionner en leader sur ce segment prometteur

#### **✓ Perspective internationale :**

À l'international, quelques rares sociétés comme **SoilTech** et **ToxMapper** opèrent sur ce créneau, mais avec une présence limitée et des solutions partielles. Aucun acteur majeur n'est réellement implanté mondialement avec une offre aboutie.

### **Intensité concurrentielle internationale : Faible**

Le marché international reste donc relativement ouvert pour le moment. Après avoir établi une position solide en Algérie, se positionner progressivement à l'export sera envisageable en se démarquant par une solution plus complète et performante.

Cette analyse révèle que l'intensité concurrentielle est très faible, à la fois sur le marché national algérien à court terme et à l'international à moyen/long terme. Ce contexte favorable offre une opportunité idéale pour le lancement et le développement de cette nouvelle application.

## **3.La stratégie marketing :**

### **✓ Stratégie produit :**

- **Différenciation par l'innovation** : Offrir une solution complète intégrant l'acquisition de données terrain, des calculs avancés de toxicité et des restitutions cartographiques automatisées.
- **Développement continue** : Améliorer constamment les fonctionnalités pour maintenir une avance technologique.
- **Personnalisation** : Proposer des modules optionnels pour répondre aux besoins spécifiques des clients.

### **✓ Stratégie prix :**

- **Modèle d'abonnement** : Proposer trois formules - entrée, expert et premium - avec des services associés.
- **Positionnement premium** : Fixer des prix légèrement élevés pour les autorités et bureaux d'études, en valorisant l'innovation.
- **Offres packagées** : Offrir des remises pour les comptes stratégiques industriels.

#### ✓ **Stratégie de distribution :**

- **Vente directe :** Utiliser une force commerciale spécialisée dans ce produit de niche.
- **Site web :** Mettre en place des démos, des tutoriels et un espace de téléchargement/abonnement en ligne.
- **Présence événementielle :** Participer à des salons et événements clés du secteur environnemental.

#### ✓ **Stratégie de communication :**

- **Marketing de contenu :** Produire des guides, des livres blancs et des webinaires éducatifs.
- **Sponsoring et publications :** Sponsoriser des événements et publier des articles de référence pour augmenter la visibilité.
- **Témoignages clients :** Utiliser des témoignages et des études de cas pour créer un effet d'entraînement.
- **Campagnes digitales :** Lancer des campagnes de marketing digital avec SEO/SEA pour générer des leads qualifiés.

Cette stratégie vise à promouvoir cette solution innovante en valorisant son positionnement technologique premium, tout en adaptant les approches commerciales et les options produits selon les différents segments clients ciblés.

### **Quatrième axe : Plan de production et organisation**

#### **1.Le processus de production :**

Le processus de production de cette application SIG de détection des zones toxiques se décompose en quatre étapes clés :

##### **L'approvisionnement en données :**

###### ❖ **Identification des fournisseurs de données :**

- Données industrielles (rejets, concentrations de polluants)
- Données environnementales (analyses des cours d'eau, échantillonnages terrain)
- Données géographiques et cartographiques de base

###### ❖ **Mise en place des outils de collecte :**

- Utilisation de drones et de capteurs pour l'acquisition de données terrain

###### ❖ **Collecte des données :**

- Collecte initiale et continue des données pour alimenter la base de données

## **2. Le traitement des données :**

### **❖ Préparation des données :**

- Nettoyage et mise en forme des données sources

### **❖ Intégration:**

- Intégration des données dans le système de gestion de base de données

### **❖ Calculs de toxicité :**

- Application des algorithmes pour calculer les scores de toxicité humaine et écotoxicité

### **❖ Consolidation :**

- Consolidation des résultats pour une restitution cartographique

## **3. La génération des livrables :**

### **❖ Exploitation du moteur cartographique SIG :**

- Génération automatique de cartes, vues 3D et reportings

### **❖ Intégration dans l'application :**

- Intégration des restitutions dans l'interface de l'application web

### **❖ Empaquetage des livrables :**

- Préparation des livrables selon les formats et options choisis par le client

## **4. La distribution des livrables**

### **❖ Mise à disposition en ligne :**

- Disponibilité des livrables sur l'espace client de la plateforme web

### **➤ Installations sur site :**

- Installation des restitutions dans l'environnement client si nécessaire

### **❖ Envoi sécurisé :**

- Envoi par voie électronique sécurisée pour les transferts volumineux

### **❖ Suivi des versions :**

- Maintien d'un historique de versions pour un suivi dans le temps

Ce processus structuré assure un flux continu de nouvelles données, des mises à jour régulières des calculs de toxicité, une production automatisée des livrables cartographiques et leur distribution sécurisée aux clients dans les formats souhaités

## **2.L’approvisionnement :**

Une stratégie d'approvisionnement en données rigoureuse et diversifiée est cruciale pour alimenter correctement l'application. Elle repose sur trois axes complémentaires :

### ➤ **Données industrielles :**

- **Partenariats industriels:** Établir des partenariats avec les grands groupes industriels algériens (pétrochimie, métallurgie) pour obtenir leurs données de rejets et concentrations de polluants.
- **Autorisation et suivi réglementaire:** Récupérer les autorisations et données de suivi auprès des services de l'environnement.
- **Données internationales:** Acquérir des jeux de données internationaux sur les secteurs d'activité présents localement.

### ➤ **Données environnementales :**

- **Conventions avec laboratoires et instituts:** Collaborer avec des laboratoires et instituts pour les analyses de terrain (sols, eau, air).
- **Données des agences publiques :** Utiliser les données des agences publiques de surveillance de la qualité des milieux naturels.
- **Équipements de collecte :** Utiliser des capteurs et drones pour des campagnes d'acquisition ciblées.

### ➤ **Données géographies**

- **Référentiels cartographiques nationaux :** Utiliser des référentiels cartographiques nationaux comme le BGT et des images satellites.
- **Modèles numériques de terrain :** Intégrer des données de modèles numériques de terrain.
- **Couches d'informations géolocalisées :** Ajouter des couches d'informations géolocalisées complémentaires (réseaux, urbanisme).

Cette stratégie multi-sources vise à constituer un socle de données environnementales et industrielles riche et régulièrement alimenté, sur lequel s'appuieront les calculs de toxicité.

La qualité et l'exhaustivité des données d'entrée conditionnent directement la pertinence des restitutions finales de l'application. Des processus d'approvisionnement robustes et automatisés seront mis en place, avec des contrôles de cohérence et d'intégrité pour garantir l'excellente qualité des données sources intégrées.

## **3.La main d’œuvre :**

Pour ce projet d'application SIG de détection des zones toxiques, bien que démarrant de manière modeste, une équipe pluridisciplinaire aux compétences diverses est essentielle pour mener à bien les différentes phases. Voici les principaux besoins en ressources humaines :

### ✓ **Équipe technique centrale**

- **2 développeurs full-stack :** Spécialisés en backend, frontend et interfaces web.

- **1 expert géomaticien/analyste SIG** : Pour gérer les aspects géographiques et cartographiques.
- **1 data scientist** : Spécialisé en modélisation environnementale.
- **1 chef de projet technique** : Pour coordonner et superviser les aspects techniques.

#### ✓ Experts métiers :

- **1 toxicologue industriel** : Pour les calculs des scores de toxicité.
- **1 ingénieur en génie de l'environnement** : Pour les aspects environnementaux.
- **Vacataires ponctuels** : Géologues, hydrogéologues, et autres experts selon les besoins.

#### ✓ Data team

- **2 analystes de données** : Pour la préparation, l'intégration et le contrôle des données.
- **1 administrateur de bases de données** : Pour la gestion des bases de données.

#### ✓ Terrain et support :

- **2 techniciens terrain** : Pour le déploiement des capteurs et drones.
- **2 analystes support applicatif** : Pour la hotline et la documentation.

#### ✓ Commercialisation

- **1 responsable des ventes** : Pour diriger les activités commerciales.
- **2 chargés d'affaires commerciaux** : Pour développer les relations clients et les ventes.

Au lancement, une équipe resserrée d'une dizaine de personnes sera requise. Cette équipe pourra être progressivement renforcée jusqu'à atteindre 15-20 personnes pour assurer le développement et le support de la solution une fois celle-ci déployée. Des profils juniors bien formés pourront être intégrés, encadrés par quelques experts clés. Une stratégie de recrutement ciblée et un plan de formation dédié seront nécessaires pour constituer cette équipe technique pluridisciplinaire.

## **4. Les principaux partenaires :**

Voici les principaux partenaires clés à considérer pour ce projet d'application SIG de détection des zones toxiques, à l'échelle nationale algérienne et internationale .

#### ✓ En Algérie :

- **Commissariat National au Développement Durable (CNDD)**:Partage de données environnementales officielles et facilitation des autorisations.
- **Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH)** :Partenariat pour les données sur la qualité des eaux et les bassins hydrologiques.

- **Centres universitaires et de recherche** :Expertise scientifique et validation des modèles de calcul de toxicité (par exemple, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, CDER).
- **Grands groupes industriels**:Conventions pour l'accès aux données d'émissions et de rejets (par exemple, Sonatrach, Cevital, ArcelorMittal).
- **Start-up algériennes spécialisées** :Co-développement d'outils et de capteurs pour l'acquisition de données terrain.
- **Agences numériques et cartographiques** :Sources de données géographiques de référence (par exemple, ANDT, CNTS).

### ✓ À l'international

- **Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE)** :  
Labellisation, promotion et soutien institutionnel potentiel
- **Institut national néerlandais pour la Santé Publique (RIVM)** :  
Accès aux bases de données toxicologiques de référence RISKCYCLE.
- **Agence américaine de protection de l'environnement (USEPA)** :  
Partenariat technique sur les méthodes d'évaluation des risques toxiques.
- **Fournisseurs leaders en technologies** :  
Accès aux technologies de pointe en imagerie satellite (par exemple, Airbus, Maxar), drones (DJI), et capteurs IoT.
- **Éditeurs de logiciels SIG et de cartographie** :  
Licences logicielles à tarifs préférentiels (par exemple, Esri, Hexagon).

Cette cartographie des partenariats potentiels couvre l'accès aux données sources indispensables, l'appui scientifique et technique, ainsi que les aspects de visibilité et de crédibilité de la solution. Une stratégie de collaborations ciblées sera essentielle pour le succès du projet.

## Cinquième axe : Plan financier

### 1. Les couts et charges :

Voici un aperçu clair et concis des différents coûts et charges pour le projet d'application SIG de détection des zones toxiques :

#### ✓ Investissements initiaux

- Développement de l'application (12 homme-mois) : 2 400 000 DA
- Infrastructure technique (serveurs, stockage, réseau) : 1 500 000 DA
- Équipements terrain (drones, capteurs) : 3 000 000 DA
- Logiciels tiers (SIG, analyse de données) : 1 200 000 DA
- Aménagement des locaux : 800 000 DA

#### ✓ Coûts d'approvisionnement en données

- Abonnements à des bases de données environnementales : 500 000 DA/an
- Contrats d'acquisition de données terrain: 1 500 000 DA/an
- Licences d'imagerie satellitaire/cartographie : 800 000 DA/an

✓ Charges de personnel :

- Équipe technique (10 personnes) : 8 000 000 DA/an
- Commercial/Marketing (4 personnes) : 3 200 000 DA/an
- Support Client (3 personnes): 1 800 000 DA/an

✓ Frais de fonctionnement :

- Locaux/Charges: 600 000 DA/an
- Frais commerciaux/Marketing : 1 500 000 DA/an
- Frais divers (déplacements, télécoms, etc.) : 500 000 DA/an

### **Total des charges annuelles récurrentes**

Après l'investissement initial, les charges annuelles récurrentes pour maintenir et développer la plateforme s'élèveront à environ **18 000 000 DA par an**.

Cette estimation permet d'élaborer un plan financier précis, en intégrant les coûts initiaux et récurrents, et en évaluant le seuil de rentabilité pour assurer la viabilité du projet.

année	Capital restant	intérêts	remboursement	annuité
1	8,769,129.35	37,083.33	130,870.65	167,953.98
2	8,637,712.71	36,538.04	131,415.94	167,953.98
3	8,505,750.21	35,990.47	131,963.51	167,953.98
4	8,373,237.21	35,440.62	132,513.35	167,953.98
5	8,240,171.36	34,888.49	133,065.49	167,953.98

Ce tableau montre le capital restant après chaque mois, l'intérêt payé, le montant du remboursement, et l'annuité constante.

### ✓ **Interprétation :**

- **Capital restant :** Diminue chaque mois car une partie du remboursement va vers la réduction du principal du prêt.
- **Intérêt :** Diminue chaque mois car il est calculé sur le capital restant qui diminue.
- **Remboursement :** Augmente légèrement chaque mois car la part de l'intérêt diminue, ce qui permet de rembourser plus du principal
- **Annuité :** Reste constante chaque mois à 167,953.98 DA.

Ce plan financier peut être étendu sur toute la période de 5 ans pour visualiser les paiements totaux et l'évolution du capital restant.

## **2.Le chiffre d'affaires :**

### ✓ **Projection Réaliste du Chiffre d'Affaires de l'Application SIG de Détection des Zones Toxiques**

#### **Source et Revenues**

- Abonnement plateforme SIG : Offres pour entreprises et collectivités
- Prestations de services Analyses et données complémentaires.
- Subventions publiques: Pour projets environnementaux.
- Licences technologiques: Modèles de calcul de toxicité.

#### Hypothèses de Revenus

- 20 abonnements annuels pour les autorités et bureaux d'études : 2 000 000 DA/an.
- 10 abonnements pour les grands comptes industriels : 4 000 000 DA/an.
- 5 projets de prestations de services data/analyses par an : 2 000 000 DA.
- 1 subvention d'un programme environnemental : 1 000 000 DA.

Le chiffre d'affaires prévisionnel pour la première année d'exploitation serait de 9 000 000 DA.

Projection à 3 Ans:

Avec une croissance soutenue, notamment à l'export, nous projetons :

- Année 2: 18 000 000 DA.

- Année 3 : 28 000 000 DA.

En développant les abonnements et en acquérant de nouveaux clients, le chiffre d'affaires pourrait atteindre \*\*28 000 000 DA\*\* en trois ans.

#### **Seuil de Rentabilité :**

Avec des charges annuelles récurrentes estimées à 18 000 000 DA, le seuil de rentabilité se situe autour de 20 000 000 DA de chiffre d'affaires.

Sous ces hypothèses, le projet deviendrait rentable dès la deuxième année d'exploitation, permettant d'amortir les investissements initiaux et de dégager des bénéfices à réinvestir pour le développement futur.

#### **Scénarios de Prévision :**

##### **✓ Scénario Optimiste :**

Ce scénario repose sur une adoption rapide et un développement commercial dynamique dès le lancement :

- Année 1 : 10 000 000 DA. L'application séduit immédiatement les acteurs clés. Les contrats majeurs sont remportés auprès des agences gouvernementales et des grandes entreprises industrielles.

- Année 2 : 20 000 000 DA. Le positionnement technologique continue de convaincre. Des contrats renouvelés et de nouveaux clients s'ajoutent, consolidant la base de revenus.

- Année 3 : 30 000 000 DA. La notoriété croissante et les succès antérieurs ouvrent de nouveaux marchés. Une offensive commerciale soutenue permet d'atteindre ce niveau de chiffre d'affaires.

##### **✓ Scénario Pessimiste :**

Ce scénario anticipe un développement plus mesuré face à la nouveauté de notre activité :

- Année 1 : 7 000 000 DA. Le démarrage est plus lent que prévu, avec des retards dans les cycles de prospection et la signature des premiers contrats.
- Année 2 : 12 000 000 DA. Les premières réalisations permettent de convaincre progressivement de nouveaux clients, bien que la concurrence reste vive.
- Année 3 : 17 000 000 DA. Le bouche-à-oreille et la crédibilité établie permettent d'ouvrir de nouvelles opportunités, mais la croissance reste modérée par rapport au scénario optimiste.

Ces deux scénarios, optimiste et pessimiste, prévoient une fourchette large de prévisions de revenus lors de notre phase de lancement. Ils nous permettent d'anticiper au mieux nos besoins de financement et notre plan de trésorerie, en fonction du rythme effectif de conquête commerciale que nous parviendrons à atteindre.

### **3.Les comptes de résultats escomptés :**

Le compte de résultat prévisionnel constitue une pièce maîtresse pour démontrer la viabilité économique de notre microentreprise. Le tableau ci-après présente nos projections rigoureuses de revenus, charges et résultats nets pour les trois premières années d'exploitation de notre bureau d'étude.

Tableau des comptes de résultats prévisionnels (en milliers de dinars algériens).

	Année 1	Année 2	Année 3
Chiffre d'affaire	12 000	20 000	30 000
Coûts des ventes	3000	5000	7500
Marge brute	9000	15000	22500
Charge opérationnel	7 000	13 000	18 000
EBITDA	2 000	2 000	4 500
Dotations aux amortissements	500	500	500
Résultat opérationnel	1 500	1 500	4 000

Charges financières	500	500	500
Résultats avant impôts	1 000	1 000	3 500
Impôts sur les bénéfices	300	300	1 050
Résultat net	700	700	2 450

Le BFR représente le financement dont notre entreprise a besoin pour faire face au décalage entre le règlement des dépenses d'exploitation et l'encaissement des recettes, il se calcule en prenant en compte :

Le stock de matières premières/données à financer

Les créances clients (factures émises non encore payées)

Moins les dettes fournisseurs (factures à payer)

$$\text{BFR} = \text{Stocks} + \text{Créances clients} - \text{Dettes fournisseurs}$$

✓ Besoin en Fonds de Roulement (BFR) pour l'application SIG de détection des zones toxiques :

Stocks: Notre entreprise doit constituer un stock permanent de données environnementales (imageries, capteurs de toxicité) et de consommables techniques (pièces de rechange pour drones, équipements de terrain). Le volume de stock est estimé à 123 288 DA.

Créances clients: Nos clients étant principalement des autorités publiques et des industriels, le délai de règlement moyen est de 60 jours. Sur un chiffre d'affaires annuel prévisionnel de 12 000 000 DA, l'encours de créances clients serait donc de 1 972 603 DA.

Dettes fournisseurs :Les délais de paiement négociés avec nos fournisseurs (fournisseurs de capteurs, éditeurs de logiciels, prestataires de services) sont en moyenne de 30 jours. Pour 3 000 000 DA de coûts des ventes annuels, le volume de dettes fournisseurs ressort à 246 575 DA.

- Calcul du BFR:

Le besoin en fonds de roulement global pour notre entreprise serait donc :

$$\text{BFR} = 123\,288 + 1\,972\,603 - 246\,575 = 1\,849\,316 \text{ \{ DA \}}$$

Cette évaluation du BFR à près de 1,85 million de dinars nous permet d'appréhender au mieux les besoins de financement de notre cycle d'activité. Ce montant devra être couvert par une trésorerie disponible suffisante et/ou des lignes de crédits bancaires dédiées. Le suivi régulier et le renouvellement des sources de financement du BFR seront cruciaux pour la pérennité de notre modèle économique de détection des zones toxiques.

#### **4.Le plan de trésorerie :**

Le plan de trésorerie prévisionnel est un outil essentiel pour toute entreprise. Il permet de projeter avec rigueur les flux de trésorerie entrants et sortants sur la première année d'activité. Cette anticipation des mouvements de liquidités est cruciale pour dimensionner correctement les besoins de financement initiaux et s'assurer de disposer de ressources pérennes. Le tableau suivant détaille notre plan de trésorerie prévisionnel mensuel pour la première année d'exploitation de notre projet.

(Les chiffres sont en milliers de dinars algériens)

	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec	Total
<b>Ventes</b>	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	
<b>Total rentrée</b>	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	
<b>Dépenses d'exploitation</b>													
<b>Achat matière/donnée</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
<b>Salaires</b>	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
<b>Charges locatives</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
<b>Autres charges</b>	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	
<b>Total dépenses</b>	1275	1275	1275	1275	1275	1275	1275	1275	1275	1275	1275	1275	
<b>Trésorerie nette d'exploit</b>	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-
<b>Acquisition d'équipement</b>													
<b>Développement logiciel</b>	2000												
<b>Total investissements</b>	2000												
<b>Prêt bancaire</b>													

<b>Apports en fond propre</b>	3000													
<b>Total financement</b>	3000													
<b>Variation de trésorerie</b>	475	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	-525	
<b>Trésorerie début période</b>	0	475	-50	-575	-110	-162	-2150	-2675	-3200	-3725	-4250	-4775	-	
<b>Trésorerie fin de période</b>	475	-50	-575	-110	-162	-2150	-2675	-3200	-3725	-4250	-4775	-5300	-	

## Sixième axe : Prototype experimental:

Prototype :

Carte de géolocalisation d'Impact ECOTOX (EM,EO,SO,SM)

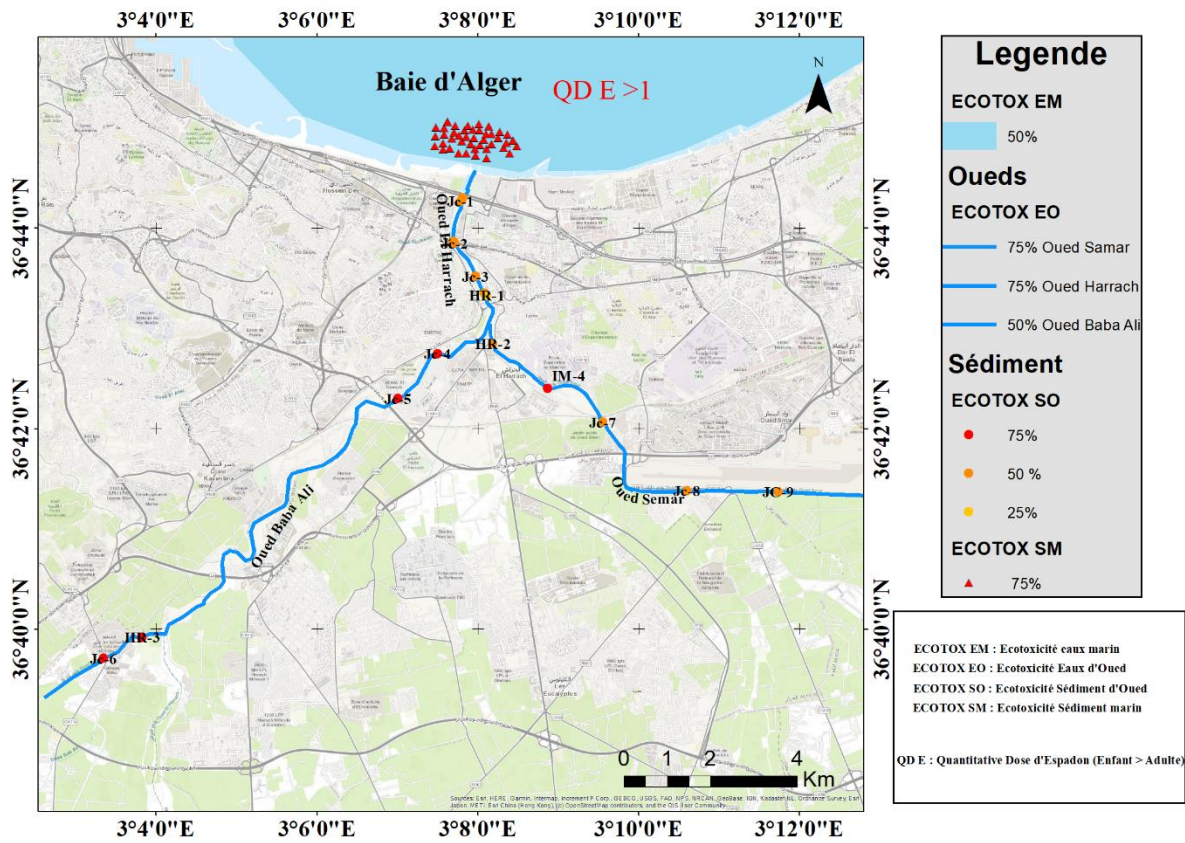


Figure 1: Prototype de résultat de l'application SIG

# BUSINESS MODEL CANVAS

## PARTENAIRES CLÉS :

- ✓ Commissariat National au Développement Durable (CNDD)
- ✓ Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)
- ✓ Centres universitaires et de recherche
- Grands groupes industriels (ex. Sonatrach, Cevital)
- ✓ Fournisseurs technologiques (ex. Airbus, Esri)

## ACTIVITÉS CLÉS :

- ✓ Développement et validation technologique de l'application SIG
- ✓ Collecte de données industrielles et environnementales
- ✓ Calcul des scores de toxicité et création de cartes géolocalisées
- ✓ Support client et maintenance de l'application

## LES VALEURS PROPOSÉES :

- ✓ Précision et fiabilité des données.
- ✓ Vision cartographique claire et exploitable.
- ✓ Approche scientifique rigoureuse.
- ✓ Suivi en temps réel et personnalisation des besoins.
- ✓ Sensibilisation à la préservation de l'environnement
- ✓ Protection de la santé publique

## RELATIONS CLÉS :

- ✓ Collaboration avec les autorités environnementales pour l'accès aux données réglementaires
- ✓ Partenariats industriels pour l'acquisition de données de rejets
- ✓ Support continu aux clients pour l'utilisation de l'application

## RESSOURCES CLÉS :

- ✓ Équipe technique multidisciplinaire (développeurs, géomaticiens, data scientists)
- ✓ Données industrielles et environnementales
- ✓ Infrastructure informatique (serveurs, logiciels SIG)

## STRUCTURE DES COÛTS :

- ✓ Coûts de initial de l'application
- ✓ Coûts d'acquisition et d'approvisionnement en données
- ✓ Charges de personnel et frais d'exploitatio

## SOURCES DE REVENUS :

- ✓ Abonnements annuels pour l'accès à l'application et aux données
- ✓ Projets de prestations de services (analyses, consultations)
- ✓ Subventions pour des programmes environnementaux

## SEGMENT CLIENTÈLE :

- ✓ Autorités environnementales nationales et régionales
- ✓ Bureaux d'études spécialisés en environnement et aménagement
- ✓ Industries à haut risque environnemental

## CANAUX :

- ✓ Vente directe via une force commerciale spécialisée
- ✓ Site web pour démos, téléchargements et abonnements
- ✓ Participation à des salons et événements environnementaux

## **Conclusion :**

En conclusion, l'étude technico-économique de notre projet d'application innovante intégrant un Système d'Information Géographique (SIG) et une base de données environnementales démontre un potentiel significatif pour améliorer la gestion et la protection des littoraux. Cette application, en permettant la collecte, l'analyse et la visualisation de données précises sur les concentrations de métaux lourds et autres polluants, offre un outil puissant pour les autorités compétentes.

Grâce à des algorithmes dédiés, l'application fournira des scores quantitatifs d'impact sur la toxicité humaine et l'écotoxicité marine, restitués sous forme de cartes et de rapports géolocalisés. Ces informations critiques permettront d'identifier les zones à haut risque et de prioriser les interventions nécessaires pour réduire les impacts environnementaux et sanitaires des activités industrielles et de la contamination des oueds.

En tant qu'étudiant spécialisé en gestion et protection de littoral, ce projet représente une avancée majeure dans le domaine de l'environnement et du développement durable. L'application SIG proposée ne se contentera pas de surveiller et d'évaluer les risques, mais elle jouera également un rôle essentiel dans la prise de décision et la mise en œuvre d'actions correctives par les autorités locales et nationales.

Ainsi, cette étude non seulement confirme la faisabilité technique et économique du projet, mais elle met également en évidence son importance cruciale pour la préservation des écosystèmes littoraux et la protection de la santé publique. L'innovation apportée par cette application constitue un atout stratégique pour une gestion environnementale proactive et efficace, répondant aux défis contemporains de pollution et de développement durable .

