



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID D'EL-TARF

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE

DEPARTEMENT : SCIENCES DE LA MER

FILIERE : HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME DE MASTER

EN

« BIORESSOURCES MARINES »

THÈME

**Caractérisation des sédiments superficiels et  
dosage de quelque ETM au niveau de deux plage  
du golfe d'Annaba**

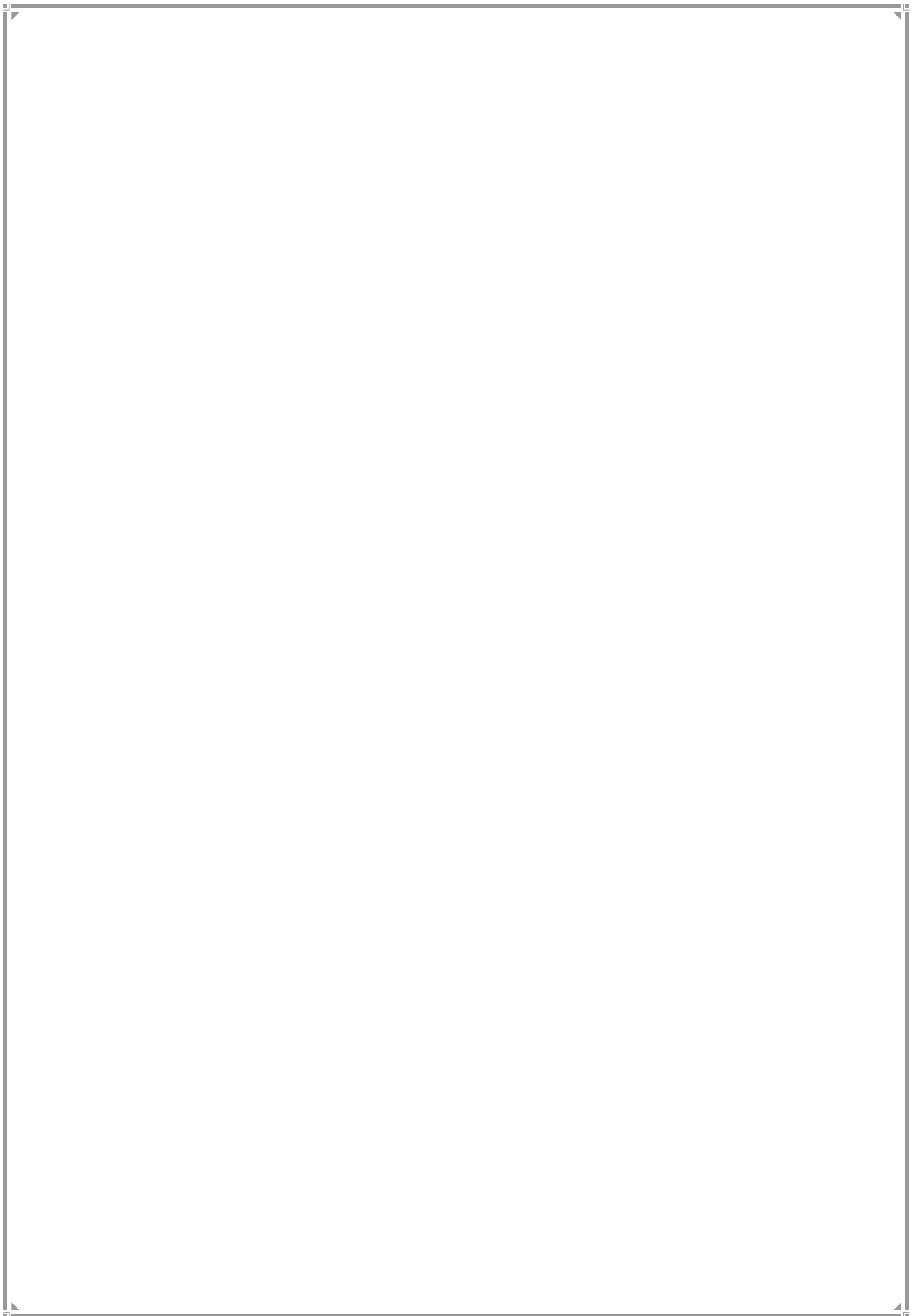
Présentée par :

**M<sup>elle</sup>. Ben Merabet Roumaïssa**

Devant le jury compose de:

<b>Présidente:</b>	Dr. Ben Touil Yacine	Maitre de conférences A., UCB. El-Tarf.
<b>Promotrice:</b>	Dr. Bezzazel Nadia	Maitre de conférences A., UCB. El-Tarf.
<b>Examinatrice:</b>	Dr. Garssallah Zahia	Maitre de conférences A., UCB. El-Tarf.

Année universitaire 2021-2022



# *Remerciement*

*Louanges et remerciements à Dieu surtout pour la bénédiction de la connaissance qu'il nous a accordée pour éclairer le chemin de nos vies. J'adresse mes sincères remerciements à l'habile professeur Bezazel Nadia, qui a été ma superviseur et assistante et enseignante tout au long du parcours d'études universitaires, et je n'oublierai jamais ses encouragements et ses faveurs tout au long de ma vie.*


*Oudainia yasmin et Zainab Maghri pour leurs encouragements envers moi Je remercie également*

*M. diaf Mohamed Lamine et Mme Jandali Shaima pour leur aide dans la réalisation de cette étude.*



# Dédicace

*A ma très chère mère Quoi que je fasse ou que je dise , je ne saurai point te remercier comme il se doit . Ton affection me couvre , ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles . A mes belles soeur ranim et ghozlen et mes chers frère zied et minou A mon très cher père Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager . Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection Puisse Dieu vous donne santé , bonheur , courage*



## **Résumé :**

Le golfe d'Annaba, comme tout le littoral algérien, est sujet à de nombreuses sources de pollutions ayant pour origine les diverses activités anthropiques dont le bassin versant est le siège (les activités agricole, industrielle et domestique) à cela vient s'ajouter l'activité maritime (marchande, pêche et loisirs). Les objectifs visés dans le cadre de cette étude sont, la caractérisation physico chimique des sédiments superficiels de deux stations du Golfe d'Annaba (Levet de l'aurore et la Caroube), ainsi que l'évaluation du niveau de contamination métallique de ce même sédiment (zinc, cuivre).

Les deux stations d'étude ont été choisies en fonction de leur hydrodynamisme et de leur situation par rapport aux effluents qui se déversent dans le Golfe. Les prélèvements de sédiment ont été réalisés dans chaque station et durant deux saisons : l'hiver et le printemps.

Les résultats de la granulométrie ont montré que les sédiments superficiels sont composés de sable fin.

Dans le sédiment superficiel, c'est la station S1 (Levet de l'Aurore) qui présente les taux les plus élevés en éléments métalliques, notamment le Zn et Cu, ces derniers seraient liés aux apports terrigènes riches en matière organique associés à ceux des eaux usées.

## Summary

The Gulf of Annaba, like the entire Algerian coast, is subject to many sources of pollution originating from the various anthropogenic activities of which the watershed is the seat (agricultural, industrial and domestic activities) to this is added maritime activity. (merchant, fishing and leisure). The objectives of this study are the physico-chemical characterization of the superficial sediments of two stations of the Golfed'Annaba (Levet de l'Aurore and Caroube), as well as the evaluation of the level of metallic contamination of this same sediment. (zinc, copper).

The two study stations were chosen based on their hydrodynamics and their location in relation to the effluents flowing into the Gulf. Sediment samples were taken at each station and during two seasons: winter and spring.

The granulometry results showed that the surficial sediments are composed of fine sand.

In the superficial sediment, it is station S1 (Levet de l'Aurore) which has the highest levels of metallic elements, in particular Zn and Cu, the latter would be linked to terrigenous contributions rich in organic matter associated with those of wastewater. .

## ملخص

يتعرض خليج عنابة ، مثله مثل الساحل الجزائري بأكمله ، للعديد من مصادر التلوث الناجم عن الأنشطة البشرية المختلفة التي يمثل مستجمعات المياه مقرا لها (الأنشطة الزراعية والصناعية والمنزلية) إلى ذلك يضاف إلى النشاط البحري (التاجر والصيد البحري). ووقت الفراغ). أهداف هذه الدراسة هي التوصيف الفيزيائي والكيميائي للرواسب السطحية لمحطتين من Golfed'Anaba (Levet de l'Aurore) و Caroube ، وكذلك تقييم مستوى التلوث المعدني لهذه الرواسب ( الزنك والنحاس).

تم اختيار محطتي الدراسة بناءً على الديناميكا المائية وموقعهما بالنسبة لمياه الصرف الصحي المتدفقة إلى الخليج. تم أخذ عينات الرواسب في كل محطة وخلال موسمين شتاء وربيع.

أظهرت نتائج قياس الحبيبات أن الرواسب السطحية تتكون من رمل ناعم.

في الرواسب السطحية ، تكون المحطة S1 (Levet de l'Aurore) التي تحتوي على أعلى مستويات العناصر المعدنية ، ولا سيما الزنك والنحاس ، ويرتبط الأخير بمساهمات أرضية غنية بالمواد العضوية المرتبطة بمياه الصرف الصحي.

## **Sommaire :**

**Remercîment**

**Dédicace**

**Résumé**

**Sommaire**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abreviations**

**Introduction :** ..... 1

### **CHAPTRE I**

#### **GENERALITES**

**I. GENERALITES**..... 4

**I.1. La pollution marine** ..... 4

**I.1.1. Définition** ..... 4

**I.1.2. Sources de pollution**..... 4

**I.1.3. Nature des polluants dans la mer** ..... 5

**I.2. Les polluants métalliques** ..... 6

**I.2.1. Rappels généraux sur les métaux lourds** ..... 6

**I.2.2. Sources de la pollution métallique** ..... 7

**I.2.3. Caractéristiques des métaux lourds**..... 8

**I.2.4. Utilisation des métaux lourds** ..... 8

**I.3. Caractérisation du sédiment**..... 9

**I.3.1. Comportement des ETM en relation avec le sédiment** ..... 10

**I.3.2. Caractéristiques des sédiments côtiers** ..... 10

### **CHAPITRE II**

#### **MATERIEL ET METHODES**

**II. MATERIEL ET METHODES**..... 16

**II.1. Le Golfe d'Annaba** ..... 16

**II.2. État de la pollution dans le Golfe d'Annaba** ..... 16

<b>II.3. Stations d'échantillonnages .....</b>	<b>18</b>
<b>II.4. Caractérisation du sédiment superficiel du Golfe d'Annaba .....</b>	<b>19</b>
<b>II.4.1. Détermination de la granulométrie .....</b>	<b>19</b>
<b>II.4.2. Potentiel d'hydrogène (pH) .....</b>	<b>19</b>
<b>II.4.3. Détermination de la matière organique totale.....</b>	<b>20</b>
<b>II.5. Analyse des éléments traces métalliques (ETM) .....</b>	<b>20</b>
<b>II.5.2. Mesures .....</b>	<b>21</b>

## **CHAPITRE III**

### **RESULTATS ET INTERPRETATION**

<b>III. RESULTATS ET INTERPRETATION.....</b>	<b>23</b>
<b>III.1. Détermination de la granulométrie du sédiment superficiel.....</b>	<b>23</b>
<b>III.1.1. Station Levat de l'aurore :.....</b>	<b>23</b>
<b>III.1.2. Station la Caroube : .....</b>	<b>23</b>
<b>III.2. Potentiel d'hydrogène du sédiment superficiel.....</b>	<b>25</b>
<b>III.3. Matière organique totale du sédiment superficiel .....</b>	<b>26</b>
<b>III.4. ETM dans le sédiment superficiel .....</b>	<b>27</b>
<b>III.4.1. le Zinc dans le sédiment .....</b>	<b>27</b>
<b>III.4.2. le Cuivre dans le sédiment .....</b>	<b>27</b>
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>30</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>32</b>

## **Liste des tableaux :**

<b>Tableau 1: Classification des métaux et des métalloïdes en fonction de leur toxicité et de leur disponibilité .....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 2: Sources industrielles des métaux lourds .....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 3: Principaux constituants des sédiments et leurs classes granulométriques.....</b>	<b>12</b>

## Liste des figures :

<b>Figure 1: Influence des réactions biogéochimiques de la diagénèse précoce sur le transfert des métaux à l'état de traces au sein du sédiment.....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 2: Représentation du Golfe d'Annaba .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 3: Image satellitaire des Principales sources de pollution dans le golfe d'Annaba .....</b>	<b>17</b>
<b>Figure 4: Image satellitaire du complexe sidérurgique « Sider El Hadjar »... </b>	<b>17</b>
<b>Figure 5: Image satellitaire de l'embouchure de l'oued Mafragh.....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 6: Spectromètre à absorption atomique SAA .....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 7: Variations temporelles des fractions granulométriques du sédiment superficiel de la station Levet de l'Aurore .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure 8: Variations temporelles des fractions granulométriques du sédiment superficiel de la station la Caroube .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 9: Détermination du potentiel hydrogène dans le deux stations d'étude .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 10: Matière organique totale du sédiment superficiel des deux stations d'étude .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 11: Variations spatio-temporelles des teneurs en zinc dans le sédiment superficiel .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure 12: Variations spatio-temporelles des teneurs en Cuivre dans le sédiment superficiel.</b>	

## **Liste des abréviations :**

- ❖ **MOT: matière organique total**
- ❖ **Mo: matière organique**
- ❖ **ETM: éléments tarace métallique**



**INTRODUCTION**

**Introduction :**

"La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'Homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature".(Ramade, 1992).

Les écosystèmes marins côtiers sont des milieux de plus en plus affectés par l'activité humaine. L'industrialisation et le développement urbain, agricole ou touristique des villes en zone côtière sont les principales causes de l'augmentation de la pression exercée sur ces milieux (Daby, 2006 ; Xuelu et Chen-tung, 2012). Les rejets urbains et l'utilisation de l'océan comme dépotoir peuvent mener à de hauts niveaux de pollution dans les écosystèmes marins côtiers). Les mers et les océans reçoivent aujourd'hui des volumes importants en polluants comme les métaux lourds et les pesticides à partir de multiples sources tels que les rejets industriels et les rejets d'eau usée. La contamination métallique des milieux aquatiques est devenue, donc, une préoccupation d'ampleur mondiale en raison de sa toxicité, de sa bioaccumulation et de ses effets sur la vie aquatique ainsi que sur la santé humaine (Rao *et al.*, 2007).

Les éléments traces métalliques (ETM), représentent une menace pour le milieu aquatique à cause de leur rémanence, leur toxicité et leur tendance à la bioaccumulation. Certains de ces éléments (Zn, Cu) présentent un caractère essentiel pour la vie, par contre, d'autres (Cd, Pb) n'ont, à ce jour, aucun rôle biologique connu et ont une toxicité avérée (Altindaget *al.*, 2005).

Une fois introduits dans le milieu aquatique, les ETM rejetés sont en grande partie piégés dans les sédiments. Ces derniers jouent le rôle d'un véritable vecteur de ces métaux aux organismes aquatiques. La faune des milieux aquatiques est exposée à un phénomène de bioaccumulation métallique qui est la résultante de phénomènes de bioconcentration et de bioamplification.

La bioconcentration correspond à la bioaccumulation d'une substance dans le milieu environnant par des voies autres que l'ingestion et l'assimilation ; Le processus de bio-amplification fait intervenir la notion de chaîne trophique. Il s'agit de la prise directe d'une substance par un organisme à partir de sa nourriture. Lorsqu'il y a bioamplification d'un polluant, les niveaux trophiques élevés présentent toujours des teneurs en contaminants largement supérieures à celles des bas niveaux trophiques (Amiard, 2011).

Durant les dernières années, les activités urbaines et industrielles se sont implantées à proximité des côtes. Les contaminants rejetés dans l'environnement finissent par se retrouver

plus ou moins rapidement dans le milieu aquatique, en particulier estuarien et côtier, où ils peuvent avoir des effets néfastes à court et à long terme (Burton, 1992). Les composés toxiques peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques, et également sur la population humaine consommatrice des ressources aquatiques présentes dans ces milieux (Long *et al.*, 2000 ; Mc Cauley *et al.*, 2000). Il est devenu donc indispensable d'évaluer la qualité de ces milieux aquatiques et plus particulièrement celle de la phase sédimentaire, car les polluants s'adsorbent sur les particules en suspension, puis s'accumulent au niveau des sédiments. Ainsi, les zones côtières sont devenues des sites d'accumulation des polluants ; ces biotopes où de nombreuses espèces animales vivent et se reproduisent, méritent d'être contrôlés et protégés.

Ces dernières décennies, les ressources en eau sont fortement affectées par les activités anthropiques (industrielles, agricoles) ainsi que l'urbanisme rapide. De nombreux travaux de recherche se sont focalisés sur la relation entre les activités anthropiques et la pollution des eaux et de sédiments dans le monde entier, d'autres ont traité le problème de la pollution dans la phase sédimentaire, lieu important de piégeage des contaminants à l'état de traces, et de leur transfert vers la colonne d'eau.

Le présent travail traite la même problématique de pollution des milieux aquatiques, elle a pour but de contribuer à étudier l'état de contamination des sédiments de deux plages des côtes de la ville de Annaba à savoir la plage Levet de l'Aurore et la plage la Caroube, en étudiant quelques caractéristiques du sédiment côtier et le dosage de deux métaux lourds (Zinc et Cuivre) dans deux saisons différentes : l'Hiver et le printemps.



**CHAPTRE I**  
**GENERALITES**

## I. GENERALITES

### I.1. La pollution marine

#### I.1.1. Définition

La pollution marine est une introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin pouvant aboutir à des effets délétères et mettre en danger les ressources vivantes. Elle se réfère généralement à la présence dans l'environnement aquatique (eau, sédiments et organismes) de composés organiques, organométalliques, organochlorés, les hydrocarbures, les pesticides et les métaux traces. Ces polluants, qui peuvent être extrêmement toxiques, une fois introduits dans l'environnement marin, sont susceptibles d'être stockés dans les sédiments et de s'accumuler dans les organismes vivants. Par conséquent, ils peuvent causer des dommages irréversibles à l'environnement marin ainsi qu'aux ressources halieutiques et conduire même à une altération de l'ensemble de l'écosystème. L'évaluation de la réponse biologique des organismes marins vis à vis de la contamination chimique que subit les différents compartiments de leur milieu de vie, devient une question capitale (Garrigues *et al.*, 2001). Les effets de la pollution sont surtout ressentis dans les zones côtières qui sont à la fois sensibles et productives. Contrairement au large, la faible profondeur au niveau des côtes ne favorise pas le brassage et le renouvellement nécessaire pour la dispersion des impuretés. Par conséquent, les matières polluantes y restent accrochées (Adjimi-Machreki, 2002). En effet, les sédiments côtiers et portuaires constituent de véritables réservoirs à micropolluants. Ils représentent des sources de pollution lors de leur remise en suspension, par la houle ou les activités de dragages (Geffardet *et al.*, 2001).

#### I.1.2. Sources de pollution

Les principales sources de la pollution marine sont :

- Les activités maritimes qui peuvent engendrer des rejets ou des fuites (volontaires ou accidentelles), essentiellement de substances chimiques naturelles (pétrole, minerais) ou artificielles (huiles usées, résidus solides...) ;
- Des rejets telluriques, d'origine continentale correspondent aussi bien aux apports fluviaux ainsi qu'à ceux des eaux contaminées de ruissellement ou des rejets directs d'émissaires domestiques ou industriels (Illou, 1999) ;
- Le lessivage des sols agricoles ;
- Les apports atmosphériques par les échanges de la matière à travers l'interface air/eau.

### I.1.3. Nature des polluants dans la mer

Le milieu marin est soumis à un stress dû aux rejets d'éléments toxiques et à l'enrichissement du milieu par les nutriments et par la matière organique. D'après Jebali (2002), il existe trois catégories de polluants : biologiques, physiques et chimiques.

**a. Polluants biologiques** : Ils proviennent essentiellement des effluents urbains ou industriels comprenant des débris ménagers, des matières fécales, des lessives, des papeteries hautement fermentescibles. Ces rejets sont à l'origine d'une pollution microbienne.

**b. Polluants physiques** : La pollution physique du milieu marin peut être due au rejet de chaleur, ou encore par les rejets radioactifs provoquant la formation de radicaux peroxydes hautement réactifs qui peuvent avoir des effets génotoxiques (une radio-contamination) (Jebali, 2002).

**c. Polluants chimiques** : Il existe deux types de polluants chimiques :

✓ **Les polluants organiques** : ce sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et toutes les substances organiques de synthèse. Ils sont utilisés comme carburants et lubrifiants. La pollution marine par les hydrocarbures peut être due à l'extraction du pétrole et à son transport maritime. L'utilisation des substances organiques de synthèse à des fins domestiques (détergents), agricoles (organochlorés) ou industriels peut être aussi une cause supplémentaire de la pollution marine. Les plus utilisés en tant que pesticides sont les carbamates et les organophosphorés. En dépit de leur dégradation relativement rapide, la plupart de ces pesticides ont remplacé les organochlorés dont l'utilisation est désormais interdite à cause de leur forte toxicité et de leur bioaccumulation dans l'environnement ;

✓ **Les polluants Inorganiques** : les sels nutritifs (nitrates, phosphates, etc...) utilisés en agriculture, ainsi que divers résidus métalliques rejetés par les industries métallurgiques, les métaux peuvent être rejetés à l'état de trace dans les déchets de certaines industries chimiques. A la différence des polluants organiques, les métaux traces ne font pas l'objet de dégradation biochimique (Fang et Hong, 1999 ; Klavinset *al.*, 2000; Tam et Wong 2000; Yuan *et al.*, 2004) et peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire (Roméo et Amiard, 1992). Ils sont déversés dans le milieu marin directement ou indirectement (par l'intermédiaire des cours d'eau).

## I.2. Les polluants métalliques

### I.2.1. Rappels généraux sur les métaux lourds

A la différence de la plupart des contaminants organiques, les métaux lourds sont des constituants naturels dans les roches et dans les gisements minéraux. Ainsi, normalement ces éléments sont présents à de faibles teneurs (à l'état de traces, moins de 0.1%) dans les sols, les sédiments, les eaux de surface et les organismes vivants (Alloway et Ayres, 1997 ; Callender, 2003). Ces faibles concentrations en métaux lourds constituent le fond géochimique d'un certain environnement. Pour évaluer l'impact d'un métal lourd dans l'environnement, la seule présence n'est pas suffisante. Cet impact est potentiel si le métal donné se trouve à des niveaux des concentrations anormalement élevées par rapport au fond géochimique (Alloway et Ayres, 1997).

Une fois que les métaux lourds ont été libérés dans le milieu (soit par des processus naturels ou anthropiques depuis leur source), ils peuvent être transportés par voie éolienne via des aérosols ou par voie aqueuse via l'eau, les matières en suspension ou les sédiments de fond des cours d'eau. Leurs concentrations est un paramètre important pour caractériser l'impact, toutefois il est très important de connaître la disponibilité de leur concentrations dans le milieu vis-à-vis des organismes terrestres et aquatiques (Alloway et Ayres, 1997).

Cette « disponibilité » d'un élément vis-à-vis des organismes (appelée parfois abusivement « biodisponibilité ») est très contrôlée par la dissolution et la mise en solution à partir des minéraux porteurs, et par la suite par l'adsorption et la précipitation de cet élément par des réactions géochimiques ayant lieu dans les eaux, les sédiments ou les aérosols. Le degré dans lequel un métal est absorbé ou précipité dépend notamment de ses propriétés intrinsèques (état(s) d'oxydation, rayon atomique, etc.), des paramètres physico-chimiques de l'environnement (pH et potentiel d'oxydoréduction), de la nature de l'absorbant (charge dépendant du pH, type de complexes ligands, surface spécifique), des autres métaux (ou d'autres cations majeurs) présents et de leurs concentrations (Alloway et Ayres, 1997 ; Sigg *et al.*, 2000). En raison de leurs différentes caractéristiques spécifiques, les métaux lourds ont été largement utilisés dans les nouvelles technologies (métallurgiques et électroniques).

En conséquence, leurs sources anthropiques sont vastes et leur introduction est plutôt récente dans l'environnement (Callender, 2003). Parmi les sources anthropiques de métaux lourds, nous pouvons signaler : l'activité minière, l'industrie métallurgique et sidérurgique, les engrais et pesticides appliqués dans la culture des sols, les incinérateurs et cendres

d'incinération des déchets, les déchets médicaux, les déchetteries de villes, les émissions des usines et moteur à explosion, les effluents des égouts et boues d'épuration (Alloway et Ayres, 1997 ; Plumlee et Ziegler, 2003). Toutefois, il semble que la source anthropique principale de métaux lourds pour l'environnement est celle produite par l'activité industrielle et domestique (Nriagu, 1996 ; Leblanc *et al.*, 2000).

### **I.2.2.Sources de la pollution métallique**

Les métaux sont présents dans tous les compartiments de l'environnement mais en général en quantités très faibles. On dit que ces métaux sont présents « en traces ». Les métaux traces ont une source naturelle et anthropique. En effet, les métaux sont des composants naturels de l'écorce terrestre dans laquelle on les rencontre généralement sous forme de minerais, associés entre eux et à de nombreux autres éléments (oxygène et soufre en particulier). Ils sont donc naturellement présents dans les roches drainées par les eaux de surface et les nappes souterraines, de même que dans les poussières atmosphériques. Les volcans et les incendies de forêts, sont des sources naturelles importantes de métaux pour la géosphère et l'hydrosphère.

Les sources anthropiques des métaux sont principalement les effluents industriels, agricoles et domestiques. La pollution atmosphérique (causée par la combustion de carburants fossiles, l'incinération des déchets et les rejets industriels) est une source supplémentaire. Les rivières jouent un rôle important dans l'introduction des métaux traces dans le milieu marin; elles reçoivent les polluants chimiques de tous genres et de diverses sources. Elles peuvent être considérées comme les principales routes de transfert des polluants.

- a. Réseau hydrographique et exutoire:** c'est une voie essentielle pour les résidus liquides et solides enrichis de métaux. Par l'intermédiaire des égouts collectant les déchets domestiques, industriels et agricoles, les métaux toxiques vont progressivement polluer les rivières, les lacs et les fleuves ;
- b. Voie pluviale :** les pluies nettoient l'atmosphère des fumées industrielles et des gaz d'échappement en la débarrassant de ses impuretés, mais contaminent en retour le sol et les milieux aquatiques ;
- c. Voie éolienne :** les vents jouent un grand rôle dans l'approvisionnement des océans en particules de tout genre qu'ils transportent, qu'il s'agisse d'éléments nutritifs, de particules sédimentaires ou de métaux.

### I.2.3. Caractéristiques des métaux lourds

Les métaux rencontrés dans l'environnement marin peuvent être classés selon leur caractère essentiel ou non. En effet, les métaux ont été classés en fonction de leur toxicité et de leur disponibilité (Wood, 1974 dans Förstner et Wittmann, 1979) (Tab.....).

(Wood, 1974 dans Förstner et Wittmann, 1979)

Pas toxiques disponibles	Toxiques Mais peu solubles	Très toxiques et relativement disponibles
Na C F K P Li Mg Fe Rb	Ti Ca Be Hf La Co	As Au Se Hg Te Cd Pb Sb Ag
Ca S Sr H Cl Al O Br Si N	Zr Os Ni W Rh Cu Nb Ir	Bi
	Zn Ta Ru Sn Re Ba	

*Tableau 1: Classification des métaux et des métalloïdes en fonction de leur toxicité et de leur disponibilité*

### I.2.4. Utilisation des métaux lourds

L'utilisation des diverses substances chimiques pour les besoins du développement industriel a entraîné dans presque toutes les régions du monde, une dissémination dans le milieu naturel de différents types de résidus toxiques et de sels des métaux lourds (Rapin *et al.*, 1982).

Les principales sources émettrices des métaux lourds sont les industries d'extraction minières et les fonderies, les industries de transformation (métallurgie, galvanoplastie...), les usines d'incinération et le secteur agricole (les engrais phosphates et les pesticides). Les autres catégories de substances toxiques sont représentées par les détergents et les hydrocarbures (Tab 2).

(Rapin *et al.*, 1982).

INDUSTRIES	METAUX LOURDS
Batteries de recyclage	Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn.
Chimique/ pharmaceutique	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb
Energie/ combustion	As, Be, B, Cd, Hg, Ni, Pb
Métaux de finition/électronique	As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn
Les huiles et les solvants de recyclage	As, Cr, Pb, Zn
Traitements de bois	As, Cr, Cu
Peinture et teinture, colorant	Cd, Cr, Hg
Métallurgie	Ag, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn

Tableau 2: Sources industrielles des métaux lourds

### I.3. Caractérisation du sédiment

Le sédiment est un milieu relativement hétérogène et complexe constitué d'eau, de matériaux inorganiques et organiques et de composés d'origines anthropiques (Power et Chapman, 1992). Ainsi, on retrouve principalement dans les sédiments (Garrivier, 1995) :

- ✓ Eléments chimiques que l'on qualifie de majeurs (Si, Al, K, Ca, Fe, S, Mg, etc.) et dont les teneurs sont notamment liées à la nature géochimique du sédiment ;
- ✓ Nutriments (carbone organique, azote, phosphore) dont les apports varient en fonction de la nature du milieu aquatique et des saisons ;

✓ Eléments métalliques présents, naturellement ou non, à l'état de traces (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, etc.), ainsi que des contaminants organiques (HAP, PCB, composés phytosanitaires, etc.) qui représentent globalement moins de 0,1% de l'ensemble des éléments présents dans les sédiments.

Les sédiments constituent donc un biotope privilégié pour rechercher l'état de pollution d'un écosystème aquatique (Mearns *et al.*, 1986).

### **I.3.1. Comportement des ETM en relation avec le sédiment**

Les sédiments jouent le rôle de puits et de source d'ETM. Selon Aubert *et al.*, (1983), la capacité de fixation et de rétention d'un polluant par les sédiments est largement conditionnée par leur granulométrie, leur géométrie particulaire et leur composition chimique.

La vase argileuse retiendra facilement les métaux traces dans l'eau avoisinante, alors qu'un sable quartzique n'aura pas cette possibilité. De ce fait, la nature des sédiments influe grandement sur l'image des polluants.

Dans les phénomènes de pollution des sédiments par les ETM, les interactions sédiments-cations métalliques jouent un rôle clé qui règle le comportement de ces métaux traces, leur distribution dans la phase solide. Ces interactions font intervenir plusieurs types de phénomènes de surface ; précipitation (sous forme oxydées, réduites), Co précipitation et adsorption sur des composés minéraux et organique (Sigg *et al.*, 1992).

La détermination des concentrations d'éléments en traces métalliques dans les sédiments marins côtiers superficiels est d'une grande importance du fait que ce compartiment abiotique a la capacité de séquestrer ces éléments et d'interagir avec d'autres compartiments biotiques et abiotiques de l'écosystème par des processus de sédimentation, floculation, etc.

De plus, et à travers les processus mentionnés, il peut aussi y avoir un transfert et une incorporation des éléments en trace métallique aux chaînes trophiques (Luoma, 1987).

Une grande part des polluants déversés dans les eaux se retrouve dans les sédiments ; aussi a-t-on pu dire que ces derniers se comportent comme des indicateurs de pollution à mémoire, témoins du degré de pollution (Lesouef *et al.*, 1979).

### **I.3.2. Caractéristiques des sédiments côtiers**

Soumis à diverses influences à la fois continentales et marines, les sédiments côtiers présentent des caractéristiques et donc des capacités à retenir les contaminants très variables.

Ils résultent principalement du mélange de deux catégories de particules :

✚ Des particules d'origine continentale : provenant de l'érosion des roches et des sols, amenées par les eaux douces. Au cours de leur transport ces particules subissent des transformations, se chargent de revêtements divers parmi lesquels les oxydes ou hydroxydes de fer et de manganèse et les composés organiques, qui leur confèrent des propriétés nouvelles. Ces revêtements jouent un rôle primordial dans la fixation et la rétention des contaminants chimiques. Une fois en mer, ces particules subissent des modifications plus ou moins profondes, en particulier elles s'appauvrissent en carbone organique.

✚ Des particules d'origine marine : (détritus organiques divers minéraux formé in-situ). Elles donnent généralement lieu à des dépôts plus riches en silice et en carbonates, et plus pauvres en manganèse, en carbone organique et en contaminants.

### **I.3.2.1. Granulométrie**

Les sédiments marins se divisent en deux catégories :

#### **A. Sédiments fins**

Lutites ou le terme « pélite » (du grec pelos, boue) désigne traditionnellement une grande variété de roches sédimentaires formées d'éléments fins ; composés de particules inférieures à 63  $\mu\text{m}$  de diamètre, ils regroupent d'une part les argiles (particules inférieures à 2  $\mu\text{m}$ ), et d'autre part les silts. Riches en matière organique, ils contiennent une quantité appréciable de sulfures ; quand ils sont présents en quantités, ils favorisent l'apparition de conditions anoxiques qui renforcent l'immobilisation de nombreux contaminants, tant qu'ils ne sont pas remis en suspension par l'action du courant notamment (Bruno, 2007).

#### **B. Sédiments grossiers**

Arénites et rudites sont constitués d'éléments dont la granulométrie est supérieure à 0,063 mm (Tableau 3). Ils sont subdivisés en sables (de 0,063 mm à 2 mm) et graviers (>2 mm).

Généralement pauvres en matière organique, ces sédiments ont une faible capacité de rétention des contaminants. Ces matériaux sont en général peu contaminés, sauf s'ils se trouvent

à proximité d'un rejet. Leur potentiel de relargage des contaminants dans la colonne d'eau est dans ce cas facilité (Bruno, 2007).

	constituants	Granulométrie
<b>Lutites</b>	Argiles	De 0 à 2 $\mu\text{m}$
	silts	De 2 à 63 $\mu\text{m}$
<b>Arénites</b>	Sable fin	De 63 à 200 $\mu\text{m}$
	Sable moyen et grossier	De 200 $\mu\text{m}$ à 2 mm
	Gravier	De 2 à 20 mm
<b>Rudites</b>	Blocs, galets	> 20 mm

*Tableau 3: Principaux constituants des sédiments et leurs classes granulométriques*

(Bruno, 2007).

La prise en compte de ces différents paramètres permet dans de nombreux cas d'éviter un certain nombre de biais lors de l'interprétation des résultats.

Par exemple, pour un même apport de contaminant, le mélange de particules de nature différente peut conduire à des concentrations variables, simplement par mélange du stock de particules contaminées par un stock non contaminé (Bruno, 2007).

### **I.3.2.2. Adsorption des métaux sur les sédiments**

L'adsorption des métaux sur les sédiments fait intervenir plusieurs types de phénomènes de surface : la précipitation, la co-précipitation et l'adsorption sur les composés minéraux et organiques. Dans le cas des métaux, les formes majeures sont adsorbées sur les particules minérales par des interactions ioniques ou liées à la matière organique formant ainsi des complexes métalliques par l'intermédiaire de liaisons covalentes.

De plus, l'adsorption dépend selon Serpaud et *al.*, (1994) de l'origine des substances et des conditions environnementales (pH, potentiel redox, etc.). L'influence de ces dernières est importante, car elles définissent les liens participant à la fixation des cations métalliques sur les sédiments, ainsi que les capacités d'adsorption, variables selon la nature du métal (Noppe, 1996).

### **I.3.2.3. Influence du pH**

En général, l'acidification (pH < 5) conduit à la solubilisation de Fe, Mn, Al et d'autres métaux. Par contre, quelques éléments (Pb) forment des sulfates insolubles à faible pH et faible condition redox, car la solubilité des sulfates est inversement proportionnelle au pH.

De plus, l'augmentation du pH favorise l'adsorption métallique sur la fraction réductible des sédiments (oxydes de fer et de manganèse) (Chapman, 1992) et sa diminution augmente la toxicité des métaux.

#### **I.3.2.4. Effet de la taille du grain**

Il existe une certaine hétérogénéité chimique du sédiment. L'interprétation de la qualité de l'eau à travers l'espace et le temps, basée sur l'analyse des métaux dans les sédiments nécessite de prendre en compte l'effet de la taille du grain. C'est un des facteurs les plus importants contrôlant la capacité du sédiment à adsorber les métaux lourds. Quand la taille du grain diminue, les concentrations augmentent. Or, deux techniques sont utilisées pour réduire l'effet de la taille du grain (Noppe, 1996).

✓ La première est une normalisation mathématique basée sur une analyse indépendante de la taille du grain. Mais, la corrélation entre la taille du grain et la variabilité des teneurs en métaux dépend de nombreux facteurs, ce qui exclut l'existence d'un facteur de normalisation universel (Horowitz et Elrick 1988).

✓ La seconde technique est une séparation physique suivie d'une analyse chimique, qui permet d'obtenir des valeurs plus précises, mais nécessite plus de sédiment. Dans le cas d'un sable, chacune des phases contribue à la surface totale alors que pour les sédiments fins, elles agissent comme inhibiteurs en cimentant les grains fins ensemble pour former des agrégats. Ceci peut expliquer pourquoi les fractions inférieures à 63  $\mu\text{m}$  sont les plus importantes pour l'estimation des teneurs en métaux lourds des sédiments, car les particules les plus fines sont généralement les plus riches en éléments traces. De plus, quand la matière particulaire totale est considérée, la teneur en élément trace est généralement directement proportionnelle à la quantité de fraction la plus fine (Chapman, 1992).

#### **I.3.2.5. Effet de la matière organique**

La matière organique (MO) présente une aptitude particulière à se combiner avec les ETM (Davis, 1984). Ainsi, les processus de dégradation et floculation affectent qualitativement la MO (Lemaire et al., 2002) et peuvent directement influencer la spéciation des ETM (Mantoura et al., 1978; Mantoura, 1981).

Nous notons que la dégradation de la MO peut aussi influencer localement les conditions physicochimiques comme le potentiel redox ou le pH, et ainsi indirectement induire des modifications entre les différentes phases des ETM. Lors de la diagénèse précoce, la colonne sédimentaire devient plus acide et plus réductrice, la force ionique augmente. Or, le pH, le redox et la force ionique sont les principaux paramètres contrôlant la fixation des métaux traces sur les particules. Ainsi la diagénèse va entraîner des évolutions du fractionnement solide-liquide au sein de la colonne sédimentaire : ceci concerne en particulier les métaux fixés sur la matière organique, les oxydes de manganèse et de fer, les phases sulfurées et carbonatées. (Fig4).

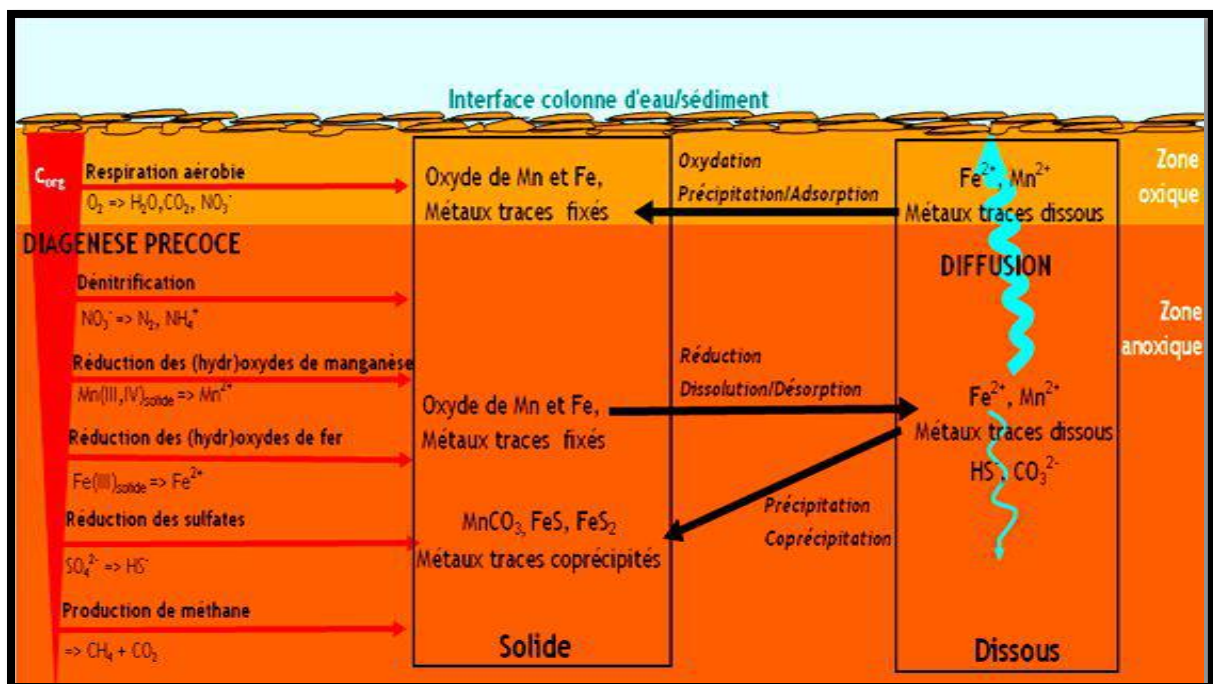


Figure 1: Influence des réactions biogéochimiques de la diagénèse précoce sur le transfert des métaux à l'état de traces au sein du sédiment

(Devallois, 2009).

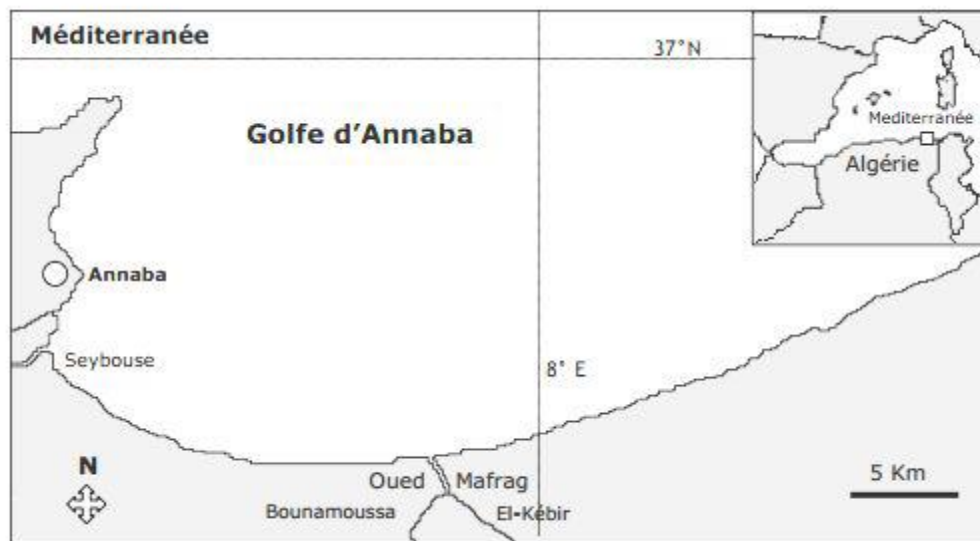


**CHAPITRE II**  
**MATERIEL ET METHODES**

## II. MATERIEL ET METHODES

### II.1. Le Golfe d'Annaba

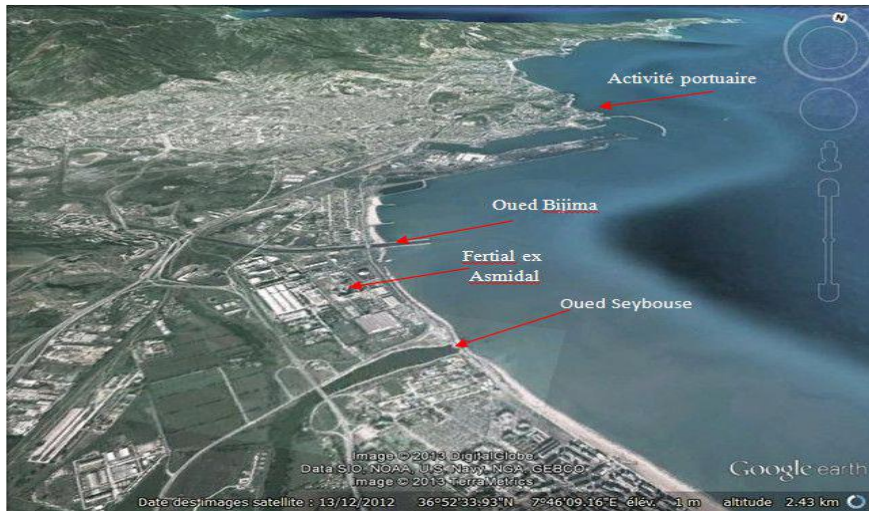
Le Golfe d'Annaba est situé dans le littoral Est algérien ; il est limité à l'Est par le Cap Rosa ( $8^{\circ} 15' E$   $36^{\circ} 58' N$ ) et à l'Ouest par le Cap de Garde ( $57^{\circ} 16' E$  et  $36^{\circ} 58' N$ ). La distance séparant les deux caps est d'environ 21,5 milles (40Km). La profondeur maximale des eaux est de 65m. Le plateau continental est accidenté et nettement restreint au nord du Cap de Garde (4,5 milles), puis s'élargit dans le golfe jusqu'à 14,05 milles (27km) pour se rétrécir légèrement à l'Est au voisinage du Cap Rosa (Vaissaire et Fredj, 1963) (Fig 2)



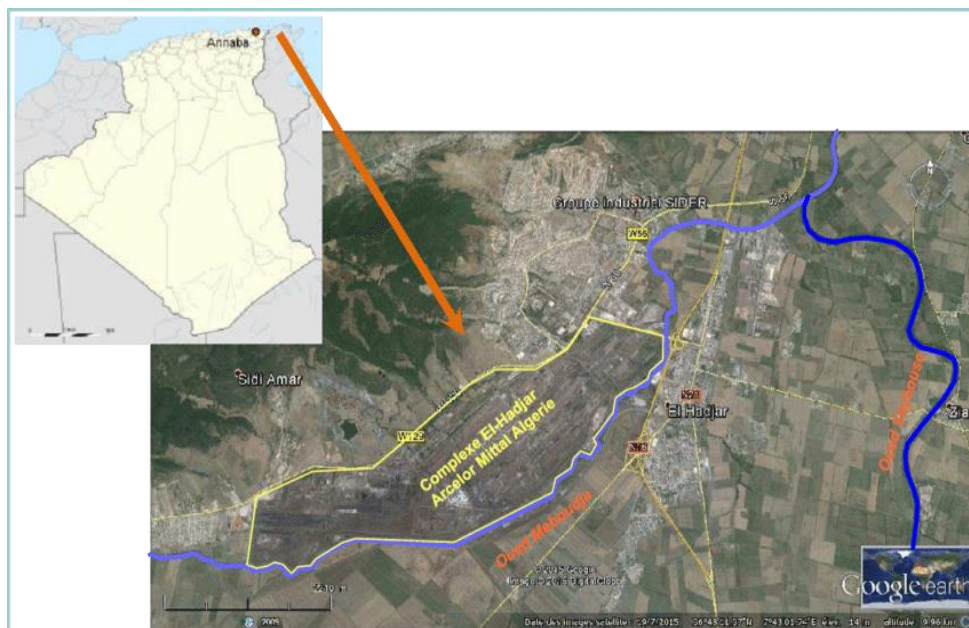
*Figure 2: Représentation du Golfe d'Annaba*

### II.2. État de la pollution dans le Golfe d'Annaba

Le Golfe d'Annaba est soumis à divers types de pollution ; de la pollution biologique à la pollution chimique, organique ... Les sources de la pollution de l'écosystème côtier proviennent d'activités industrielles, agricoles et urbaines. Selon Grimes, (2010) les principales industries polluantes installées dans la région d'Annaba sont la centrale électrique, l'usine de fertilisants «Fertial », le complexe SIDER El hadjar (fig3) l'industri alimentaire (ORELAIT), la production d'huile végétale et de savon (ENCG), brasserie et limonaderie (EMIB), unité métallurgique (Ferroval), cimenterie (hydro-canal). Les oueds Seybouse, Bedjima, Boukhemira et Mafragh, en plus des nombreux effluents de rejets urbains et le port, représentent les principales sources « ponctuelles » qui drainent la multitude de contaminants, produites sur leurs bassins versants, vers le Golfe d'Annaba



*Figure 3: Image satellitaire des Principales sources de pollution dans le golfe d'Annaba*  
(Google Earth Modifié)



*Figure 4: Image satellitaire du complexe sidérurgique « Sider El Hadjar »*  
(googleearth).



*Figure 5: Image satellitaire de l'embouchure de l'oued Mafragh*

(Google Earth modifié).

### II.3. Stations d'échantillonnages

Le choix des sites s'est basé sur leur emplacement par rapport aux différents rejets et sources de pollution (rejets urbains, proximité du port d'Annaba).

- **Station Lever de l'aurore**

Située en zone périurbaine, à proximité d'une forte agglomération, pas très loin du port d'Annaba (Fig. 28), cette zone reçoit les eaux de ruissellement, les rejets urbains d'une bonne partie de la ville (habitations, commerces, hôpital Caroubier...) et se trouve exposée à un trafic routier intense en plus du trafic maritime du fait de sa proximité du port (pêche, plaisance, voyage, marchandise...).

- **Station la Caroube**

Située dans la partie Ouest du Golfe, au niveau de l'étage infra littoral accessible en plongée sous-marine. Cette plage reçoit les eaux de ruissellement et les égouts des nombreuses habitations et commerces situés aux alentours. Elle est soumise, toute l'année, à une forte pression anthropique du fait de l'intense activité humaine qui y règne : pêche, sport nautique, baignade, ainsi que les barques à moteur qui ont pris cette plage pour port.

## II.4. Caractérisation du sédiment superficiel du Golfe d'Annaba

Le sédiment est prélevé sous les herbiers de *P. oceanica* à raison de trois prélèvements par station et par saison.

L'échantillon de sédiment concerne les 5 premiers centimètres de la couche superficielle ; une fraction de 500g à 1Kg de sédiment est prélevée à l'aide de boîte en plastique. Les échantillons prélevés ont été conservés à basse température dans une glacière maintenue à basse température jusqu'à l'arrivée au laboratoire où ils seront entreposés dans un congélateur en prévision de leur analyse (Kantin et Pergent-Martini, 2007).

Après décongélation, le sédiment est soumis à une phase pré-analytique c'est le séchage à l'étuve 105 °C pendant 24h.

### II.4.1. Détermination de la granulométrie

La granulométrie est la mesure des caractéristiques physiques propres à la texture et à la distribution en poids des particules d'un sédiment suivant leurs dimensions. Elle constitue un paramètre essentiel dans le comportement des polluants dans les sédiments et les organismes benthiques. L'analyse granulométrique des sédiments prospectés tend à évaluer la teneur en fraction fine (particules de taille inférieure à 63 µm) et la granulométrie de la fraction grossière. La technique de tamisage par voie sèche est appliquée au sédiment sableux du Golfe d'Annaba. Cinq-cents grammes (500g) de sédiment grossier déshydraté sont passés sur une colonne de tamis (de type Prolabo NF.X11-504) associé à un vibrotamis (tamisage à sec). La colonne comprend des tamis présentant des mailles décroissantes dans l'ordre suivant : 355 ; 180 ; 125 et 63 µm selon les normes AFNOR. Les fractions granulaires de chaque tamis sont pesées au moyen d'une balance de précision et leurs poids sont exprimés en g puis directement convertis en pourcentage.

Selon Bellair et Pomerol (1977), les sédiments se classent selon la taille de leurs particules de la façon suivante :

- Les particules d'un diamètre supérieur à 63 µm caractérisent les sédiments grossiers qui sont principalement constitués de sable et de matériel inorganique silicaté.
- Les particules d'une taille inférieure à 63 µm sont constituées de minéraux argileux, ayant un diamètre compris entre 0,2 et 2 µm, et de silt, ayant un diamètre compris entre 2 µm et 63 µm.

### II.4.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Dans un bécher, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés 20 g de sédiments secs tamisés à 2mm (rapport 1/2,5). Après agitation pendant 2 minutes suivie d'une décantation pendant 30 minutes,

le pH de l'échantillon est mesuré au niveau du surnageant (Rodier *et al.* 2005) à l'aide d'un pH-mètre modèle (WTW HI 8014) étalonné avec des solutions à pH 4.7 et 9 à 20°C. Les lectures sont exprimées en unité pH.

### II.4.3. Détermination de la matière organique totale

La détermination de la matière organique totale est réalisée selon la méthode de Laperte au feu (Beyersset *al.*, 1978). Une incinération d'un sous-échantillon de sédiment permet de calciner la totalité de la matière organique qui y est présente. La différence de poids du sous-échantillon avant et après incinération, reportée en pourcentage par rapport au poids initial, permettra de déterminer sa teneur en matière organique.

La teneur en matière organique totale, exprimée en %, est déterminée en appliquant la formule suivante :

$$\text{MOT (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$$

Avec :

**MOT** : teneur en matière organique totale (en %).

**M** : masse de la capsule (en g).

**m1** : masse de l'ensemble capsule-sédiment avant incinération (en g).

**m2** : masse de l'ensemble capsule-sédiment après incinération (en g).

## II.5. Analyse des éléments traces métalliques (ETM)

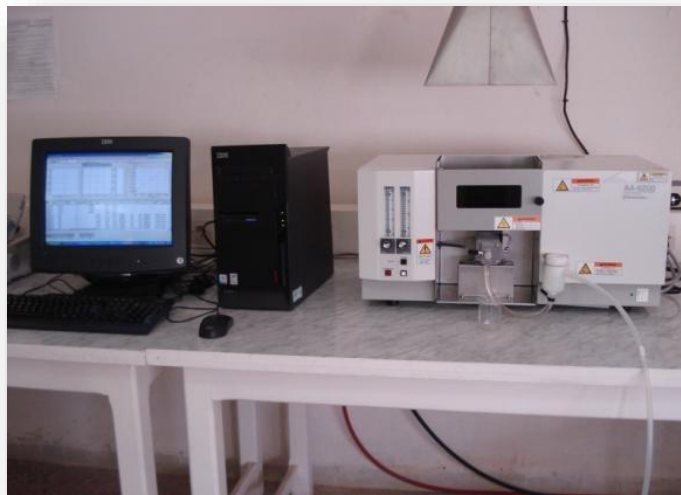
### II.5.1 Préparation des échantillons

Pour les sédiments, le protocole de minéralisation ci-dessous a été suivi : Une masse d'environ 40 mg a été pesée avec précision et placée dans des réacteurs en téflon. Dans un premier temps, 0,5 ml de l'acide nitrique 65% est ajouté. Cette première attaque permet de détruire les carbonates présents dans les échantillons. Dans un second temps 0,5 ml de l'acide fluorhydrique est ajouté suivi d'un chauffage à 100°C pendant 12 heures au minimum. Après refroidissement, les échantillons sont évaporés à sec, c'est la phase de minéralisation des silicates. L'acide nitrique est ajouté aux résidus sous une température de 100°C. Après refroidissement, 0,6 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a été rajouté afin de dégrader la matière organique présente

dans les échantillons. Après évaporation à sec, les échantillons limpides ont été repris dans 0,5 ml de l'acide nitrique. Les solutions obtenues ont été diluées avec l'eau Milli-Q.

### II.5.2. Mesures

Les mesures des concentrations de métaux traces dans les sédiments ont été réalisées par la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) (Fig6), encore appelée photométrie de flamme, permettent de doser dans pratiquement toute sorte d'échantillon, un ou plusieurs éléments prédéfinis (métaux ou non métaux) choisis dans une liste en contenant environ 70, les appareils correspondants permettent, pour la plupart d'entre eux, d'exécuter des dosages en suivant l'une ou l'autre de ces méthodes, bien que le principe des mesures soit différent. La sensibilité permet d'atteindre pour certains éléments des concentrations inférieures au  $\mu\text{g/l}$  (ppb) (Ronessac, 2004).



*Figure 6: Spectromètre à absorption atomique SAA*



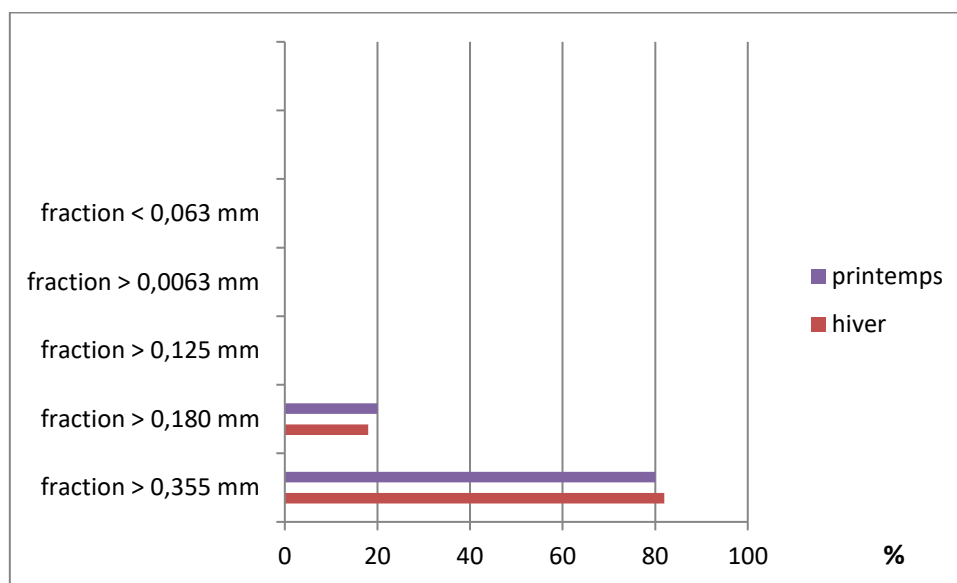
**CHAPITRE III**  
**RESULTATS ET**  
**INTERPRETATION**

### III. RESULTATS ET INTERPRETATION

#### III.1. Détermination de la granulométrie du sédiment superficiel

##### II.1.1. Station Levat de l'aurore :

Dans cette station, le sédiment est essentiellement composé des deux fractions les plus grossières (grains de taille entre 0,35mm et 0,18mm). C'est toutefois la fraction dont la taille des grains ne dépasse pas 0,35mm qui est majoritaire (82% en hiver et 80% au printemps). Par ailleurs, les autres fractions dans cette station d'étude et pour les deux saisons échantillonnées sont nulles. (Fig7).

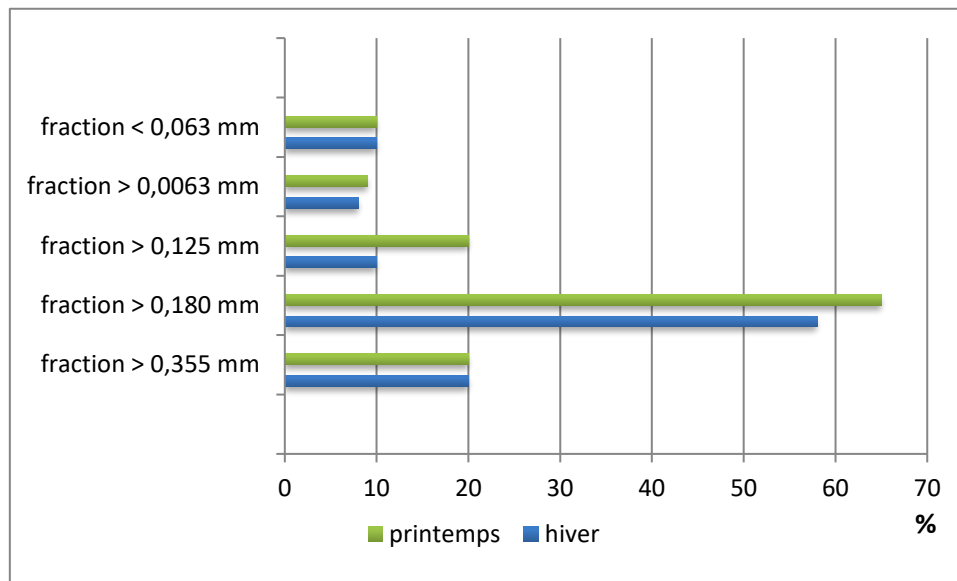


*Figure 7: Variations temporelles des fractions granulométriques du sédiment superficiel de la station Levat de l'Aurore*

##### II.1.2. Station la Caroube :

Ce sédiment comporte des fractions à des proportions variables en fonction des saisons. Nous notons, toutefois, que c'est la fraction formée par les grains de taille  $>0.180\text{mm}$  qui représente les plus fortes proportions (58 à 65%) durant la période de notre étude.

Quant à la fraction la plus grossière (grains de taille dépassant  $0,35\text{mm}$ ) elle ne représente pas plus de 20% et ne montre pas de grosses fluctuations saisonnières. La 3ème fraction, dont les grains ne dépassent pas la taille  $0,125\text{mm}$  constitue 10 à 20% de la couche sédimentaire respectivement en automne, et au printemps. Les proportions enregistrées par les fractions 4 (grains de taille supérieure à  $0,063\text{ mm}$ ) et 5 (grains de taille inférieure à  $0,063\text{ mm}$ ) sont proches de 10% dans les deux périodes. (Fig8).



**Figure 8: Variations temporelles des fractions granulométriques du sédiment superficiel de la station la Caroube**

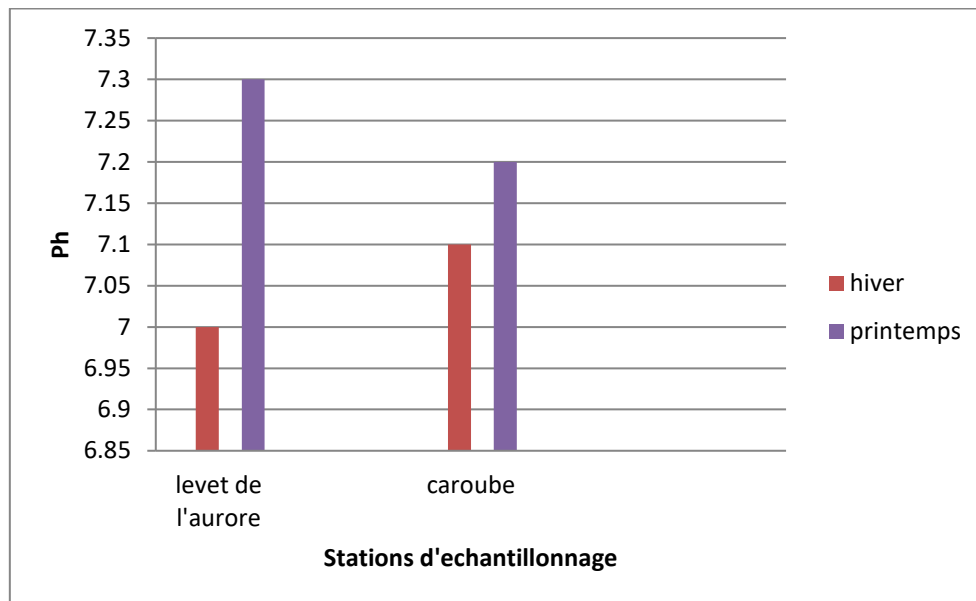
Selon Boulvain, (2011) la distribution granulométrique d'un sédiment peut varier très fortement en fonction du lieu de prélèvement (portuaire ou estuarien), de la nature de la matière solide, et des processus de transport des particules. Les sédiments estuariens sont constitués majoritairement de fines particules provenant du ruissellement des rivières. Les sédiments portuaires reflètent leurs processus de transport (vagues et courants) responsables de leur accumulation. Les particules qui constituent ces sédiments sont généralement issues de l'érosion terrestre et côtière. La distribution granulométrique reflète la répartition quantitative des éléments solides du sédiment en fonction de la taille des particules, indépendamment de leur nature chimique.

Nos résultats montrent que les grains composant le sédiment récolté dans le golfe sont de taille inférieure à 2mm ; en référence à la classification de Ramarosan (2008), nous pouvons dire que le sédiment est majoritairement composé de sables fins du fait que la taille des grains les plus grossiers ne dépasse pas 0,35 mm. Il est, par ailleurs, important de signaler que ces deux stations, de par leur situation dans le Golfe, se singularisent par un hydrodynamisme assez particulier illustré par le calme de leurs vagues du fait de leur position dans le Golfe. Cette faible fréquence de perturbation des eaux permet une sédimentation de grains assez fins relativement importante.

### III.2. Potentiel d'hydrogène du sédiment superficiel

Le pH moyen du sédiment est alcalin : il varie de 7 dans la station Levet de l'aurore à 7.1 au niveau de la station la Caroube en Hiver.

Au printemps nous avons enregistré un pH de 7.3 à la station Levet de l'Aurore contre un pH égal à 7.2 au niveau de la station la Caroube.(Fig9)



**Figure 9: Détermination du potentiel hydrogène dans les deux stations d'étude**

En milieu aquatique, le pH du milieu dépend de l'activité biologique et de la capacité tampon du système (équilibre  $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ ). La réduction des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) en sulfure ( $\text{S}^{2-}$ ) entraîne une augmentation du pH alors que la dénitrification (réduction des nitrates  $\text{NO}_3$  en Azote N) entraîne sa diminution (Mayer *et al.*, 1994).

Quand le pH est bas, il y a dissolution des carbonates et augmentation de la compétition entre les éléments traces métalliques et les ions hydrogènes vis-à-vis des sites d'adsorption ; ceci se traduit par un relargage de métaux sous forme hydratée et par la suite une augmentation de leur biodisponibilité et leur toxicité (Burgess et Scott, 1992). Par ailleurs, l'acidification des eaux provoque un lessivage des cations métalliques adsorbés sur les matières en suspension par simple compétition entre les cations et les protons libérés par les acides (Lobersliet *et al.*, 1991). Dans le cas de nos stations, le pH relevé est alcalin. Cette alcalinité élevée en période printanière serait en relation avec une bonne activité biologique attribuée à une forte activité photosynthétique de macrophytes et de phytoplancton et témoignerait du bon fonctionnement du système tampon.

### III.3. Matière organique totale du sédiment superficiel

Les proportions en matières organiques totales (MOT) rencontrées dans le sédiment des stations d'échantillonnage varient de 0,5% dans la station (S1) à 1,3% dans la station (S2). Les taux les plus élevés sont enregistrés en hiver et précisément au niveau de la station Levet de l'Aurore (Fig10).

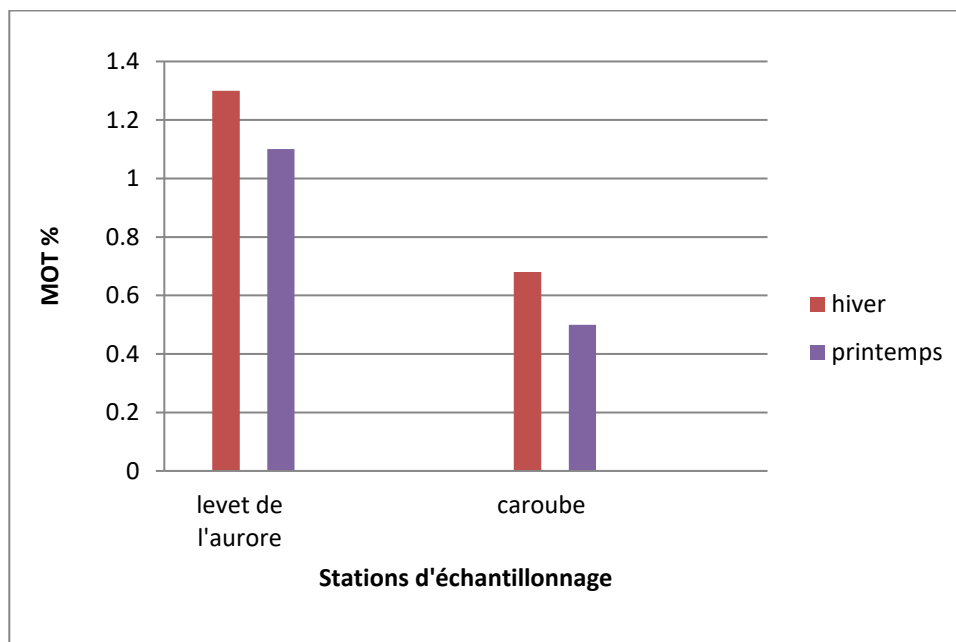


Figure 10: Matière organique totale du sédiment superficiel des deux stations d'étude

D'après [Filella \(2009\)](#), dans les milieux aquatiques, la Matière Organique Dissoute (MOD) est issue de deux sources : l'une appelée MO autochtone du fait qu'elle soit propre à l'écosystème qui l'entoure ; cette MO autochtone peut être assimilée à la production primaire phytoplanctonique, au broutage du zooplancton et à l'activité bactérienne dans la colonne d'eau et le sédiment. L'autre est nommée MO allochtone, car elle est liée aux apports fluviaux, aux eaux de ruissellement (lessivage des sols), aux rejets urbains et agricoles et dans une moindre mesure aux apports atmosphériques, on parlera de MO allochtone. La MO allochtone peut être assimilée aux produits issus de la décomposition de la biomasse ainsi qu'aux polluants organiques liés aux activités humaines telles que le développement agricole ([Pernet-Coudrier, 2008](#)). Les teneurs élevées en MOT rencontrées en hiver dans les stations d'étude, s'expliquent par l'importance des apports terrigènes en relation avec les précipitations qui érodent le sol et charrient la matière organique vers les stations.

### III.4. ETM dans le sédiment superficiel

#### III.4.1. le Zinc dans le sédiment

Les teneurs en Zinc relevées dans le sédiment sont comprises entre 29  $\mu\text{g/g ps}$  et 55  $\mu\text{g/g ps}$ . Les valeurs les plus élevées sont rencontrées, en période hivernale et dans une moindre mesure au printemps. Les valeurs de la station Levet de l'Aurore sont plus importantes que celles de la station la Caroube (Fig11).

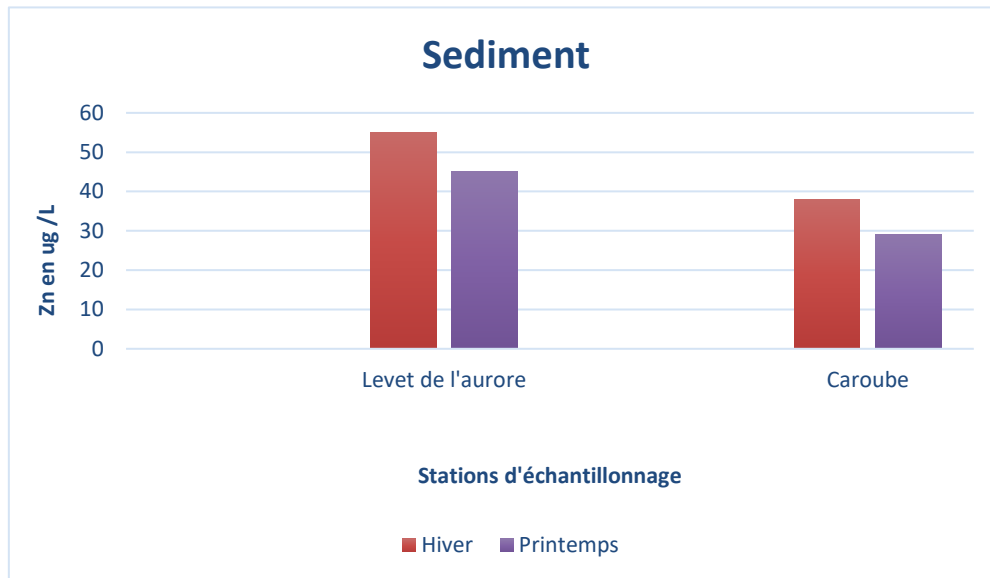
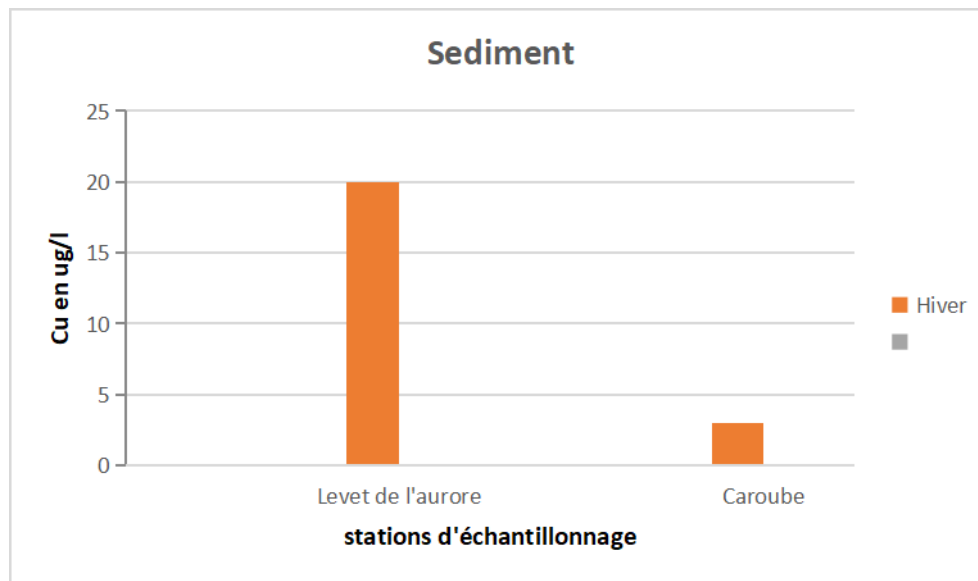


Figure 11: Variations spatio-temporelles des teneurs en zinc dans le sédiment superficiel

#### III.4.2. le Cuivre dans le sédiment

Les concentrations en Cuivre enregistrées dans le sédiment superficiel des stations d'échantillonnage, sont comprises entre 3  $\mu\text{g/g ps}$  et 20  $\mu\text{g/g ps}$ . Nous notons que le pic est hivernal dans la station Levet de l'Aurore et printanier dans la station la Caroube.

Cependant, les valeurs les plus élevées sont celle du Levet de l'Aurore (Fig12.)



**Figure12:** Variations spatio-temporelles des teneurs en Cuivre dans le sédiment superficiel.

Parmi les deux ETM recherchés dans le cadre de cette étude, les concentrations moyennes les plus élevées sont celles du Zinc ( $55 \mu\text{g/g}$  de ps), suivi du Cuivre ( $20 \mu\text{g/g}$  de ps). La station Levet de l'Aurore présente les taux les plus élevés en éléments métalliques étudiés, en comparaison avec ceux de la deuxième station (la Caroube).

Cet enrichissement en éléments métalliques est à mettre en relation avec les apports d'eaux usées des agglomérations environnantes qui se déversent dans la mer. En effet, le Fe, Zn, Cu et Pb sont des éléments métalliques caractéristiques d'une pollution de type urbain (Bennasseret *al.*, 2000 ; El Morhit et *al.*, 2008).

La forte présence de cuivre localisée au « lever de l'aurore » suggérerait que la source principale de cet élément est tellurique et serait liée à la géologie du sol de cette partie du littoral. Toutefois, il n'est pas exclu que cet enrichissement du sédiment soit lié aux rejets domestiques et industriels, à la proximité du port et de la réserve de carburant, soit à la circulation des bateaux...; la localisation particulière de cette zone pourrait jouer en faveur de cette accumulation de cuivre dans le sédiment du fait qu'elle jouisse d'un hydrodynamisme particulier.

La présence, également de zinc, essentiellement en zones périurbaines, aurait pour origine les nombreux émissaires d'eaux usées dont ces zones sont les réceptacles.

**CONCLUSION**

## Conclusion et perspectives

Les résultats du présent travail ont apporté des éléments de réponses aux principales questions posées au début de cette étude.

Les proportions de fractions fines entrant dans la composition du sédiment du Golfe seraient en relation d'une part avec les apports terrigènes et l'hydrodynamisme. La sédimentation de grains assez fins relativement importante dans les stations S1 (Levet de l'Aurore) et S2 (la Caroube) serait en relation avec la faible fréquence de perturbation.

La présence de proportions variables en MOT dans les deux stations semble avoir pour origine un apport continu de matière organique (eaux usées, travaux de terrassement,.....).

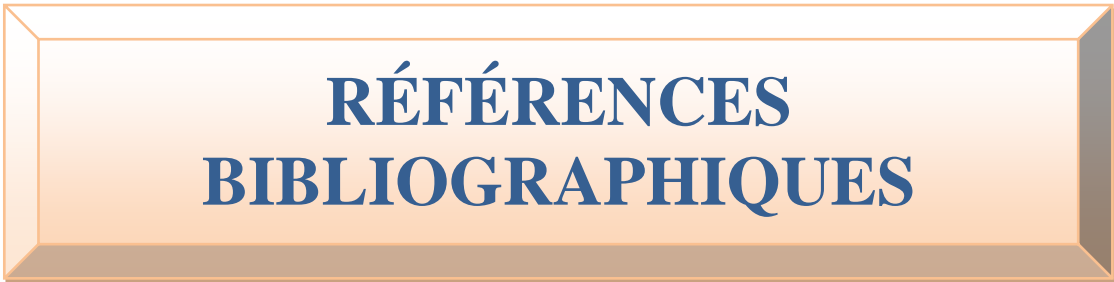
Cette alcalinité du sédiment superficiel du golfe relevée en périodes hivernale et printanière serait en relation avec une bonne activité biologique attribuée à une forte activité photosynthétique de macrophytes et de phytoplancton.

Dans les sédiments des stations d'échantillonnage, les ETM (Cuivre et Zinc) montrent les teneurs les plus élevées en hiver dans la station Levet de l'Aurore. Cette même station renferme plus de Zinc que de cuivre.

A l'avenir il serait judicieux de :

- Poursuivre cette recherche dans le temps c'est-à-dire les quatre saisons.
- Étaler les zones d'échantillonnage dans plusieurs points du golfe d'Annaba.

Rechercher et doser d'autres ETM (plomb, cadmium, Chrome, Nickel...) dans les sédiments superficiels mais aussi dans la colonne d'eau.



**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

### Références bibliographiques

- [1] Adjagodo A, Kelomè NC, Vissin EW, et al. Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal*, ESJ.2017;13.
- [2] Bougherira N, Hani A, Toumi F, et al. Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité des eaux de la plaine de la Meboudja (Algérie). *Hydrological Sciences Journal*. 2017;62:1290–1300.
- [3] N'guessan YM, Wango TE, Adopo KL, et al. Caractéristiques géochimiques des eaux de surface dans un environnement agricole: cas des bassins versants de la Gascogne (Région Midi Pyrénées, SW de la France)/[Geochemical characteristics of surface waters in an agricultural environment: Case of Gascogne catchments (Midi Pyrénées Region, SW France)]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*.2016;17:394.
- [4] Kpoda NW, Sorgho H, Poda J-N, et al. Endémie bilharzienne à Schistosomamansoni à la vallée du Kou : caractérisation du système de transmission et impact socioéconomique. *Comptes Rendus Biologies*.2013;336:284–288.
- [5] Mekhalif F. Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de Magister. Université de Skikda (Algérie), 2009, 139p.
- [6] Mekaoussi N. Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (est Algérien). Mémoire de Magister, Université de Batna (Algérie),2014, 126 p.
- [7] Lounnas A. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda. Mémoire de Magister, Université de Skikda (Algérie), 2009, 120p.
- [8] Taghzout F. Impact environnemental des rejets d'eau le long du littoral occidental Algérien. Mémoire de Magister. Université d'Oran (Algérie), 2015, 170p.
- [9] Metahri MS. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat. Université de tizi-Ouzou (Algérie), 2012, 172p.
- [10] Ivanowsky A. Ouvrages d'assainissement des eaux et qualité du milieu récepteur en zone urbaine. Cas de rejets dans la Marque à Villeneuve d'Ascq. Thèse de Doctorat. Université de Lille 1 (France), 2016, 229p.
- [11] Adjagodo A, Kelomè NC, Vissin EW, et al. Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes

Eaux Au Bénin. *European Scientific Journal*, ESJ.2017;13.

[12] Sy I, Traoré D, Diène AN, et al. Eau potable, assainissement et risque de maladies diarrhéiques dans la Communauté Urbaine de Nouakchott, Mauritanie. *Santé Publique*. 2017;29:741–750.

[13] Rouamba J, Nikiema E, Rouamba S, et al. Accès à l'eau potable et risques sanitaires en zone périphérique de Ouagadougou, Burkina Faso. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*.2016;64:S211.

[14] Some YSC, Soro TD, Ouedraogo S. Étude de la prévalence des maladies liées à l'eau et influences des facteurs environnementaux dans l'arrondissement de Nomgr-Masson: cas du quartier Tanghin (Ouagadougou-Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*.2014;8:289–303.

[15] Leynaud G. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique B.T.I. Ministère de l'agriculture. 1968.

[16] Johnson MF, Wilby RL. Seeing the landscape for the trees: metrics to guide riparian shade management in river catchments. *Water Resources Research*.2015;51:3754–3769.

[17] Nehme N. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani, Liban: approche environnementale. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France),2014, 359 p.

[18] Derwich E, Benaabidate L, Zian A, et al. Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal*. 2010Jun;101–112.

[19] Dufour P, Slepoukha M. l'Oxygène dissous en lagune Ebrié: influences de l'hydroclimat et des pollutions. Documents Scientifiques, Centre de Recherches Océanographiques, Abidjan.1975;6:75–118.

[20] Hull V, Parrella L, Falcucci M. Modelling dissolved oxygen dynamics in coastal lagoons. *Ecological Modelling*.2008;211:468–480.

[21] Diaz RJ. Overview of hypoxia around the world. *Journal of environmental quality*. 2001;30:275–281.

[22] Hayzoun H. Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou. Thèse de Doctorat. Université de Toulon (France), 2014, 175 p.

[23] Tessier L. Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine: identification de signatures naturelles et anthropiques. Thèse de Doctorat. Ecole

des Ponts Paris Tech (France), 2003, 349p.

[24] Dutordoir S. Bilan des flux de métaux, carbone organique et nutriments contenus dans une rivière alpine: part des rejets urbains de l'agglomération de Grenoble et apport amont (Isère et Drac). Thèse de Doctorat. Université de Grenoble (France), 2014, 383p.

[25] Rodier J, Legube B, Merlet N. L'analyse de l'eau. Paris: Dunod;2009.

[26] Mariotti A. Apports de la géochimie isotopique à la connaissance du cycle de l'azote. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie (France), 1982, 488p.

[27] Free Clipart: Cycle de l'azote | laurent [Internet]. [cited 2018 Oct 21]. Available from: <https://www.1001freedownloads.com/free-clipart/cycle-de-l-039-azote>.

[28] Burford MA, Costanzo SD, Dennison WC, et al. A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia. *Marine Pollution Bulletin*.2003;46:1456–1469.

[29] Billen G, Garnier J, Nemery J, et al. A long-term view of nutrient transfers through the Seine river continuum. *Science of the total Environment*.2007;375:80–97.

[30] Diab W. Etude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 2016, 214p.

[31] Viard G. L'agronome en action: mobiliser concepts et outils de l'agronomie dans une démarche agroécologique. Edition Ouae. 2006 Paris.2006.

[32] Larrose A. Quantification et spatialisation de la contamination en éléments traces métalliques du système fluvio-estuarien girondin. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux 1 (France), 2011, 400p.

[33] Coynel A, Blanc G, Marach A, et al. Assessment of metal contamination in a small mining and smelting affected watershed: high resolution monitoring coupled with spatial analysis by GIS. *Journal of Environmental monitoring*.2009;

[34] Devez A, Gomez E, Gilbin R, et al. Assessment of copper bioavailability and toxicity in vineyard runoff waters by DPASV and algal bioassay. *Journal of Total Environment*. 2005;

[35] Drever JI. *Surface and Ground Water, Weathering, and Soils: Treatise on Geochemistry*. Elsevier;2005.

[36] Kononova M. *Soil Organic Matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. 2nd english edition. Oxford: Pergamon;1966.

[37] Vouvé F, Cotrim da Cunha L, Serve L, et al. Spatio-temporal variations of fluorescence properties of dissolved organic matter along the River Têt (Pyrénées-Orientales, France). *Chemistry and Ecology*. 2009Dec;435–452.

- [38] Schnitzer M, Khan .U. Humic Substances in the Environment. Marcel Dekker, Inc. New York;1972.
- [39] Baigorri R, Fuentes M, González-Gaitano G, et al. Simultaneous Presence of Diverse Molecular Patterns in Humic Substances in Solution. *J. Phys. Chem. B.* 2007;111:10577–10582.
- [40] Hudson N, Baker A, Reynolds D. Fluorescence analysis of dissolved organic matter in natural, waste and polluted waters—a review. *River Research and Applications.* 2007;23:631–649.
- [41] Battin TJ, Kaplan LA, Findlay S, et al. Biophysical controls on organic carbon fluxes in fluvial networks. *Nature Geoscience.*2008;1:95.
- [42] Baker A, Inverarity R, Charlton M, et al. Detecting river pollution using fluorescence spectrophotometry: case studies from the Ouseburn, NE England. *Environmental Pollution.* 2003;124:57–70.
- [43] Baker A, Spencer RG. Characterization of dissolved organic matter drome source to sea using fluorescence and absorbance spectroscopy. *Sci. TotalEnviron.* 333.2004;217–232.
- [44] Carstea EM, Baker A, Pavelescu G, et al. Continuous fluorescence assessment of organic matter variability on the Bournbrook River, Birmingham, UK. *Hydrological Processes: An International Journal.* 2009;23:1937–1946.
- [45] Baker A. Fluorescence excitation- emission matrix characterization of some sewage-impacted rivers. *Environmental science & technology.*2001;35:948–953.
- [46] Hudson N, Baker A, Ward D, et al. Can fluorescence spectrometry be used as a surrogate for the biochemical oxygen demand (BOD) test in water quality assessment? An example from South West England. *Science of the total environment.*2008;391:149–158.
- [47] Décret exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006.Normes Algériennes pour les rejets industriels. *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique etPopulaire.*
- [48] Décret exécutif n°11-219 du 20 Rabie El Aouel 1432, correspondant au 12 avril 2011. Normes Algériennes de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations. *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.*
- [49] Arrêté interministériel du 8 safar, correspondant au 2 janvier 2012.Spécifications des Eaux Usées Epurées Utilisées à des Fins d'Irrigation. *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique etPopulaire.*

- [50] Articles R.1321-1 à R.1321-66 et annexes 13-1 à 13-3, correspondant au 25 décembre 2013. Normes françaises de l'eau destinée à la consommation humaine. 2013.
- [51] Négrel P, Rigollet C. Dynamique de l'eau, de l'érosion à la sédimentation. *Geosciences*. 2011;13:64–71.
- [52] Chapman P M, Wang F, Janssen C, et al. Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release bioavailability, risk assessment, and remediation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55.1998;2221–2243.
- [53] Bombardier M. Développement d'outils écotoxicologiques pour l'évaluation de sédiments. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 2007, 217p.
- [54] Strachan S. Trace elements. *Current Anaesthesia and Critical Care*. 2010;21:44–48.
- [55] Bourrelier P., Berthelin J. Contamination des sols par les éléments traces: les risques et leur gestion. Lavoisier, Paris. CR, Acc Sci, 42;1998.
- [56] Mouloubou OR. Développements spectroscopiques pour l'étude de la matière organique du sol dans des extraits liquides, avec étude de son impact sur le comportement des métaux: application à un sol agricole amendé par du compost. Thèse de Doctorat. Université Aix-Marseille (France), 2015, 246 p.
- [57] Singh O., Labana S, Pandey G, et al. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl Microbiol Biotechnol*. 61.2003;405–412.
- [58] Huynh TMD. Impact des métaux lourds sur l'interaction plante/ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat. Université de Paris Est (France), 2009, 170p.
- [59] Robert M, Juste C. Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. In club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement. Spéciation des métaux dans le sol. Paris: CRIN;1999.
- [60] Abdel-Mageed AB, Oehme FW. A review on biochemical roles, toxicity and interactions of zinc, copper and iron: IV. Interactions. *Veterinary and human toxicology*. 1990;32:456–458.
- [61] Zerahn B, Kofoed-Enevoldsen A, Jensen BV, et al. Pulmonary damage after modest exposure to zinc chloride smoke. *Respiratory medicine*. 1999;93:885–890.
- [62] De Burbure C, Buchet J-P, Leroyer A, et al. Renal and neurologic effects of cadmium, lead, mercury, and arsenic in children: evidence of early effects and multiple interactions at environmental exposure levels. *Environmental health perspectives*. 2005;114:584–590.
- [63] Keegan GM, Learmonth ID, Case C. A systematic comparison of the actual, potential, and theoretical health effects of cobalt and chromium exposures from industry and surgical implants. *Critical reviews in toxicology*. 2008;38:645–674.

- [64] Nishijo M, Nakagawa H, Morikawa Y, et al. Mortality of inhabitants in an area polluted by cadmium: 15 year follow up. *Occupational and environmental medicine*. 1995;52:181–184.
- [65] Hamzeh M. Dynamique, comportement et toxicité des éléments traces métalliques à l'interface eau-sédiment dans l'estuaire de la Seine. Thèse de Doctorat. Université de Lille 1 (France), 2012, 263p.
- [66] Stevenson J. *Humus chemistry: Genesis, composition, Reactions*. John Wiley and Sons (second edition), New York.1994.
- [67] Förstner U, Ahlf W, Calmano W. Studies on the transfer of heavy metals between sedimentary phases with a multi-chamber device: combined effects of salinity and redox variation.1989;
- [68] Bensefa-Colas L, Andujar P, Descatha A. Mercury poisoning. *Revue de Médecine Interne*.2011;32:416–24.
- [69] Deneux-Mustin S, Roussel-Debet S, Mustin C, et al. Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces: influence des micro-organismes du sol. *Tec and Doc*, Paris, 2003, 282p.
- [70] Calmano W, Hong J, Förstner U. Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water science and technology*. 1993;28:223–235.
- [71] Stephens SR, Alloway BJ, Parker A, et al. Changes in the leachability of metals from dredged canal sediments during drying and oxidation. *Environmental Pollution*. 2001;114:407–413.
- [72] Stumm W, Morgan JJ. *Aquatic chemistry; an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*.1970.
- [73] Canavan RW, Van Cappellen P, Zwolsman JJG, et al. Geochemistry of trace metals in a fresh water sediment: field results and diagenetic modeling. *Science of the total environment*.2007;381:263–279.
- [74] Audry S, Blanc G, Schäfer J. Solid state partitioning of trace metals in suspended particulate matter from a river system affected by smelting-waste drainage. *Science of the Total Environment*.2006;363:216–236.
- [75] Buffle M. *Complexation reactions in aquatic systems (an analytical approach)* Ellis Ltd.1998.
- [76] Desouza Sierra MM, Arend K, Fernandez AN, et al. Application of potentiometry to characterize acid and basic sites in humic substances: Testing the BEST7 program with a weak-acid mixture. *AnalyticaChmica Acta*.5445.2001;86–98.

- [77] Zhao H. Analyse de la matière organique et ses propriétés dans l'environnement naturel en spectroscopie de fluorescence 3D traitée par PARAFAC. Thèse de Doctorat. Université de Toulon (France), 2011, 164p.
- [78] Calvet R, Chenu C, Houot S. Les matières organiques des sols: rôles agronomiques et environnementaux. Editions France Agricole;2011.
- [79] Front Matter. Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. 1990;acsesspublicati:i–xvii.
- [80] Ni Nyoman R, Pandit B. ^Humicsubstances: structure, function, effects and applications. Asian journal of water, environment and pollution.5.2008;39–47.
- [81] Waksman S. Humus, origin chemical composition and importance in nature. London:Ballière, Tindall and Cox;1936.
- [82] Piccolo A. The supramolecular structure of humic substances. Soil Science.166. 2001;810–832.
- [83] Hassouna M. Développement et validation des méthodes spectroscopiques d'absorbance UV et de fluorescence appliquées à la caractérisation spatiotemporelle de la matière organique du sol extractible à l'eau (MOEE). Thèse de Doctorat. Université de Provence Aix-Marseille 1;2006.
- [84] Mendiguchía C, Moreno C, García-Vargas M. Evaluation of natural and anthropogenic influences on the Guadalquivir River (Spain) by dissolved heavy metals and nutrients. Chemosphere.2007;69:1509–1517.
- [85] Elewa HH. Potentialities of Water Resources Pollution of the Nile River Delta, Egypt. The Open Hydrology Journal.2010;1–13.
- [86] Hammou A. Caractéristiques de la fluorescence des eaux du fleuve côtier Tet (Pyrénées-Orientales) en relation avec la matière organique naturelle du bassin versant: utilisation de l'algorithme PARAFAC. Thèse de Doctorat. Université de Perpignan Via Domitia, 2012, 271p.
- [87] Hayzoun H, Garnier C, Durrieu G, et al. Organic carbon, and major and trace element dynamic and fate in a large river subjected to poorly-regulated urban and industrial pressures (Sebou River, Morocco). Science of the Total Environment.2015;502:296–308.
- [88] HachemiRachedi L, Amarchi H. Impact of Urban Waste Water Reject on the Quality of watercourses "case of Oued Meboudjaest of Algeria. Energie Procedia. 2012; 18:587-593.
- [89] Chaoui W, Bousnoubra H, Chaoui K. Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la region de Bouchegouf (nord-est Algérien). Nature et Technologie 8.2013;33–40.

- [90] Hamaidi MS. Preliminary study on physico-chemical parameters and phytoplankton of Chiffa River (Blida, Algeria). *Journal of Ecosystems*.2013;
- [91] Djemai M, Saibi H, Mesbah M, et al. Spatio-temporal evolution of the physico-chemical water characteristics of the Sebaou river valley (Great Kabylia, Algeria). *Journal of Hydrology*. 2017. 12:33-49.
- [92] Afri-Mehennaoui F-Z, SahliL, Mehennaoui S. Assessment of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. *Environmetrics*. 2004;15:435–446.
- [93] Dali-Youcef N, Ouddane B, Derriche Z. Adsorption of zinc on natural sediment of Tafna River (Algeria). *Journal of hazardous materials*.2006;137:1263–1270.
- [94] Sifi K, Chouahda S, Soltani N. Biosurveillance de l’environnement par la mesure de biomarqueurs chez *Donax trunculus* dans le golfe d’Annaba (Algérie). *Mésogée*. 2007;63:11-18.