

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur en Science de la Mer

Option : Environnement

Thème :

Éléments traces métalliques dans le sédiment marin de la Baie de Zemmouri  
(Cas de l'embouchure de l'Oued Sebaou)

*Présenté par :*

- **ABDELLALI Imene**

Soutenu le 15 / 07 /2018 devant le jury composé de :

<b>M.LOURGUIOUI.</b>	<b>(Maitre Assistant. A)</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Président</b>
<b>M. BEHALIMA M.</b>	<b>(Doctorant )</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. INAL A.</b>	<b>(Attaché de recherche)</b>	<b>C.N.R.D.P.A</b>	<b>Examineur</b>
<b>M.AROUA M.</b>	<b>(Doctorant)</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Co-promoteur</b>
<b>M.BOULAHIDID M.</b>	<b>(Professeur)</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>

**Promotion : 2017-2018**

## Remerciements

*« Je remercie Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience pour accomplir ce modeste travail ».*

*Un grand merci à ma famille qui mon toujours soutenu et encouragé.*

*Je remercie chaleureusement M. BOULLAHIDID Mostafa et M. AROUA Mohamed d'avoir accepté de m'encadrer et initier à la recherche. Je les remercie vivement pour ces précieux conseils, ces aimables encouragements et sa cordiale confiance qui m'a permis de réaliser et mener à bien ce travail, et pour toute l'aide qu'ils m'ont fourni.*

*Je remercie vivement M. LOURGUIOU Hichem qui m'a fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de ma vive gratitude et de mon sincère respects.*

*J'exprime ma gratitude et mon vif remercie à M. BENHALIMA Mostafa pour l'honneur d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*J'adresse également mon sincère remercie à M. INAL Ahmed d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

*Je remercie aussi M. BOUDJELLAL et M<sup>me</sup>. ONADI F, ingénieurs au laboratoire à la station de Sidi Fredj, pour leurs aides et conseils.*

*Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation.*

*J'exprime ma profonde reconnaissance à l'ensemble du personnel de l'ENSSMAL et aux employés de la bibliothèque, qui m'ont permis de réaliser cette étude dans les meilleures conditions et dans une bonne ambiance.*

*J'adresse aussi de remercie tous mes amis, tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous ceux qui m'ont encouragé et à tous ceux qui m'ont accordé leur confiance.*

**ABDELLALI Imane**

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux que j'aime mais surtout :*

*Aux êtres les plus chers sur cette terre : ma mère et mon père à qui je dois un grand respect et amour que Dieu tout puissant les bénissent et me les gardes en parfaite santé ;*

*Aux âmes nobles de ma grand-mère et mon grand-père , que Dieu leurs soit clément ;*

♣ *A mes chers frères « Lotfi, Amine, Oussama »* ♣

*En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments « que Dieu vous protège »*

♣ *A mes chers petits frères « Tarek et Youcef »* ♣

*Qui entourent ma vie de joie, je vous souhaite un avenir plein de bonheur et de réussite « que Dieu vous protège »*

♣ *A tout ma famille* ♣

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux*

♣ *A tous mes amis (et amies) sans exception* ♣

*Que j'ai rencontré dans ma vie*

♣ *enfin* ♣

*A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagées avec nous tous les bons moments de notre existence. Ces personnes qui nous ont aidées sans le leur dire, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur, à qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.*

♣♣♣ *A tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce mémoire.* ♣♣♣

*ABDELALI Imane*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b>	Concentration en ( $\mu\text{g/g}$ ) de quelques ETM étudiés dans la croute terrestre (Alloway et Ayres, 1997).....	7
<b>Tableau 2 :</b>	Sources des ETM étudiés dans l'environnement (Dean et al,1972 ; Martin et al ,1979 ; Ross,1994 ; Baize,1997 ; Meybeck et al,2007).....	7
<b>Tableau 3 :</b>	Eléments et masse atomique et volumique relatives des ETM étudiés (Rodier, 1996).....	8
<b>Tableau 4 :</b>	Caractères d'essentialité et de toxicité de quelques éléments traces (Diana Katerine,2009).....	9
<b>Tableau 5 :</b>	Principaux effets associés aux éléments métalliques étudiés (Sparks, 1998).....	10
<b>Tableau 6 :</b>	Classement des sédiments en fonction de leur taille granulométrique (Chamley, 1987).....	15
<b>Tableau 7 :</b>	Caractéristiques des sous bassins versants de l'Oued Sebaou(Ballah,2014 ; et ANRH de Tizi-Ouzou).....	22
<b>Tableau 8 :</b>	Précipitations annuelles moyennes en mm (données obtenues auprès ANRH de Tizi-Ouzou).....	24
<b>Tableau 9 :</b>	Températures moyennes mensuelles en $^{\circ}\text{C}$ (maximales, minimales, moyennes) enregistrées (Période 1989 – 2009, Source O.N.M de Tizi-Ouzou).....	24
<b>Tableau 10 :</b>	Le débit annuel des deux stations hydrométriques Baghlia et Belloua (période 1987-1999 ; source ANRH Tizi-Ouzou).....	24
<b>Tableau 11 :</b>	: Industries au niveau de la zone d'étude ( source : direction des mines industries de Tizi-Ouzou et de Boumerdes ; 2018).....	28
<b>Tableau 12 :</b>	Présentation du matériels de la sortie en mer.....	38
<b>Tableau 13 :</b>	Interprétation de l'état de pollution par I.C (A.B.R.M.C ;1988) .....	39
<b>Tableau 14 :</b>	Classification d'Andrew et Sutherland (2004) .....	39
<b>Tableau 15 :</b>	Classification de (Müller,1981) .....	39
<b>Tableau 16 :</b>	Les valeurs guides de l'indice de contamination (IC) de chaque métal (A.B.R.M.C ;1988).....	42
<b>Tableau 17 :</b>	Les valeurs moyennes et extrêmes de la matière organique et des teneurs en métaux traces dans la carotte sédimentaire.....	51
<b>Tableau 18 :</b>	Corrélation inter-éléments dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	53
<b>Tableau 19 :</b>	Corrélation éléments traces-MO dans la carotte de Sebaou.....	53
<b>Tableau 20 :</b>	Résultats des indices de contamination métallique dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	54
<b>Tableau 21 :</b>	Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises (Alzieu et al, 1999) ( $\mu\text{g/g}$ ) ...	54
<b>Tableau 22 :</b>	Abondance en mg/kg des éléments métalliques dans la croute terrestre.....	55
<b>Tableau 23 :</b>	Classes de Igeo et degré de contamination du sédiment étudié.....	55

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b>	Classification périodique des éléments métalliques analysés.....	6
<b>Figure 2 :</b>	Présentation du cycle géologique pouvant expliquer l'origine des sédiments ( <b>Boulvain , 2007</b> ).....	12
<b>Figure 3 :</b>	Représentation imagée des différentes fractions constitutives d'un sédiment adapté de ( <b>Rusch, 2010</b> ) .....	13
<b>Figure 4 :</b>	Situation géographique de l'embouchure de l'Oued Sebaou (google earth, 2018).....	20
<b>Figure 5 :</b>	Situation et limitation de la zone d'étude ( google earth,2018 ; Arcgis).....	21
<b>Figure 6 :</b>	Situation du bassin versant de l'Oued Sebaou (source : ANRH de Tizi-Ouzou).....	23
<b>Figure 7 :</b>	Carte de situation des sous bassins versants de l'Oued Sebaou (source : ANRH de Tizi-Ouzou).....	23
<b>Figure 8 :</b>	Carte de situation des station hydrographiques, pluviographes et les barrages (source : <b>ANRH de Soumaa, 2018</b> ) .....	26
<b>Figure 9 :</b>	Carte de station de prélèvement.....	31
<b>Figure10 :</b>	Images correspondantes au carottier utilisé.....	32
<b>Figure11 :</b>	Schéma de conditionnement du matériel.....	33
<b>Figure12 :</b>	Profil de la matière organique dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	44
<b>Figure13 :</b>	Profil du cuivre dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	45
<b>Figure14 :</b>	Profil du zinc dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	46
<b>Figure15 :</b>	Profil du fer dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	47
<b>Figure16 :</b>	Profil du manganèse dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	48
<b>Figure17 :</b>	Profils des quatre éléments métalliques dans la carotte sédimentaire de Sebaou.....	49
<b>Figure18 :</b>	Corrélations négatives de Zn -Cu, Zn-Fe, Mn-Cu, Fe-Cu dans la carotte de Sebaou.....	50
<b>Figure19 :</b>	Corrélations non significatives Mn-Fe, Zn-Mn dans la carotte de Sebaou..	51
<b>Figure20 :</b>	Corrélation négative Fe-MO et Zn-MO dans la carotte de Sebaou.....	52
<b>Figure21 :</b>	Corrélations non-significatives Mn-MO et Cu-MO.....	52

## LISTE DES EQUATIONS

<b>1 :</b>	Loi de Beer-Lambert.....	36
<b>2 :</b>	Densité optique.....	36
<b>3 :</b>	Taux d'humidité .....	37
<b>4 :</b>	Poids du sédiment .....	37
<b>5 :</b>	Concentration au niveau du sédiment.....	37
<b>6 :</b>	Indice de contamination métallique.....	38
<b>7 :</b>	Facteur d'enrichissement.....	38
<b>8 :</b>	L'Indice de Géo-accumulation (I-géo).....	39
<b>9 :</b>	Taux de la matière organique.....	40

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**A.B.R.M.C** : l'Agence du Bassin Rhône-Méditerranée-Corse

**Cu** : Cuivre

**Eh** : Potentiel d'oxydo-réduction.

**ETM** : Elément Trace Métallique

**Fe** : Fer

**HCl** : Acide chlorhydrique.

**HNO<sub>3</sub>** : Acide nitrique.

**IC** : Indice de Contamination

**I-géo** : Indice de Géo-accumulation

**Mn** : manganèse

**M.O** : Matière Organique

**S.A.A** : Spectrophotomètre d'Absorption Atomique.

**Zn** : Zinc

## Sommaire

<b>Remerciements</b> .....	i
<b>Dédicace</b> .....	ii
<b>Liste des Tableaux</b> .....	iii
<b>Liste des Figures</b> .....	iv
<b>Listes des équations</b> .....	v
<b>Listes des Abréviations</b> .....	vi
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre 1 : synthèses bibliographiques</b>	
<b>I. Éléments traces métalliques</b> .....	5
1. Généralités sur les métaux lourds .....	5
2. Notion des éléments traces métalliques.....	5
2.1. Classification des ETM .....	5
2.2. Origine des éléments traces métalliques.....	6
2.2.1. Origine naturelle .....	6
2.2.2. Origine anthropique .....	7
3. Les caractéristiques des éléments traces étudiés .....	8
3.1. Le zinc ( $_{30}\text{Zn}$ ).....	8
3.2. Le cuivre ( $_{29}\text{Cu}$ ) .....	8
3.3. Le fer ( $_{26}\text{Fe}$ ) .....	8
3.4. Le manganèse ( $_{25}\text{Mn}$ ) .....	8
4. La toxicité des éléments métalliques .....	9
5. Le comportement des éléments traces métalliques dans le sédiment.....	10
5.1. Spéciation .....	10
5.2. Mobilité .....	10
5.3. Biodisponibilité .....	11
6. Cycle biogéochimique des métaux.....	11
6.1. Précipitations .....	11

6.2. Absorption et adsorption .....	11
6.3. Sédimentation .....	11
<b>II. Les sédiments .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Définition .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Origine des sédiments .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Composition des sédiments .....</b>	<b>13</b>
3.1. La phase minérale.....	13
3.1.1. Les silicates primaires.....	13
3.1.2 Les argiles.....	13
3.1.3. Les oxydes et hydroxydes.....	14
3.1.4. Les carbonates.....	14
3.1.5. Les sulfures et les sulfates.....	14
3.2. La phase organique.....	14
3.2.1. La matière organique.....	14
3.3. La phase aqueuse .....	14
<b>4. Granulométrie des sédiments .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Sédiments et contaminants .....</b>	<b>15</b>
<b>6. Les caractéristiques des sédiments .....</b>	<b>15</b>
6.1. Le pH.....	16
6.2. Le potentiel redox.....	16
<b>7. Diagenèse et diagenèse précoce.....</b>	<b>16</b>
7.1. La Diagenèse .....	16
7.2. Diagenèse précoce.....	17
7.3. Diagenèse tardive.....	17

## **Chapitre 2 : présentation de la zone d'étude**

<b>1.Situation et présentation de la zone d'étude</b> .....	20
1.1. Situation géographiques de la région.....	20
1.2 Présentation de la zone d'étude.....	21
1.2.1. Le bassin versant de l'oued Sebaou.....	21
1.2.2. Limites du bassin versant .....	22
1.2.3. Les sous bassins versant de l'oued Sebaou .....	22
1.2.4. Géologie du bassin .....	23
<b>2. Les paramètres hydroclimatiques</b> .....	24
2.1. Pluviométrie .....	24
2.2. La température .....	24
2.3. Le débit.....	25
<b>3. Couvert végétal</b> .....	26
<b>4. Situation socio-économique de la région d' étude</b> .....	27
4.1. Potentiels humains.....	27
4.2. Activité extractive .....	27
4.3. Infrastructures hydrauliques.....	27
4.4. Agriculture.....	27

## **Chapitre 3 : Matériels et Méthodes**

<b>Echantillonnage</b> .....	30
<b>1.Travaux effectués en mer</b> .....	30
1.1. préparation du matériels de la sortie en mer.....	30
1.2. Prélèvement des carottes sédimentaires .....	30
1.3. Traitement des carottes sédimentaires .....	32
<b>2.Travaux effectués au laboratoire</b> .....	32
<b>2.1.Nettoyage du matériels</b> : .....	33
<b>2.2.Traitement des échantillons</b> .....	33
2.2.1 Lyophilisation .....	33
2.2.1. Broyage des échantillons .....	33

<b>2.3. Minéralisation ou digestion des échantillons de sédiments pour l'extraction des éléments traces métalliques</b> .....	34
2.3.1. Préparation de l'eau régale pour l'extraction des échantillons ( aqua regia) .....	34
2.3.2. Principe de la digestion ou de la minéralisation .....	34
2.3.3. La minéralisation à blanc .....	34
2.3.4. Minéralisation de l'échantillon.....	34
<b>2.4. Dosage des éléments traces métalliques par la Spectroscopie d'absorption atomique.....</b>	<b>35</b>
2.4.1. Principe.....	35
2.4.2. La spectrométrie d'absorption atomique.....	35
2.4.3. Lecture par SAA.....	35
2.4.4. .Loi de Beer-Lambert.....	36
<b>2.5. Appareillage.....</b>	<b>36</b>
<b>2.6. Etalonnage.....</b>	<b>36</b>
<b>2.7. Calcul des concentrations .....</b>	<b>37</b>
2.7.1. Calcul du poids corrigé de l'échantillon.....	37
2.7.1.1. Calcule le taux d'humidité.....	37
2.7.1.2. Correction du poids du sédiment.....	37
2.7.2. Détermination de la concentration au niveau du sédiment .....	37
<b>3. Evaluation du niveau de la pollution.....</b>	<b>37</b>
3.1. Indice de contamination métallique.....	37
3.2. Définition et calcule du facteur d'enrichissement (EF).....	38
3.3. L'Indice de Géo-accumulation (I-géo).....	39
<b>4.La matière organique (MO).....</b>	<b>40</b>
4.1.Mode opératoire .....	40

## **Chapitre 4 : Résultats et Discussion**

<b>1.Présentation des profils des métaux traces dans la carotte.....</b>	<b>42</b>
<b>1.1. Analyse paramétrique.....</b>	<b>42</b>
1.1.1. Le taux de la matière organique.....	42
1.1.2. Les concentrations des métaux traces.....	42

1.1.2.1. Le cuivre.....	42
1.1.2.2. Le zinc.....	43
1.1.2.3. Le manganèse.....	43
1.1.2.4. Le fer.....	43
<b>1.2. Distribution verticale .....</b>	<b>43</b>
1.2.1. La distribution verticale du taux de la matière organique.....	43
1.2.2. La distribution verticales des concentrations des éléments traces métalliques.....	45
1.2.2.1. Profil du cuivre .....	45
1.2.2.2. Profil du zinc.....	45
1.2.2.3. Profil du fer.....	46
1.2.2.4. Profil du manganèse.....	47
1.2.2.5. Profils des quatre éléments étudiés de la carotte.....	48
<b>2. Corrélation inter-métaux dans la carotte sédimentaire .....</b>	<b>49</b>
2.1. Discussion.....	49
<b>3. Corrélation éléments traces-matière organique dans la carotte sédimentaire .....</b>	<b>51</b>
<b>4. Calcule des indices de contamination .....</b>	<b>53</b>
4.1. Comparaison des résultats avec les valeurs guides .....	53
<b>5. L'apport anthropique et indice de géo-accumulation ( Igéo) .....</b>	<b>54</b>
5.1. Valeur de fond .....	54
5.2. Indice de géo-accumulation ( Igéo).....	54
5.3. Facteur d'enrichissement .....	55
<b>6. Comparaison des concentrations des éléments métalliques de la carotte prélevé avec celles de certains régions de la cote Algérienne .....</b>	<b>55</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>57</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>59</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>67</b>



**Introduction**

## **Introduction**

Les écosystèmes estuariens et côtiers sont des milieux de plus en plus affectés par les activités humaines. 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. De plus les rejets urbains et l'utilisation de la mer comme dépotoir peuvent mener à de hauts niveaux de pollution dans les écosystèmes marins, côtiers et estuariens.

Ce développement de l'activité humaine et industrielle s'est longtemps poursuivi au détriment des cours d'eau en considérant qu'ils pouvaient supporter tous les rejets industriels et/ ou urbains de manière illimitée. Ce mode de gestion de l'eau a eu pour conséquence une accumulation de contaminants dans les sédiments et dans les organismes marins dont le transport le long de la chaîne alimentaire représente un danger potentiel pour la santé humaine.

Parmi ces polluants, les éléments traces métalliques (ETM) représentent un groupe dangereux pour le milieu aquatique à cause de leur rémanence, leur toxicité et leur tendance à la bioaccumulation.

L'étude des éléments traces métalliques dans les sédiments est une contribution à la détermination, à la compréhension et à la prévision de la pollution métallique. Cette contribution est d'autant plus importante que ce compartiment peut aussi bien, selon sa nature et ses conditions environnantes, jouer le rôle de réservoir en cas d'apport massif, que le rôle de source polluante si les conditions de relargage se montrent favorables.

Les sédiments, réservoirs des éléments traces métalliques, forment une partie intégrale dans le cycle de ces éléments. Les teneurs en éléments traces métalliques des sédiments varient dans le même sens que celles de la roche mère qui représente la source et la réserve. Ces teneurs dépendent également de l'influence de plusieurs processus intervenant dans la diagenèse des sédiments. Par conséquent, la distribution, la solubilité et le mouvement de ces éléments restent liés aux propriétés physico-chimiques des sédiments. Dans les systèmes aquatiques, les sédiments sont étudiés pour leur rôle d'indicateur de contamination du milieu, à cause de leur pouvoir de fixation des polluants. Selon Calmano et al., (1994), plus de 90% des éléments traces métalliques rejetés dans ces écosystèmes sont piégés dans la matrice sédimentaire. Si les sédiments peuvent être considérés comme des pièges pour les éléments traces métalliques (ETM) ; ils représentent également une source potentielle de pollution.

Ces polluants piégés dans les sédiments et les matières organiques, sous certaines conditions, peuvent relargués dans la colonne d'eau et exercer des effets délétères sur la faune aquatique, les ressources halieutiques mais également sur les êtres humains. Dès lors, il est devenu indispensable d'évaluer la qualité de ces milieux aquatiques.

Dans ce sens ; on a mené une étude qui consiste à détecter la présence de polluants et évaluer leurs concentrations et déterminer le potentiel toxique des sédiments.

Le présent travail s'inscrit d'une estimation de taux de contamination et la compréhension de l'évolution de la pollution chimique par les éléments traces métallique dans la zone de l'Oued Sebaou en fonction de la profondeur du sédiment prélevé.

Dans ce travail on s'est focalisé sur les éléments suivants : le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn). Aussi que la détermination de taux de la matière organique.

En vue de l'augmentation incessante de la pollution métallique dans les couches sédimentaires profondes, l'objectif de ce travail est de mettre en évidence l'évolution de cette pollution métallique dans le sédiment profond, et la détermination des concentrations des éléments traces métalliques dans ces mêmes couches.

En s'est intéressé également à la distribution verticale de la matière organique et son influence sur le taux des éléments traces métalliques dans les couches sédimentaire profond.

A travers les différentes analyses effectuer, l'établissement d'une corrélation entre les éléments traces métalliques figure parmi nos objectifs.

En fin, pour déterminer le degré de la contamination de notre zone d'étude, il est évident de calculer indice de contamination (IC) ainsi l'indice de géo-accumulation (Igeo).



## I. Éléments traces métalliques

### 1. Généralités sur les métaux lourds

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser. D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

➤ **Définition 1**

- tout métal ayant une densité supérieure à  $5\text{g/cm}^3$ ,
- tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ( $Z=11$ ),
- tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques. Certains chercheurs utilisent des définitions plus spécifiques encore. Le géologue par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec la pyrimidine (**Miquel, 2001**).

➤ **Définition 2**

Ce terme désigne tout métal ou métalloïde qui a une masse volumique supérieure ou égale à  $4.5\text{g.cm}^{-3}$ , et qui présente des risques de toxicité pour les organismes vivants. Cependant cette définition englobe un nombre important d'éléments chimiques ( $N=65$ ) et n'a pas de réel fondement scientifique, ni juridique. (Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance (1979, ONU/CEE)).

### 2. Notion des éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques (ETM) présentent généralement une concentration inférieure à 0.1 %. Ils représentent ensemble seulement 0.6% du total de la croûte terrestre alors que les 12 éléments majeurs (Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, Ti, P, Mn, S et Ba) interviennent pour 99.4% (**Alloway 1995; Baize 1997**).

Ces éléments sont engagés dans des réactions biochimiques et contribuent à l'équilibre du milieu marin.

Les ETM ne sont pas biodégradables et peuvent se répandre dans tous les compartiments environnementaux.

A l'état de trace, certains métaux sont essentiels aux organismes vivants mais ils deviennent toxiques si leur concentration augmente. Les métaux les plus dangereux pour la santé retrouvée de manière significative dans les sédiments sont les suivants : le mercure, le cadmium, le plomb, le nickel (**Haynes et Johnson, 2000**). Bien que présents à l'état de trace dans le milieu naturel (constitution de la roche), leurs quantités ont augmenté avec les activités industrielles et urbaines, participant à la toxicité du milieu (**Mulligan et al., 2001**).

#### 2.1. Classification des ETM

Dans les écosystèmes, les ETM (métaux et métalloïdes) peuvent être classés en 3 catégories en fonction de leurs effets et de leurs réactions avec les composantes organiques et minérales du sédiment :

- a-** Les éléments « essentiels » ou « Oligo – élément » réunit tous les éléments présents à l'état de trace mais indispensables à la vie des organismes et qui possèdent un rôle primordial pour le développement des végétaux et pour une bonne reproduction des organismes vivants, exemples : (Cu, Zn, Co, Fe, Mn, Ni, V, Mo, Se, Sn).

- b- Les éléments « non essentiels » qui sont toxiques à certaines concentrations et regroupe tous les éléments inutiles à la vie des organismes vivants dans les milieux aquatiques, ces éléments sont des micropolluants. Ils entraînent des nuisances même s'ils sont rejetés en quantités très faibles, à cause de l'existence du phénomène de bioaccumulation, exemple :( Pb, Cd, Hg, Ag).
- c- Les éléments « indifférents » qui ont un effet ni bénéfique ni indésirable.

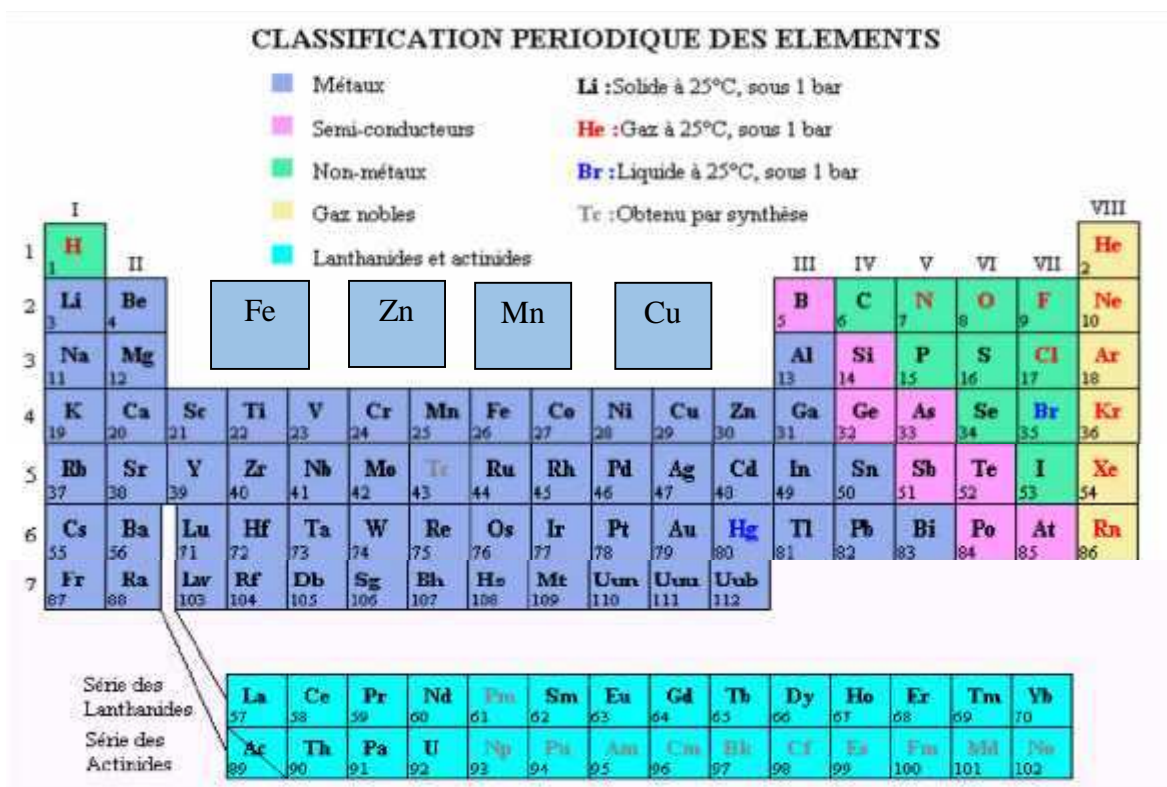


Figure 1 : Classification périodique des éléments métalliques analysés

## 2.2. Origines des éléments traces métalliques

### 2.2.1. Origine naturelle

Lors de l'altération de la roche mère (roches magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires) par l'altération des minéraux primaires et secondaires comme les argiles, oxydes et carbonates, de faibles concentrations d'ETM se libèrent et se répartissent dans le sol.

Ces faibles concentrations en ETM constituent le fond géochimique (< 110 ppm dans les sols) (Sigg et al,1992) (tableau 2), ainsi dans la croûte terrestre, ces éléments sont normalement présents à des faibles teneurs, chacun n'excédant pas 0.1% de la composition totale de celle-ci (Alloways et Ayres,1997 ; Callender, 2003).

Le fond géochimique est essentiel pour évaluer la contamination en ETM en tenir compte de concentrations anormalement élevées par rapport au fond géochimique (Alloway et Ayres, 1997).

Les importantes sources naturelles des ETM sont l'activité volcanique, l'altération des continents, les incendies de forêts, l'érosion éolienne et les embruns marins (Rocher,2003).

**Tableau 1** : concentration en ( $\mu\text{g/g}$ ) de quelques ETM étudiés dans la croûte terrestre (Alloway et Ayres, 1997).

Eléments traces métalliques	Croute terrestre
Zn	0.1
Cu	20
Mn	50
Fe	75

### 2.2.2. Origine anthropique

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes.

Les sources anthropogènes sont les suivantes :

- .. Activités pétrochimiques ;
- .. Utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment) ;
- .. Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations) ;
- .. Incinération de déchets ;
- .. Produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents) ;
- .. Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères), agricoles.

**Tableau 2** : Sources des ETM étudiés dans l'environnement (Martin et al, 1979 ; Ross, 1994 ; Baize, 1997).

<b>1- Les mines et les fonderies de métaux :</b>
✓ Industrie du fer et de l'acier ( Cu ).
✓ Traitement des eaux ( Zn, Cu).
<b>2- Les industries :</b>
✓ Textiles (Zn).
✓ Microélectronique (Cu).
✓ Traitement du bois ( Cu )
<b>3- Les retombées atmosphériques :</b>
✓ Sources urbaines /industrielles, dont incinérateurs et élimination des déchets (Cu)
✓ Industrie pyro-métallurgiques (Cu , Mn, Zn )
✓ Combustion des carburants fossiles (dont les centrales énergétiques) ( Zn)
<b>4- L'agriculture :</b>
✓ Engrais ( exp : Mn et Zn dans certains engrais phosphatés)
✓ Lisiers ( exp : Cu dans les lisiers de porcs et de volailles , Mn et Zn dans certains lisiers de ferme)
✓ Corrosion des métaux ( Fe, Zn)
<b>5- Les dépôts de déchets sur les sols :</b>
✓ Boues d'épuration (Cd, Cr, Cu, Mn , Ni, Pb, Zn)
✓ Percolât des décharges (Fe)
✓ Tas de ferrailles (Cu, Zn)
✓ Feux , cendres, ...etc.( Cu )

### 3. Les caractéristiques des éléments traces étudiés

**Tableau 3 :** Eléments et masse atomique et volumique relatives des ETM étudiés (Rodier, 1996).

Éléments	Symbole	Année de découverte	Numéro Atomique (Z)	Masse molaire (g/mol)	Masse Volumique (g / cm <sup>3</sup> )
Cuivre	Cu	1817	29	63.54	8.96
Fer	Fe	1817	26	55.847	7.87
Zinc	Zn	16 <sup>ème</sup> siècle	30	65.38	7.133
Manganèse	Mn	1774	25	54.94	7.43

#### 3.1. Le zinc (<sup>30</sup>Zn )

Dans le sol, le Zn est sous les formes chimiques suivantes : Zn<sup>2+</sup>, ZnSO<sub>4</sub>, ZnHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>, ZnCO<sub>3</sub>, ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, Zn<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

Le Zn est fortement phytodisponible.

Le Zn est peu toxique pour l'homme et ses dangers résultent plutôt d'une déficience.

#### 3.2. Le cuivre ( <sup>29</sup>Cu )

Le Cu est un des éléments les plus essentiels pour les plantes et les animaux. En effet l'organisme ne peut croître complètement en son absence. Il ne peut être remplacé par un autre élément, il a une influence directe sur l'organisme et le bon fonctionnement de son métabolisme.

Le cuivre est considéré comme l'élément le plus mobile des métaux lourds.

Les formes chimiques du Cu présentent dans le sol sont :

Cu<sup>2+</sup> ; CuOH<sup>+</sup>; Cu(OH)<sub>2</sub>; CuO ; CuCO<sub>3</sub> ; CuO<sup>2-</sup> ; Cu-O-Fe; Cu-O-Al ; Cu-O-Mn.

Dans le sol, le cuivre est bien réparti le long du profil et se fixe préférentiellement sur la matière organique (25 à 50 %), 98% du Cu soluble dans le sol se trouvent complexés à la matière organique, les oxydes de fer, de manganèse et les argiles. La répartition cuivre entre ces différentes fractions en fonction du pH, de la quantité et de la composition de la matière organique d'une part, et des colloïdes minéraux d'autre part.

#### 3.3. Le fer ( <sup>26</sup>Fe )

Dans des conditions aérobies, Fe<sup>2+</sup> est libéré et il s'oxyde en Fe<sup>3+</sup> et précipite sous forme d'oxydes insolubles. Dans le sédiment, le fer présente une grande affinité pour les complexes organiques mobiles et les chélates. Ces composés interviennent dans la migration du fer dans les horizons du sol. Le fer est assez mobile dans les sols acides et ennoyés régulièrement (sous forme réduite Fe<sup>2+</sup>).

#### 3.4. Le manganèse (<sup>25</sup>Mn)

La plus grande partie du manganèse du sol se trouve sous forme d'oxydes en équilibre avec les ions Mn<sup>2+</sup> adsorbés sur le complexe argilo-humique ou présents, à des concentrations de

$10^{-6}$  à  $10^{-4}$ M dans la solution du sol. La mobilité du manganèse est très dépendante du pH mais aussi des conditions redox du milieu :

- À pH inférieur à 6,5 ( $\text{pH} < 6,5$ ) : les formes les moins oxydées dominent, ce sont elles qui libèrent le plus facilement  $\text{Mn}^{2+}$ , forme sous laquelle s'effectue préférentiellement le transfert de manganèse.
- Au-delà de  $\text{pH} = 7$  : la prédominance des oxydes tri et tétravalents, extrêmement peu soluble limite considérablement la mobilité de cet ETM.
- Contrairement à beaucoup d'autres ETM, l'aptitude du manganèse à la complexation par des substances organiques est peu marquée, de sorte que l'essentiel des transferts s'effectue sous forme d'ions  $\text{Mn}^{2+}$  libres.

#### 4. La toxicités des éléments métalliques

Les éléments traces métalliques sont particulièrement toxiques pour l'environnement et l'homme.

Certains d'entre eux n'ont pas une fonction biologique essentielle (ex : cadmium, plomb) , alors que d'autres (ex : cuivre, zinc, fer,) présentant une double propriété (**tableau 5**), sont indispensables à faibles concentrations pour le déroulement des processus biologiques, mais ils peuvent également s'avérer toxiques pour diverses formes de vie dès que leur concentration dans l'organisme dépasse un seuil variable qui va dépendre de la nature de l'élément et du tissu de l'organisme considéré. Les ETM peuvent pénétrer dans le corps humain par inhalation, ingestion ou exposition cutanée. Ils sont responsables de bon nombre de maladie (**tableau 6**) (**Diana Katerine,2009**).

**Tableau 4** : Caractères d'essentialité et de toxicité de quelques éléments traces. FC : faible concentration. (**Diana Katerine,2009**).

Elément	Symbol	Indispensable Fc			Toxique Fc		
		Plantes	animaux	hommes	Plantes	animaux	hommes
<b>Cuivre</b>	<b>Cu</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
<b>Fer</b>	<b>Fe</b>	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui
<b>Zinc</b>	<b>Zn</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
<b>Manganèse</b>	<b>Mn</b>	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non

**Tableau 5** : Principaux effets associés aux éléments métalliques étudiés (**Sparks, 1998**).

Elément	Effet
<b>Zn</b>	Lésions cutanées très graves ; effet toxique les micro-organismes (réduisant leur capacité de dégradation des débris végétaux et de fixation de l'azote atmosphérique)
<b>Cu</b>	Retards de croissance chez le phytoplancton
<b>Fe</b>	Troubles digestifs, amélioration clinique transitoire, toxicité systémique avec choc, acidose métabolique, coma, toxicité hépatique avec coagulopathie, séquelles digestives à type de sténose.
<b>Mn</b>	Syndromes pulmonaires : pneumonie au Manganèse ou intoxication aiguë par ingestion ; réduction du quotient intellectuel (QI) des enfants

## 5. Le comportement des éléments traces métalliques dans le sédiment

Les ETM sont présents sous différentes formes chimiques et sont liés à différents constituants du sédiment. Ils peuvent changer de forme (plus ou moins solubles) ou migrer vers d'autres constituants du sol ou vers la phase liquide selon les conditions physico-chimiques. Ces changements rendent les ETM plus ou moins mobiles dans les sols et plus ou moins disponibles pour la biosphère (**Bashar Hussein QASIM, 2015**).

### 5.1. Spéciation

Le terme de spéciation a été utilisé dans la chimie des sols et de sédiments et désigne la forme chimique et structurale sous laquelle se trouve un élément métallique. La spéciation a été définie comme étant la détermination d'une forme spécifique (monoatomique ou moléculaire) ou bien la configuration selon laquelle un élément peut être présent dans un groupe d'atomes correspondant à différentes matrices.

### 5.2. Mobilité

La mobilité d'un élément est caractérisée par son aptitude à passer dans les compartiments du sol où il est de moins en moins énergiquement retenu.

Les ETM sont associés aux constituants du sol qui contrôlent leur mobilité. Ils peuvent être (**Baize 1997**):

- ) Adsorbés sur les phases hydroxyde du fer, de l'aluminium et du manganèse,
- ) Inclus dans les réseaux cristallins des minéraux primaires et des constituants secondaires,
- ) Adsorbés sur les matières organiques,

La répartition des métaux et métalloïdes dans ces différents compartiments du sol et toutes les formes disponibles ne présentent pas forcément des risques environnementaux. Les variations des conditions physico-chimiques (pH, température, force ionique.... etc.) peuvent jouer directement sur la mobilité des éléments en faisant passer les métaux présents dans un sol d'une forme à une autre. Ce changement met donc en jeu des mécanismes biogéochimiques de mobilisation, d'immobilisation et de transport. Ces mécanismes dépendent de processus de dissolution/précipitation, désorption/adsorption et complexation qui font intervenir des réactions biologiques, chimiques et physico-chimiques. En effet, la mobilité et la biodisponibilité des ETM dépendent fortement de leur spéciation chimique dans

les sols. Cependant la détermination exacte de la spéciation chimique est souvent difficile et dans la plupart des cas impossible (**Quevauviller,1997**).

### 5.3. Biodisponibilité

La biodisponibilité désigne la capacité d'une quantité d'un élément présent dans le sol à être absorbé par un organisme vivant. La biodisponibilité est un outil d'évaluation de la toxicité et le risque de pollution. Le changement de la biodisponibilité d'un polluant correspond à un changement de toxicité.

Les risques liés aux ETM pour l'environnement et la santé humaine devront donc être évalués au travers leur spéciation, leur mobilité et leur biodisponibilité, qui sont les principaux facteurs conditionnant leur toxicité.

## 6. Cycle biogéochimique des métaux

Le cycle biogéochimique est le cheminement d'une substance donnée par divers processus (physique, chimique et biologique) à travers les principaux réservoirs de la biosphère.

Les métaux sont transportés vers la mer par voie éolienne, ruissellement, action volcanique et à partir des rejets industriels. Leur déroulement semble s'effectuer selon deux grandes étapes. Une première consisterait en un piégeage des polluants métalliques par les particules en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physico-chimiques du milieu marin et cela par :

### 6.1. Précipitations

Certains métaux vont se lier à la matière organique, d'autres vont précipiter, toutes ces formes vont finir par se déposer sur le fond.

### 6.2. Absorption et adsorption

Les métaux présentent la particularité d'être adsorbés seulement sur la surface des particules, tels que les oxydes de fer et de manganèse, mais aussi absorbés par les particules elles-mêmes.

L'adsorption de métaux lourds conduit à leurs concentrations sur le fond, qui peut être aussi l'œuvre de processus biologiques. En effet, **Aouameur,1990** a démontré que 90 % du transport vertical des métaux est effectué sous forme de boulettes fécales de dépouilles de crustacés en mue, d'animaux et de plantes mortes.

### 6.3. Sédimentation

La sédimentation est un processus qui permet la réduction de la pollution métallique dans l'eau. Ce processus dépend essentiellement de la dimension des particules minérales, ainsi que de l'agitation, qui favorise la collision et donc une sédimentation plus importante.

Une deuxième étape inverse à la première consisterait à un relargage de ces polluants par désorption ou sorption, phénomène inverse à l'adsorption, par diffusion ou propagation dans le milieu marin, par redissolution ou remise en solution des produits précipités par décomposition et reminéralisation des matières organiques et parfois même par une redistribution, par le biais des organismes marins. Les activités des organismes marins dans le sédiment expliquent la bioturbation. Elle se produit dans une profondeur qui peut atteindre un mètre dans le sédiment. Mais, elle est plus importante dans les dix premiers centimètres et qui tend à homogénéiser les concentrations en contaminants dans le sédiment (**Cossa et Lassus,1989**).

Donc, c'est la zone qui est périodiquement oxygénée où se réalisent les réactions d'oxydation. En dessous, c'est la zone d'anoxie ou zone de réduction où il n'y a pas de vie aérobie.

## II. Les sédiments

### 1. Définition

Le sédiment est un milieu complexe et hétérogène constitué d'eau (jusqu'à 80%), de matériaux inorganiques et organiques et de composés d'origines anthropiques (**Power et Chapman, 1992**).

Autrement dit : c'est un dépôt continental ou marin qui provient de l'altération et de la dégradation des roches préexistantes.

Ce système composé par une multitude d'éléments va être soumis à un nombre important de réactions biogéochimiques lors de la diagenèse.

### 2. Origine des sédiments

Les sédiments sont « des matériaux meubles d'origine minéralogiques ou biogénique » (**Ramade, 2002**). Ils sont de deux origines :

#### a-Autochtone

Quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonates, phosphates, évaporites) et organique (organismes planctoniques morts) (**Ramade, 1998**).

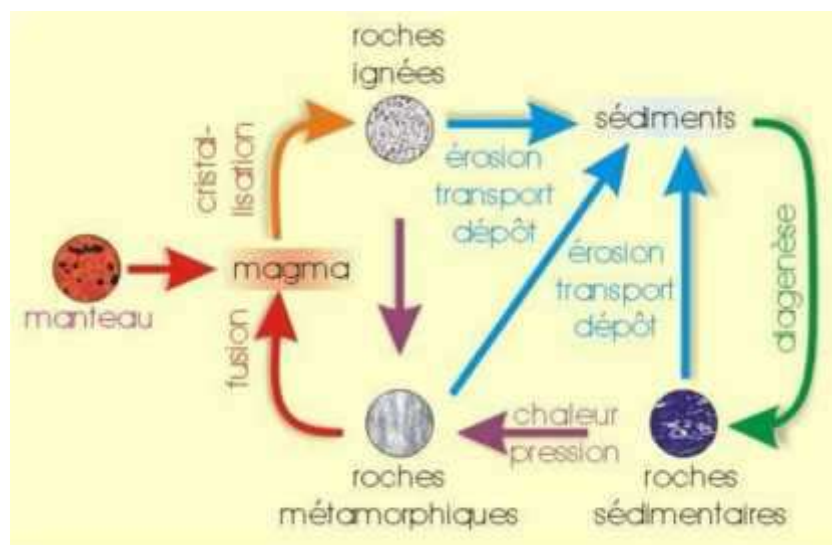
La production autochtone primaire donne naissance à **une sédimentation endogène** et engendre des débris de macrophytes et microphytes.

#### b- Allochtone

Quand ils sont issus de l'érosion du bassin versant par des agents dynamiques externe comme l'eau ou le vent, cet apport peut être d'origine naturelle ou anthropique (**sédimentation exogène**) (**Ramade, 1998**).

#### c-Autres sources

Les différents processus de dégradation des roches produisent également des sédiments (**figure 1**).

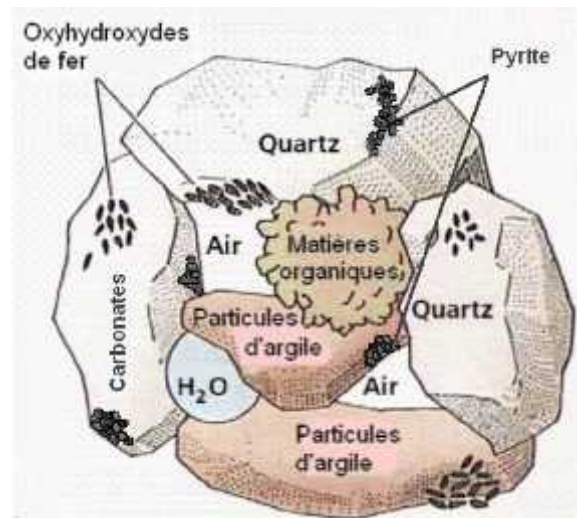


**Figure 2** : présentation du cycle géologique pouvant expliquer l'origine des sédiments (**Boulvain, 2007**).

Lors de la cristallisation du magma, les roches ignées prennent formes. Elles se modifient avec l'effet de la chaleur et de la pression pour donner naissance à des roches métamorphiques, qui peuvent parvenir des roches sédimentaires. Ces dernières, provenant de la lithification : (processus de transformation d'un sédiment meuble en roche consolidée par compaction et cimentation), par diagenèse : (Ensemble des changements biochimiques et physico-chimiques affectant un sédiment après son dépôt) de sédiments (**Pomerol et al., 2000**).

### 3. Composition des sédiments

Les sédiments sont composés de trois phases principales : la phase minérale, la phase organique et la phase aqueuse (**Bonnet , 2000**).



**Figure 3** : Représentation imagée des différentes fractions constitutives d'un sédiment adapté de (**Rusch, 2010**)

#### 3.1. La phase minérale

Est composée d'un mélange hétérogène de différents minéraux et de particules minérales d'origine biogénique (coquille, ossements d'animaux) et de minéraux provenant de l'érosion de l'écorce terrestre. Ses composées sont principalement (**Bonnet,2000**).

##### 3.1.1. Les silicates primaires

Les silicates primaires proviennent de la destruction physique de la roche mère. On les trouve principalement dans le sable et les limons fins ainsi que dans les argiles. La structure des silicates primaires est basée sur des tétraèdres de silice  $\text{SiO}_4^{4-}$  qui peuvent se trouver soit sous forme d'unité isolée soit liés entre eux par leurs sommets de façon à former des chaînes simples ou doubles, des couches ou des réseaux tridimensionnels.

##### 3.1.2. Les argiles

Les argiles sont des silicates d'alumine de formule générale  $(n \text{ SiO}_2 \text{ Al}_2\text{O}_3, m\text{H}_2\text{O})$ . La structure cristalline des argiles est disposée en feuillets constitués d'un empilement de couches tétraédriques de  $\text{SiO}_2$  et de couches octaédriques d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### 3.1.3. Les oxydes et hydroxydes

De par leur grande abondance dans la lithosphère et leur faible solubilité aux pH des sols, l'aluminium, le fer et le manganèse constituent la plupart des oxydes, oxyhydroxydes et hydroxydes. Les oxydes de fer et manganèse amorphes des sédiments sont les premiers intervenants dans les processus d'adsorption. Dans la majorité des cas, ils représentent une phase de rétention privilégiée pour de nombreux cations métalliques.

### 3.1.4. Les carbonates

Les carbonates constituent un groupe de minéraux regroupant un nombre important d'espèces, largement dominé en milieu aquatique par la calcite ( $\text{CaCO}_3(\text{s})$ ), la dolomite  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{s})$ , la sidérite ( $\text{FeCO}_3(\text{s})$ ) et la rhodocrosite ( $\text{MnCO}_3(\text{s})$ ). Dans les sédiments, ces carbonates jouent un rôle significatif, car en plus de contrôler le pH, leur surface est le siège de phénomène de sorption des ions métalliques.

### 3.1.5. Les sulfures et les sulfates

Les sulfures se forment en milieu anaérobie par réduction des ions sulfates et forment des composés très stables avec les métaux. En raison des conditions réductrices et de leur faible solubilité, les sulfures sont prépondérants par rapport aux sulfates et sont à l'origine de la couleur grise ou noire de certains sédiments. Dans les sédiments bien oxydés, la majorité du soufre se trouve sous forme de sulfates. Par contre, dans un sédiment aéré, ils s'oxydent en sulfates et oxyhydroxydes métalliques.

## 3.2. La phase organique

N'occupe qu'un faible volume du sédiment (quelques %) ( **Power et Chapman,1992**).

### 3.2.1. La matière organique

C'est le moteur principal de la diagenèse précoce. Elle peut influencer sur le comportement des polluants métalliques en modifiant les propriétés désorption des minéraux (formation de colloïdes) et en complexant fortement certains cations. Il n'y a pas de règle générale régissant l'affinité des métaux par rapport à la matière organique.

Cela dépend de la composition du sédiment et des conditions physico-chimiques. Les éléments sont retenus par la matière organique sous forme échangeable, ou à l'état de complexes dans lesquelles ils sont fixés plus fortement.

## 3.3. La phase aqueuse

Elle correspond à l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires appelée aussi eaux interstitielles ou eaux poreuses, elle représente une fraction importante du sédiment avec généralement plus de 50 % de son volume (**Förstner,1987**).

## 4. Granulométrie des sédiments

Afin de collecter les premières informations sur les milieux de sédimentation, une analyse granulométrique texturale des sédiments doit-être menée.

La composition granulométrique, aussi appelée distribution granulométrique, renseigne sur la texture du matériau mais également sur les processus de transport responsables de la formation de ces sédiments (**Boulvain,2011**). Selon l'origine du point de prélèvement, de fortes variations texturales peuvent être mises en évidence (**Boulvain,2011**).

Les sédiments sont classés en fonction de la taille de leurs particules :

- Les particules d'un diamètre supérieur à 63 $\mu$ m caractérisent les sédiments grossiers constitués de sable et de matériel inorganique silicaté. Les surfaces de contact des différentes particules sont peu importantes et donc sont peu associées aux contaminants.
- Les particules d'une taille inférieure à 63 $\mu$ m sont constituées de minéraux argileux ayant un diamètre compris entre 0,2 et 2 $\mu$ m et de silt ayant un diamètre compris entre 2 $\mu$ m et 63 $\mu$ m. Les particules fines sont très cohésives, elles sont chargées négativement et leur surface de contact est importante : ces caractéristiques leur donnent un grand pouvoir adsorbant vis-à-vis des contaminants métalliques. (Geffard, 2001).

**Tableau 6 :** Classement des sédiments en fonction de leur taille granulométrique (Chamley,1987) :

Classe	Taille granulométrique	Dénomination
<b>Rudites</b>	>2 mm	Blocs > 250 mm Gros cailloux > 63 mm Petits cailloux > 20 mm Graviers > 4 mm
<b>Arénites</b>	0.63 $\mu$ m – 2 mm	Sables très grossiers >1.125 mm Sables grossiers >0.63 mm Sables moyens >0.315mm Sables fins >0.125 mm Sables très fins < 0.63 mm
<b>Lutites</b> <b>Silts</b> <b>Argiles</b>	< 0.63 $\mu$ m >5 $\mu$ m  < 2 $\mu$ m	Silts grossiers > 40 $\mu$ m Silts moyens > 20 $\mu$ m Silts fins > 10 $\mu$ m Silts très fins > 5 $\mu$ m

Pour conclure, la distribution granulométrique d'un sédiment peut varier très fortement en fonction du lieu de prélèvement, de la nature de la matière solide, et des processus de transport des particules.

## 5. Sédiments et contaminants

L'une des caractéristiques importantes (majeures) des sédiments et leur capacité d'accumuler des polluants organiques et inorganiques.

Les sources sont principalement agricoles, industrielles, minières ou urbaines. Dispersés par voie atmosphérique ou apportés sous forme d'engrais, de résidus ou de déchets solides ou liquides.

Les polluants peuvent être immobilisés dans le sédiment ou bien transiter vers les nappes phréatiques, les eaux superficielles, les plantes, les animaux et les hommes (Dali youcef, 2005).

## 6. Les caractéristiques des sédiments

Parmi les caractéristiques les plus importantes des sédiments sont également le pH, potentiel rédox, Eh, taux de rétention. Ces paramètres gèrent la répartition des contaminants entre les différentes phases d'un sédiment, ainsi que leur biodisponibilité (Bonnet , 2000).

## 6.1. Le pH

Le pH du sol est un paramètre très influant, lequel joue un rôle majeur dans de nombreuses réactions physico-chimiques telles que les réactions de précipitation/solubilisation ou l'adsorption/désorption sur les phases solides du sol et la spéciation des métaux en solution aqueuse. Le pH influence également la spéciation des métaux et aussi leurs interactions avec les phases solides du sol. La diminution du pH de l'eau interstitielle du sol est accompagnée par un accroissement du nombre de protons dans la solution lesquels entrent en compétition avec les cations métalliques adsorbés sur les phases solides du sol et provoquent leur libération dans la phase aqueuse (Swift et McLaren, 1991). C'est l'inverse pour les oxyanions.

D'une façon générale, la solubilité des éléments chimiquement stables sous forme de cations tels que Cd, Pb et Zn diminue lorsque le pH augmente. Inversement pour les éléments chimiquement stables sous forme d'anions tels que Cr (VI), As et Se, la solubilité augmente avec le pH.

## 6.2. Le potentiel redox

Les conditions d'oxydo-réduction (Eh) déterminent le comportement des éléments chimiques à plusieurs valences. Elles mesurent l'aptitude d'un milieu à fournir les électrons à un agent oxydant ou à retirer des électrons à un agent réducteur. L'Eh influence notamment la capacité d'un ETM à se fixer sur une phase réceptrice en modifiant le degré d'oxydation de l'élément. Une modification du produit de solubilité de cette association potentielle peut de ce fait intervenir, soit en la privilégiant soit en la défavorisant (Deneux-Mustin et al., 2003).

La solubilité de plusieurs métaux et métalloïdes (Mn, As et Cr) est directement corrélée avec l'Eh et le pH (Masscheleyn et al., 1991). En outre, le Cd, Pb et Zn possèdent un nombre plus faible d'états d'oxydation. La solubilité de ces éléments est affectée indirectement par l'Eh et le pH, notamment avec la dissolution réductrice des oxy-hydroxydes de Fe et de Mn en conditions réductrices (Chuan et al., 1996).

## 7. Diagenèse et diagenèse précoce

### 7.1. La Diagenèse

Suite à de nombreuses transformations physiques, chimiques et biologiques, le sédiment se transforme en roche cohérente (diagenèse sédimentaire) et d'importants gradients bio-physico-chimiques se trouvent dans ces sédiments au niveau des cours d'eau.

Selon (Bernier, 1980), l'ensemble de processus physiques et biogéochimiques assurant la transformation des sédiments déposés en roches sédimentaires cohérentes est qualifié en tant que diagenèse.

Pour que l'opération de transformation ait lieu, deux mécanismes la gouvernent : la compaction et la cimentation.

#### ) La compaction

Phénomène physique visant à modifier la structure du sédiment et cela sous l'effet de l'augmentation du gradient de pression avec la profondeur. Ce phénomène est reconnu à travers les réarrangements serrés des constituants des sédiments.

#### ) La cimentation

Processus chimique conduisant à la réduction de la porosité et au durcissement du sédiment. Lorsque les conditions physico-chimiques du milieu (pH, température et indice de

saturation) sont favorables, les minéraux contenus dans les eaux interstitielles du sédiment peuvent précipiter sous forme de cristaux qui vont souder les particules entre-elles.

Les réactions diagenétiques conduisant à la formation d'une roche cohérente, se déroulent sur une échelle de temps très longue, et, notamment pour la compaction, à des profondeurs très importantes, puisque contrôlées majoritairement par l'augmentation de la pression. Cependant, d'autres réactions se déroulent beaucoup plus rapidement, dès le dépôt des particules à l'interface eau-sédiment, et ont une importance capitale sur le devenir des ETM. Ces réactions constituent la diagenèse précoce.

## 7.2. Diagenèse précoce

Regroupe l'ensemble des transformations que subissent les particules au cours des premières étapes de leur enfouissement, jusqu'à une centaine de mètres de profondeur, où les températures rencontrées ne sont pas trop élevées et où les pores du sédiment sont toujours remplis par de l'eau interstitielle (**Berner, 1980**).

La diagenèse précoce désigne les transformations qui commencent dès le dépôt des particules et qui sont prédominantes aux petites échelles géologiques (quelques dizaines d'années). Du point de vue des ETM, il est intéressant de prendre en compte ces réactions car elles jouent un rôle important sur leurs transferts dans les cours d'eau (**Ternat, 2004**).

C'est l'ensemble des processus biogéochimiques issus de la minéralisation bactérienne de la matière organique sédimentaire (MOS). Ce processus d'oxydation de la MOS contrôle la dynamique d'un grand nombre d'éléments/espèces chimiques, des éléments composant la MO sont mobilisés quand cette dernière est dégradée [C, N, Si, P] des éléments-oxydants utilisés pour minéraliser la MO [O, N, Mn, Fe] et des éléments ayant une affinité avec des phases sédimentaires transformées lors de la diagenèse [As ou Co vis-à-vis des oxydes de Mn/Fe].

Les réactions diagenétiques qui affectent la matière dans les couches superficielles des sédiments aquatiques sont essentiellement contrôlées par des processus physiques (tassement, consolidation, diffusion, bioturbation, bioirrigation, advection), chimiques (précipitation, dissolution, complexation, sorption, redox) et biologiques (minéralisation de la matière organique par l'activité bactérienne). Ces derniers correspondent à une succession de réactions induites ou catalysées par les bactéries et les micro-organismes. Ainsi, la présence des bactéries et de matière organique sont les deux conditions sine qua non pour induire les réactions biogéochimiques de la diagenèse précoce.

## 7.3. Diagenèse tardive

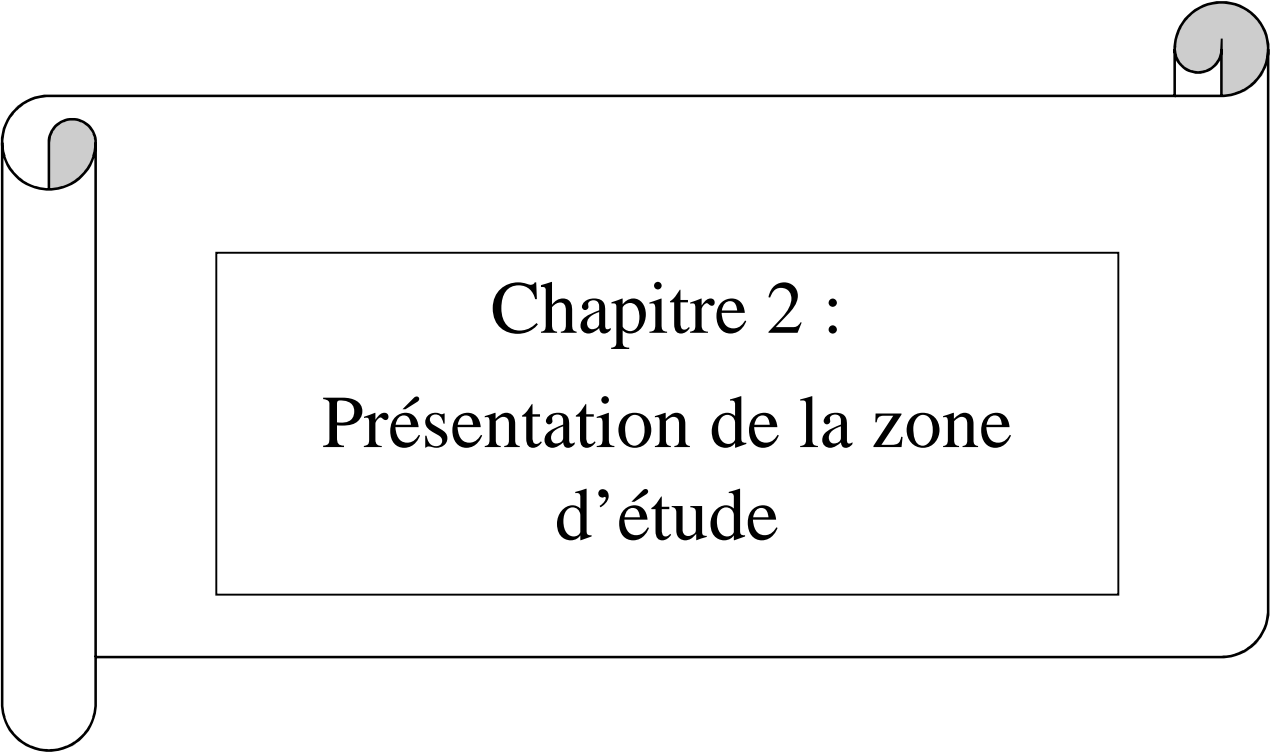
Se déroule à des températures supérieures à 70°C, (**Morad et al.,2000 ; Hendry, 2002**), correspond à la fenêtre à huile, zone où la température est suffisamment élevée pour générer des hydrocarbures par la maturation (décarboxylation) de la matière organique ( **Esteban et Taberner,2003 et Schneider et al.,2008**).

De nombreuses transformations minérales se déroulent dans ce domaine de température : la transition illite/smectile (**Potter et al,2005**), l'altération de feldspaths (**Land et al, 1987 et Morad et al., 1990**), où la dolomitisation à grande échelle des sédiments carbonatés (**Warren, 2000**).

Lors de dépôt des sédiments, des transformations physiques et chimiques complexes commencent et continuent durant leur enfouissement. Ces derniers peuvent provoquer des

modifications importantes de leur composition minéralogique (**Bathurst, 1975 ; Curtis, 1995 et Potter et al., 2005**).

La composante diagenétique des sédiments marins fournit des informations sur les conditions physiques et chimiques subies après le dépôt. En revanche, elle tend à altérer les informations que les sédiments peuvent fournir sur les caractéristiques climatiques et tectoniques régionales (composantes allochtones), sur l'environnement de fond ou la productivité organique (composants autochtones), au moment de leur dépôt (**Curtis,1995**).



Chapitre 2 :  
Présentation de la zone  
d'étude

Ce chapitre est consacré à la description morphologique et hydrologique de la vallée du Sebaou et son influence sur l'écoulement superficiel et profond.

La zone d'étude fait partie du grand bassin versant du Sebaou. Elle occupe le secteur le plus en aval à l'embouchure de l'oued Sebaou.

## 1. Situation et présentation de la zone d'étude

Notre zone d'étude délimitée pour établir l'échantillonnage se trouve plus exactement au niveau de l'embouchure de l'Oued Sebaou, qui verse ses eaux dans la plage dénommée 'TAKDAMPT' de la commune de Dellys de la wilaya de Boumerdes.



**Figure 4:** Situation géographique de l'embouchure de l'Oued Sebaou ( google earth, 2018)

### 1.1. Situation géographique de la région

La région d'étude constituée par la basse plaine de l'oued Sebaou, est située au Nord de l'Algérie à 100 km à l'est d'Alger et à 2 km à l'ouest de Dellys. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée.

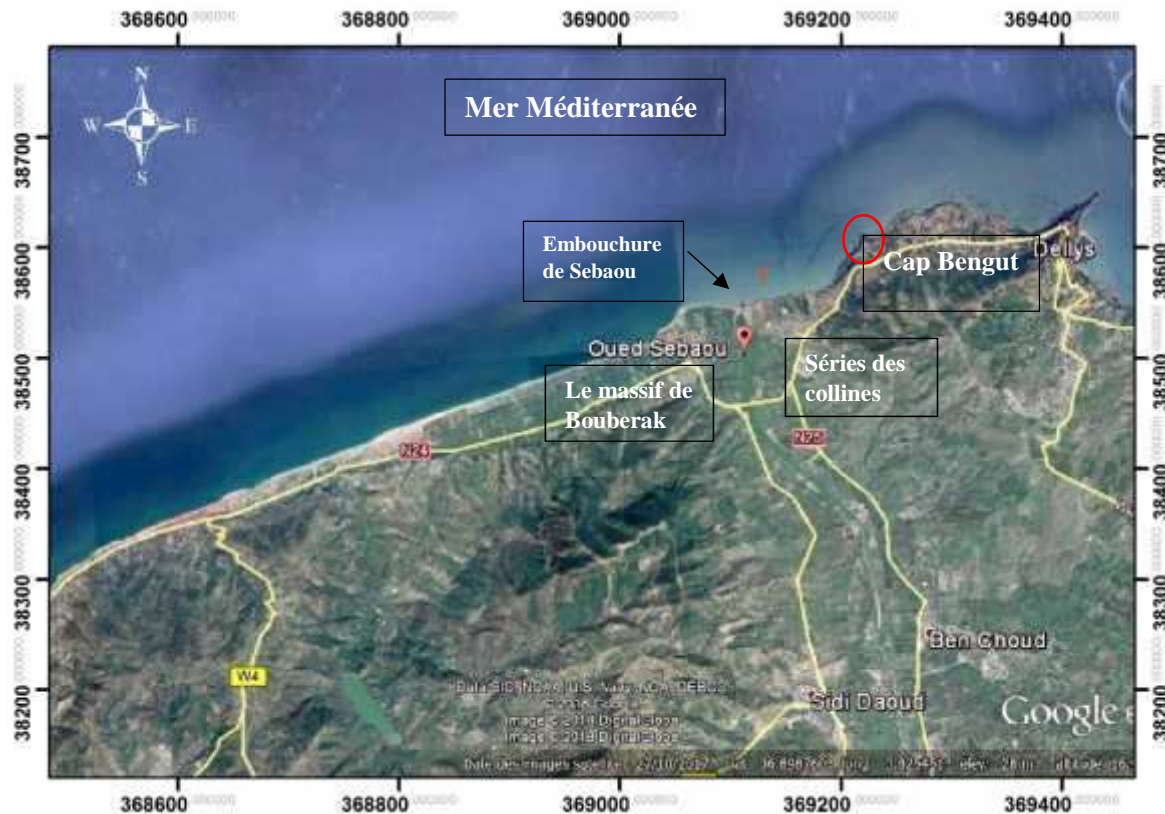
La zone littorale longue de 33 km est comprise entre Cap-Djinet à l'ouest et Cap Bengut Lighthouse à l'est.

Au sud, la commune de Dellys.

A l'ouest, limité par le massif de Bouberrak

A l'est, par une série de collines s'étendant progressivement jusqu'à la vallée de l'Oued Sebaou.

L'aval du Sebaou occupe une bonde de 500 m de large.



**Figure 5:** Situation et limitation de la zone d'étude ( google earth,2018 ; Arcgis)

## 1.2. Présentation de la zone d'étude

### 1.2.1. Le bassin versant de l'oued Sebaou

Le bassin versant de la vallée du Sebaou couvre une superficie de 2500 Km<sup>2</sup> avec un périmètre de 250 Km (**source : secrétariat d'état à l'hydraulique de Tizi-Ouzou,1975**).

L'Oued Sebaou est le plus important de notre région d'étude avec ces apports considérables et sa longueur de 92 km, on trouve à sa rive droite un certain nombre d'effluents qui prennent source à la chaîne littorale du nord, parmi ceux il y a l'Oued Diss qui prend sa source au Djebel Tamgout à 1248m d'altitude et débouche sur le Sebaou au niveau de Fréha. Les effluents de la rive gauche ainsi que l'oued principal du Sebaou prennent source dans la chaîne du Djurdjura, les plus importants des effluents sont Oued Bougdoura et Oued Aissi (sur lequel le barrage Taksebt est mise en œuvre en 2001 avec un volume initial de 175 Hm<sup>3</sup>, 94 m de hauteur et de 515 m de long , pour alimenter la ville de Tizi-Ouzou, Boumerdes, et Alger) qui prend source à 2000m d'altitude et relie le Sebaou au niveau de Belloua. Le Sebaou continue son avancée SSE-NNW pour se jeter en mer à l'Ouest de Dellys (**Ammari,2012**).

Sa pente moyenne est de l'ordre de 0,3% et sa largeur peut atteindre par endroit 500 m. Sur son parcours se trouvent d'importantes sablières induisant par les extractions de granulats, des perturbations des milieux. Le cours d'eau reçoit également des rejets urbains notamment des villes d'Azazga, de Tamda, de Tizi-Ouzou, de Draa Ben-khedda, de Tadmait, de Baghlia, et industriels tels ENEL, SNLB, COTITEX, ORLAC ... (**HAOUCHINE, 2011**).

### 1.2.2. Limites du bassin versant (Ballah,2014)

Les limites du bassin du Sebaou sont :

- Au Nord, la chaîne littorale
- Au Sud, le flanc nord de la chaîne calcaire du Djurdjura ;
- A l'Est, le massif forestier de l'Akfadou ;
- A l'Ouest, le massif cristallophyllien de Sidi Ali Bounab

### 1.2.3. Les sous bassin versant de l'Oued Sebaou (Ballah,2014)

Le bassin versant de l'Oued Sebaou comporte six sous-bassins occupant les bassins de réception des affluents les plus grands et réparties de façon inégale sur **le haut, le moyen et le bas** Sebaou dont les principaux sont :

- ) Sous bassin de l'Acif N'boubhir 02-15 ;
- ) Sous bassin de l'oued Sebaou Rabta 02-16 ;
- ) Sous bassin de l'oued Aissi 02-17 ;
- ) Sous bassin de l'oued Sebaou Sebt 02-18 ;
- ) Sous bassin de l'oued Bougdoura 02-19 ;
- ) Sous bassin de l'oued Sebaou Maritime 02-20.

Cette répartition est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau 7** : Caractéristiques des sous bassins versants de l'Oued Sebaou ( **Ballah,2014** ; et **ANRH de Tizi-Ouzou**)

Bassin versant		Oued	Station	Périmètre(km)	Surface(km <sup>2</sup> )
<b>Haut Sebaou</b>	02-15	Sebaou amont	Boubroune	102,4	532
	02-16	Sebaou Rabta	Fréha	112	432
	02-17	Aissi	RN 30	98,6	468
<b>Moyen Sebaou</b>	02-18	Sebaou Sebt	Belloua	82	304
	02-19	Bougdoura	RN 25	94,2	544
<b>Bas Sebaou</b>	02-20	Sebaou	Baghlia	62,6	220
L'ensemble du bassin versant		/	/	250	2500



Figure 6 : Situation du bassin versant de l'Oued Sebaou (source : ANRH de Tizi-Ouzou)

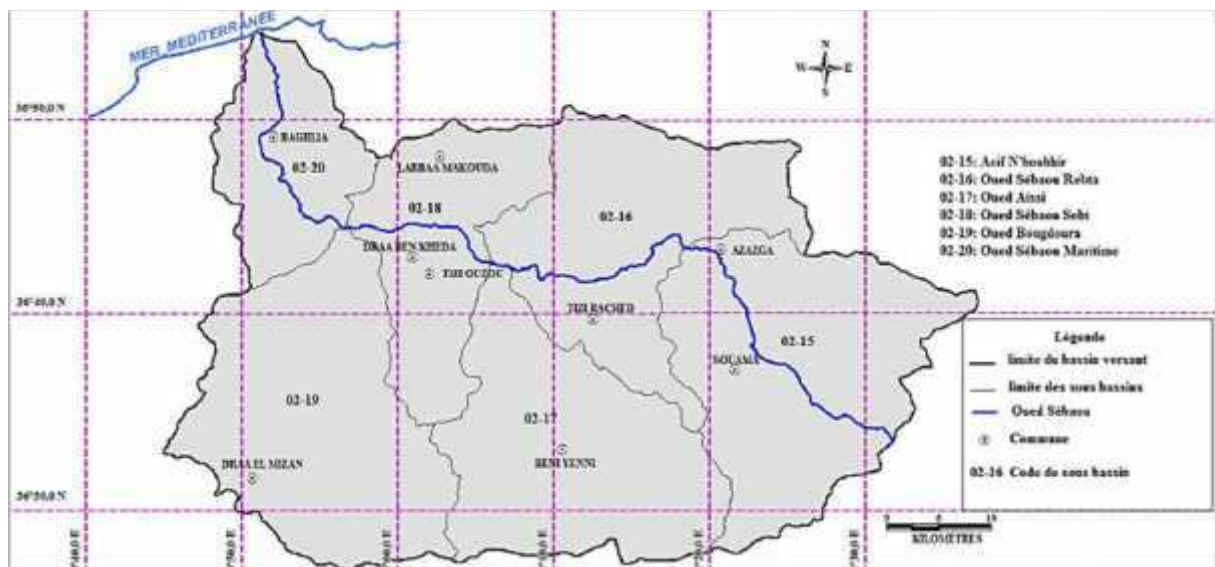


Figure 7 : Carte de situation des sous bassins versants de l'Oued Sebaou (source : ANRH de Tizi-Ouzou).

#### 1.2.4. Géologie du bassin

Du côté du Sebaou on distingue l'unité tellienne de Dellys situé dans le secteur de Baghia elle est constituée essentiellement :

- De marnes intercalées de calcaires marneux (Turonien- Sémonien).
- De calcaires marneux à rares silex et calcaires silicifiés.
- De marnes noires.

Du côté d'Azazga et Ain el Hammam, une formation d'olistostrome (Argiles à blocs) affleure, cette formation est constituée d'une matrice tendre (argileuse, marneuse ou pélitique).

Les formations poste nappe regroupent les terrains d'âge miocène et pliocène, le miocène occupe une grande zone synclinale entre Azazga et Dellys, où il présente des marnes puis des conglomérats qui se terminent par des caractéristiques générales de la zone d'étude (Ammari, 2012).

## 2. Les paramètres hydroclimatiques

Le climat de la région est un climat méditerranéen, caractérisé par un hiver pluvial et doux, et sec et chaud en été.

### 2.1. Pluviométrie

La pluviosité est un facteur très important qui est déterminé par sa durée de chute et son intensité. Elle est caractérisée par une répartition inégale d'un point à un autre et d'une saison à une autre.

Dans cette région les précipitations se font uniquement sous forme de pluies dans tout le bassin de Sebaou la quantité annuelle des précipitation atmosphériques dépasse 500 mm/an. Elle est considérée l'une des régions les mieux arrosées du pays.

La distribution annuelle est très irrégulière.

**Tableau 8 :** Précipitations annuelles moyennes en mm (données obtenues auprès ANRH de Tizi-Ouzou)

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Station												
<b>Baghlia</b>	620.1	456.9	1099.8	845.8	716.6	729.1	882.7	870.9	933.2	888.4	930.7	1045.4
<b>Belloua</b>	610,8	356,1	1068,9	803,6	657	644,5	813,1	800	966.9	885.8	970.8	1039.3

### 2.2. La température

La température est un facteur important, il conditionne l'hydroclimatologie de la région. Ce paramètre procède à l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique.

Pour la mesure de la température, nous disposons des données dans le tableau 3, nous avons reporté les valeurs moyennes mensuelles, minimales et maximales des températures enregistrées au niveau du bassin versant de Sebaou durant la période allant de 1989 à 2009 (Source : Office Nationale de la Météorologie de Tizi-Ouzou).

**Tableau 9** : Températures moyennes mensuelles en °C (maximales, minimales, moyennes) enregistrées (**Période 1989 – 2009, Source O.N.M de Tizi-Ouzou**).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T° moyennes maximales	15,4	16,8	19,9	21,7	26,2	31,8	35,7	36,2	31,8	26,9	18,8	16,2
T° moyennes minimales	5,9	6,5	8,7	10,1	10,0	18,0	20,8	21,8	15,6	10,4	10,8	6,9
T° moyennes mensuelles	10,1	10,8	13,4	15,5	19,4	24,6	27,4	28	24,5	20,3	14,4	11,1
T (°C)	9,5	10,3	11,2	11,6	16,2	13,8	14,9	14,4	16,2	16,5	8	9,3

Les moyennes annuelles des températures sont variables d'une année à l'autre. La température moyenne interannuelle est de 18,29°C.

Une des caractéristiques thermiques de la région d'étude est l'écart élevé entre les moyennes des minimas (m) du mois le plus froid (janvier) et des maximas (M) du mois le plus chaud (aout). Les minimas et les maximas enregistrés sont :

$$\left. \begin{array}{l} \text{) } m = 5,9^{\circ}\text{C} \\ \text{) } M = 36,2^{\circ}\text{C} \end{array} \right\}$$

### 2.3. Le débit

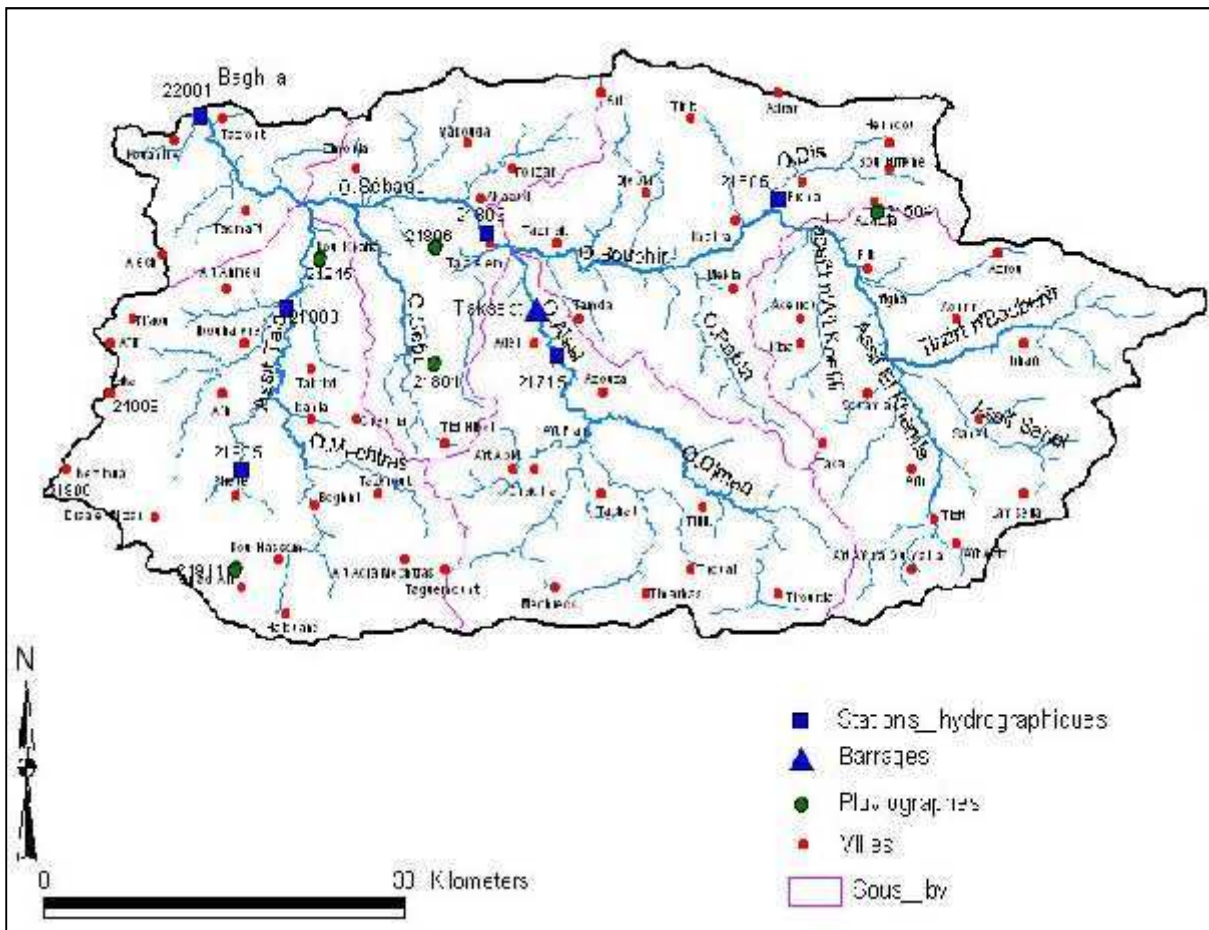
Le débit est le volume d'eau en mouvement auquel peut être rattaché une quantité de matière transportée organique ou minérale, inerte ou vivante, endogène ou exogène (LAVANDIER, 1979). Il dépend de l'altitude, de la distance à la source la plus en amont, de la nature des terrains traversés, des précipitations et de la présence de neige en amont.

**Tableau 10**: Le débit annuel des deux stations hydrométriques Baghlia et Belloua (**période 1987-1999 ; source ANRH Tizi-Ouzou**).

Station	Baghlia ( en aval)			Belloua ( en amont)		
	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>moy</sub> m <sup>3</sup> /s	Apport hm <sup>3</sup>	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /s	Q <sub>moy</sub> m <sup>3</sup> /s	Apport hm <sup>3</sup>
<b>1987-1988</b>	81.14	4.18	132.40	98.88	3.74	118.54
<b>1988-1989</b>	230.84	8.41	266.08	235.6	7.43	235.19
<b>1989-1990</b>	285.30	2.44	76.91	250.68	2.50	79.05
<b>1990-1991</b>	564.00	26.75	838.38	534.42	12.29	382.34
<b>1991-1992</b>	585.00	17.04	537.82	553	8.76	275.71
<b>1992-1993</b>	406.52	11.77	374.02	438.4	00	258.53
<b>1993-1994</b>	488.00	4.87	150.01	00	5.60	173.72
<b>1994-1995</b>	500	17.22	549.19	378.2	11.47	366.31
<b>1995-1996</b>	1060.00	17.17	537.71	900	8.17	123.89
<b>1996-1997</b>	86.44	2.34	73.63	60.90	1.64	46.56
<b>1997-1998</b>	1275.00	27.49	870.39	678.00	13.98	441.20
<b>1998-1999</b>	362.00	21.91	674.66	289.95	13.16	409.73

D'après le tableau on voit que de la station de Belloua à la station de Baghlia il y a augmentation des écoulements d'eau moyens et des apports.

Il faut noter que la station de Baghlia est plus fonctionnelle depuis l'année 1999.



**Figure 8** : Carte de situation des station hydrographiques, pluviographiques et les barrages ( source : ANRH de Soumaa, 2018).

### 3. Couvert végétal

Le couvert végétal est un facteur écologique très important, qui influe sur les écoulements superficiels. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense.

Globalement la couverture végétale de la zone d'étude est assez dense. Elle varie en fonction de l'altitude et présente un étagement visible de type méditerranéen.

En aval, aux altitudes inférieures à 1100 m, la végétation est constituée essentiellement de chêne vert (*Quercus rotundifolia*), de frêne (*fraxinus sp.*) et de quelques pieds d'érables (*Acer sp.*). Ce sont des feuillus qui empêchent le réchauffement excessif des eaux en été.

En altitude supérieur à 1100 m, les sommets sont dénudés ou couverts à quelques endroits par des pelouses écorchées à xérophytes épineux et rampants : ronces (*Rubus sp.*) et genets (*Genista sp.*). On note aussi la présence de quelques pieds de cèdre épars (*Cedrus atlantica*).

En plaine, les formations végétales sont représentées principalement par des vergers (orangers, pommiers, poiriers, figuiers...), qui participent à la dégradation des formations végétales naturelles dans la vallée de Sebaou.

Quant à la végétation aquatique, elle est représentée principalement par les mousses dans les parties supérieures des cours d'eaux, tandis que les algues (*Oedogonae*, *Spirogyra*, *Zygnema et Ulothrix*) et les macrophytes se rencontrent dans les cours d'eaux de basse altitude (HAOUCHINE, 2011).

#### **4.Situation socio-économique de la région d'étude**

La wilaya de Tizi Ouzou et de Boumerdes recèlent de nombreuses potentialités socio-économiques, principalement en matière d'agriculture et industrielles, mais aussi humaines.

##### **4.1. Potentiels humains**

D'après le dernier R.G.P.H (Recensement Général de la Population et de l'Habitat) effectué en 2008, la population totale de la wilaya de Tizi Ouzou est estimée à 1 127 607 habitants, avec 802083 habitats dans la wilaya de Boumerdes, répartis sur l'ensemble du territoire.

##### **4.2. Activité extractive**

Cette activité est fortement sollicitée dans la vallée du Sebaou. Plusieurs sablières sont mises en œuvre sur le lit de l'Oued surtout dans les zones de Baghlia , Sidi Daoud, Tadmaït, Draa Ben Khedda et Sebaou, notamment à proximité des ouvrages de captage exploitants le sable et le tous venant de l'oued. Ces extractions sont autant profondes et anarchiques qu'elles portent préjudice à la nappe alluviale et rendent celle-ci vulnérable à la pollution par les eaux usées.

##### **4.3. Infrastructures hydrauliques**

Le secteur d'étude dispose un potentiel hydrique dont le principal est le barrage de Taksebt. Le barrage de Taksebt est implanté sur l'oued Aissi, affluent du Sebaou situé à environ 10 Km au sud-est de la ville de Tizi Ouzou.

##### **4.4. Agriculture**

Comme pour l'industrie, l'agriculture constitue une vocation importante, compte tenu de l'importance du patrimoine foncier et des conditions naturelles dont elle bénéficie (pluviométrie favorable, réseau hydrographique important).

Les principales cultures pratiquées sont : la céréaliculture, le maraichage plein-champ, la plasticulture et les cultures pérennes (arboriculture, viticulture), pépins de raisins, les vergers (Orangers, Pommiers, Poiriers, Figuiers...).

##### **4.5. Potentiels industriels**

Le tissu industriel existant dans la région d'étude est situé principalement sur l'axe Draa Ben Khedda et Azazga, où on enregistre plusieurs unités agro-industrielles et agro-alimentaires telle que l'ORLAC, ENIEM, Ainsi que 528 huileries qui parsèment toute la région (**Tableau 11**).

**Tableau 11:** Industries au niveau de la zone d'étude ( source : direction des mines et industries de Tizi-Ouzou et de Boumerdes ; 2018).

Dénomination	Lieu d'existence	Année	Liste des principales activités
COTITEX	Route Draa Ben Khedda	1984	Stockage et distribution de céréales et légumes secs
ENEL	Azazga	1985	Production et commercialisation de moteurs électrique et de transformateurs. Prestations techniques
SARL SOLFAD EMBALLAGE	Draa Ben Khedda	2010	Transformation industrielle du papier et fabrication divers articles en papier. Transformation du plastique
SARL NEOFAR-UNITE SACHERIE	Village Ouarkik Commune Azazga	2017	Unité de fabrication de sac d'emballage en polypropylène
EPE/SPA Briqueterie Tuilerie Fréha	Fréha	1982	Production et Commercialisation de la brique B4-B8 et B12 (produit rouge) -Commercialisation des matériaux de Construction
EURL LD AZOUAOU	ZI Oued Aissi	2010	Montage tracteur agricole MAHINDRA -fabrication Matériels agricole -fabrication èspièce de précision
SARL ALIOUA Chaudronnerie	ZI Oued Aissi	2017	Fabrication chaudière, générateur, cuve, échangeur, et incinérateur Installation chauffage plomberie
SPA ALDAPH	ZI Oued Aissi	2006	Production pharmaceutique
ORLAC	Draa Ben Khedda	2008	Production laitière
SNLB	Taboukert ( Azazga)	1998	Fabrication de meubles



Chapitre 3 :

# Matériels et méthodes

Ce chapitre décrit les différents prélèvements et protocoles mis en place pour l'obtention des échantillons, ainsi que les différentes techniques analytiques employées pour leurs caractérisations.

## Echantillonnage

L'étude des sédiments marins nécessite un échantillonnage approprié au vu de la complexité de ce compartiment. Le sédiment présente à la fois une fraction liquide (eaux interstitielles) et une fraction solide constituée par un ensemble de minéraux plus ou moins réactifs (quartz, argiles, carbonates, oxydes, sulfures, ...), par de la matière organique (protéines, lipides, polysaccharides, substances humiques, ...), et par des organismes vivants (micro et macro-organismes benthiques). La spéciation (forme chimique) et la distribution des ETM entre ces deux fractions est fortement dépendante des conditions biogéochimiques du milieu (Eh, pH, température, activité bactérienne...).

Par conséquent, la modification de ces paramètres pourra influencer l'état de pseudo-équilibre établi (par des phénomènes de précipitations, dissolutions, adsorptions...), ce qui faussera la composition réelle du milieu. Ainsi le prélèvement devra préserver autant que possible la structure du sédiment pour limiter la perturbation de cet équilibre.

### 1. Travaux effectués en mer

Le choix de l'emplacement des points de prélèvement est fait en fonction de l'objectif de l'étude. Pour cela, on a sélectionné d'une manière générale l'embouchure de l'Oued Sebaou. Le prélèvement des échantillons a été effectué à bord de :

➤ Le navire privée TAREK 1 lors d'une sortie en mer le 29/07/2017 à 10h54min. Le prélèvement du sédiment a été effectué au moyen d'un carottier de type UWITEC.

#### 1.1. Préparation du matériel de la sortie en mer

Liste du matériels utilisés lors de la sortie en mer :

- Une embarcation
- Un carottier
- Un Portoir
- Un GPS
- Une Corde
- Un décimètre

#### 1.2. Prélèvement des carottes sédimentaires

Un carottier de prélèvement (de type : UWITEC, tube en PVC, longueur 60 cm, diamètre interne 8.5 cm, poids 4kg )(figure 10) a été prélevées par nous à une profondeur de - 50 m en face l'embouchure de Oued Sebaou dont les coordonnées géographiques sont les suivant :36°54'46.27'' N 3°51'17.82'' E .

Le tube de la carotte en est lesté à son extrémité inférieure par une balle avec ligne de libération grâce auxquels il peut tomber librement et pénétrer dans le fond marin. Le carottier est descendu à l'aide d'une corde. Il est réglé pour tomber en chute libre.

La profondeur à laquelle il pénètre dépend de son poids et des propriétés physiques des sédiments. Comme ce modèle est un peu lourd, il peut arriver à une grande profondeur si on le laisse parcourir une trop grande distance en chute libre. Le bas du tube, une fois celui-ci enfoncé dans le sédiment (30 cm), est bouché avec la balle.

Le tube contenant du sédiment et l'eau surnageant est ensuite remonté verticalement vers le navire, puis transporté avec précautions dans un support adapté jusqu'au laboratoire.



**Figure 9:** Carte de station de prélèvement

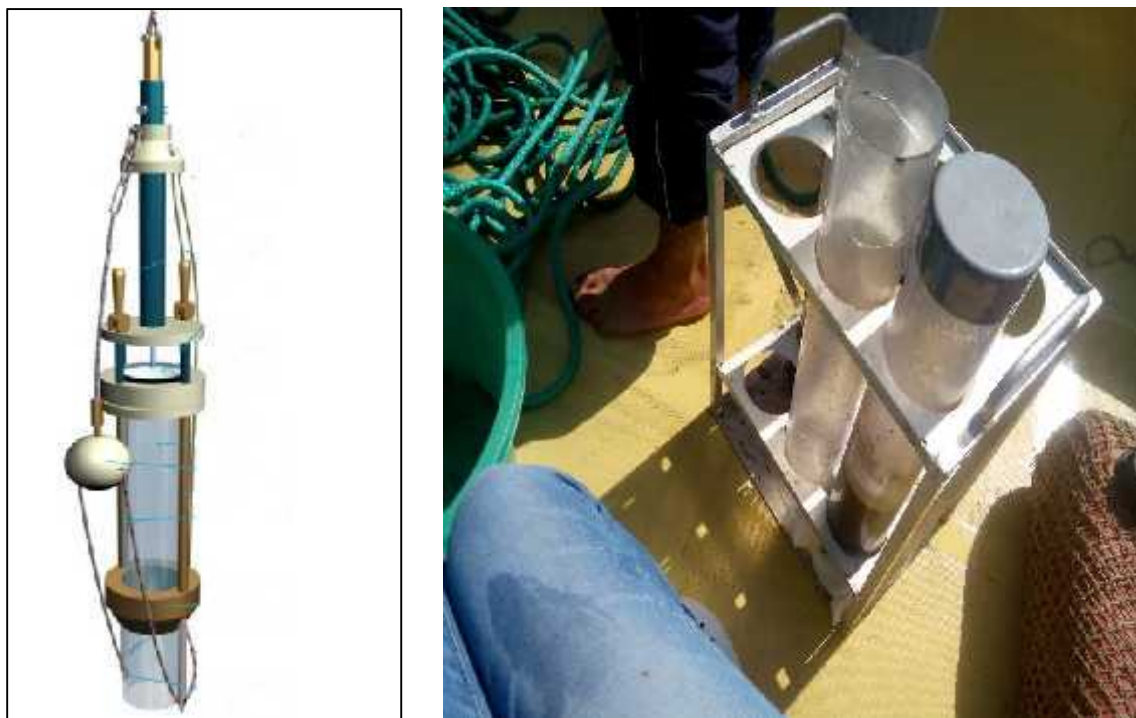


Figure 10 : Images correspondantes au carottier utilisé

### 1.3. Traitement des carottes sédimentaires

Une fois les carottes déchargées au laboratoire, l'excès d'eau surnageant est aspiré par une seringue, puis la carotte est installée sur une table de découpage, puis la carotte sédimentaire est découpée à l'ordre de 0.5 cm ; 1 et 2 cm, puis on récupère les échantillons dans des sachets zip bien fermé.

Une fois la carotte découpée, les échantillons seront placés et conservés dans le réfrigérateur à une  $T^{\circ} = -18^{\circ}\text{C}$ .

### 2. Travaux effectués au laboratoire

Liste des matériels et solutions utilisés au laboratoire :

**Verrerie** : béchers en verre ; fioles en verre.

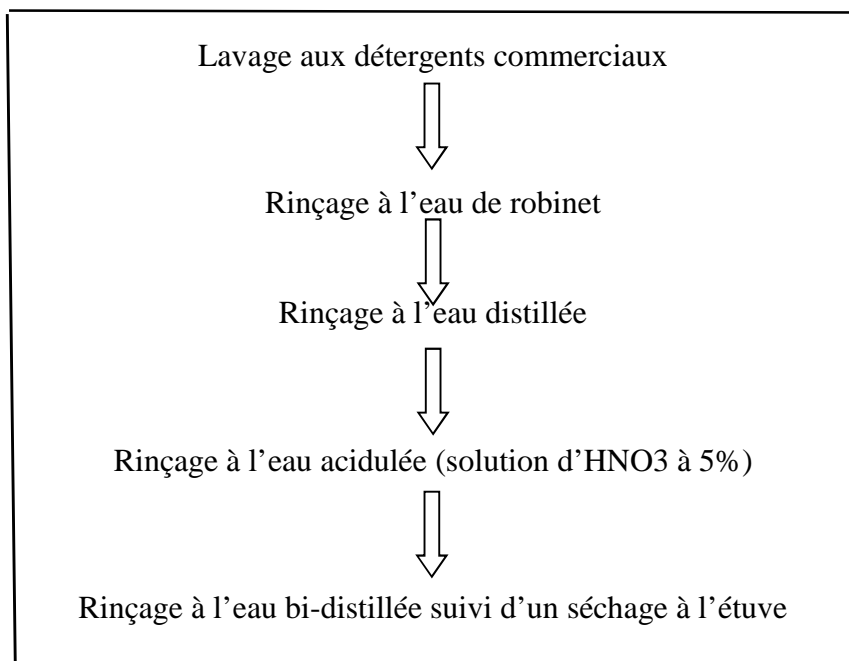
**Appareillage** : plaque chauffante ; lyophilisateur ; étuve ; balance de précision ; hotte aspirante spectromètre d'adsorption atomique ; four à moufle ;

**Solution** : Eau de robinet ; eau bi-distillée (eau Milli-Q) ; acide nitrique  $\text{HNO}_3$  - Eau distillée ; acide chlorhydrique ; eau régale ; eau acidulée.

**Autres** : Spatule en téflon ; godet en téflon (résiste à  $250^{\circ}\text{C}$ , hydrophobe) ; Flacon et sachets en plastiques ; les pinces ; masque à gaz ; les gants ; creusets ; mortier en porcelaine ; tubes coniques.

## 2.1. Nettoyage du matériel :

Dans le but d'éviter toute source de contamination, tous matériels destinés à être en contact avec l'échantillon doivent être lavés et conditionnés pour les problèmes de contamination (AIEA, 2001). Les étapes sont résumées dans le schéma suivant :



**Figure11** : Schéma de conditionnement du matériel

## 2.2. Traitement des échantillons

### 2.2.1 Lyophilisation

La lyophilisation est une technique permettant la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation à basse température pendant 48 heures.

La lyophilisation est préférable à la déshydratation à l'étuve car cette dernière entraîne une perte des métaux lourds les plus volatils en particulier le mercure.

Les échantillons lyophilisés sont pesés et leur poids sec est noté Ps.

### 2.2.2. Broyage des échantillons :

Les échantillons ont été broyés pour les digestions acides dans un mortier en porcelaine.

Dans tous les cas, entre chaque échantillon, les différents mortiers en porcelaine ont été nettoyés avec soin, de la façon suivante : d'abord avec le lessive ; puis les rincer avec l'eau de robinet ; ensuite on procède à un rinçage avec l'eau distillé ; finalement le mortier est essuyé avec un papier essuyeur. Le mortier ainsi propre est laissé à sécher à l'étuve.

Cette procédure permet de s'affranchir de la contamination entre échantillons broyés.

### **2.3. Minéralisation ou digestion des échantillons de sédiments pour l'extraction des éléments traces métalliques**

Les échantillons de sédiments séchés et homogénéisés (pour avoir une meilleure réparation des éléments métalliques) ont subi une digestion à l'eau régale (aqua regia) : (mélange de trois volumes d'acide chlorhydrique concentré et d'un volume d'acide nitrique concentré. Les alchimistes ont appelé ce mélange « eau régale » (c'est - à dire royale) pour ses propriétés : il dissout en effet l'Or et d'autres métaux dits nobles), sur une plaque chauffante dans des godets en téflons préalablement lavés à l'acide nitrique. Les étapes dans l'ordre ont commencé par :

#### **2.3.1. Préparation de l'eau régale pour l'extraction des échantillons (aqua regia)**

Toutes les solutions ont été préparées avec de l'eau ultra-pure et tout le matériel a été lavé avec de  $\text{HNO}_3$  à 10 % et rincé à l'eau ultra-pure pour minimiser toutes contaminations extérieures. Un volume d'eau régale a été préparé à tous les échantillons, un blanc nous servant de référence. L'extraction à l'eau régale est préconisée pour notre type d'analyse (détermination de Fe, Zn, Cu, Mn) par les normes de l'I.A.E. A (1985). La solution utilisée est un mélange  $\text{HNO}_3$  (69%) et HCL (37%) dans les proportions 1v/3v.

-L'HCL concentré est un excellent solvant pour les échantillons inorganiques mais n'a qu'une application limitée pour décomposer les matières organiques, il est largement utilisé pour dissoudre de nombreux oxydes métalliques ainsi que les métaux plus oxydables que l'hydrogène.

-L' $\text{HNO}_3$  concentrée est un oxydant puissant qui dissout tous les métaux usuels. Chaud, seul ou en combinaison avec d'autres agents acides et oxydants (HCL), il est largement utilisé pour décomposer les échantillons organiques avant d'en déterminer la teneur en traces métalliques. Comme la majeure partie des techniques d'analyses disponibles exigent forcément l'introduction de l'échantillon en état liquide, il est généralement nécessaire d'effectuer préalablement une digestion de l'échantillon pour dissoudre les métaux présents dans le sédiment. Cette digestion s'effectue par voie humide à travers l'utilisation d'un mélange d'acides (**Kebbekus,2003**).

#### **2.3.2. Principe de la digestion ou de la minéralisation**

La minéralisation est une opération d'extraction et de solubilisation des métaux lourds après décomposition des échantillons qui s'effectue :

En milieu acide : l'opérateur doit nécessairement manipuler sous une hotte aspirante et se munir du matériel de protection adéquat (masque à gaz, et gants).

#### **2.3.3. La minéralisation à blanc**

C'est une opération qui permette de nettoyer les godets en téflon sans mettre l'échantillon ; pour le faire on introduit 4ml d'acide nitrique, et bien fermer les godets avec les pinces. Placer les godets sur une plaque chauffante à  $120^\circ\text{C}$  pendant 2heures 30 min. Après les avoir retirés et laisser refroidir, rincer avec l'eau bi-distillée, et séchage à l'étuve à  $55^\circ\text{C}$ .

#### **2.3.4. Minéralisation de l'échantillon**

Cette étape doit permettre l'élimination des matières organiques tout en stabilisant l'analyte.

La minéralisation a été effectuée à partir d'une plaque chauffante à une température de 120 °C pendant 2h30min.

On met la prise d'essai (0.5 g) avec précaution dans des godets en téflon puis on rajoute 1.5 ml d'acide Nitrique supra pur à 69 % plus 4.5 ml d'acide chlorhydrique, On laisse reposer toute une nuit jusqu'à la dissolution de l'échantillon avant la minéralisation. Puis on met les godets sur la plaque chauffante à une température de 120 °C pendant 2h30min.

Puis on récupère le minéralisât dans des tubes coniques jaugée de 50 ml que l'on complète avec de l'eau ultra pure avec agitation, puis le conserve à une T° de 4°C.

Parfois on met les échantillons dans un bain à ultras son ou on les filtre si nécessaire.

Il est essentiel de procéder à la même opération pour l'échantillon d'inter calibration mais avec une prise de 0.25 g.

## **2.4. Dosage des éléments traces métalliques par la Spectroscopie d'absorption atomique**

### **2.4.1. Principe**

Le principe consiste à aspirer l'échantillon sous forme liquide dans une flamme à une température de l'ordre de 1 700 à 2 550 °C, de sorte qu'il se forme une vapeur atomique (atomes neutres, libres et à l'état fondamental). On irradie cette vapeur avec une lampe spectrale à cathode creuse. Ces lampes émettent des raies de transition des atomes recherchés. Seuls les atomes recherchés absorbent la radiation excitatrice. Ce qui nous permet de lier l'absorption lumineuse à la concentration des atomes étudiées. Cependant il y a toujours une absorption non spécifique si minime soit-elle. Cette dernière est significativement diminuée par l'emploi d'une lampe au Deutérium (correcteur de bruit de fond). En plus de la simple dilution ou de la minéralisation par voie humide souvent décrite, on préconise l'utilisation d'une solution de modificateur de matrice qui permet de transformer l'élément à doser en ses formes les plus stable thermiquement : composés oxydes, formes réduites ou phosphates, ...

La formation des atomes neutres est réalisée par la vaporisation et l'atomisation dans une flamme air-acétylène.

L'analyse des éléments traces dans le sédiment de Sebaou a été réalisé au niveau de laboratoire de Sidi Fredj avec préparation des différents standards.

### **2.4.2. La spectrométrie d'absorption atomique**

La spectrométrie d'absorption atomique est une méthode d'analyse quantitative qui permet de doser les d'éléments chimiques à l'état de traces. Elle permet d'analyser directement des eaux exemptes de particules après une simple acidification. L'analyse est basée sur la mesure de l'absorption d'une onde électromagnétique par un atome lorsqu'il est éclairé par une source lumineuse de longueur d'onde spécifique.

Le spectromètre utilisé est un « Polarized Zeeman Z-5000 » à flamme air acétylène.

Les solutions pour l'étalonnage ont été préparées selon la norme à partir de la solution mère à 1kg/l. Les concentrations des solutions filles varient selon l'élément qu'on veut l'analyser.

### **2.4.3. Lecture par SAA**

Le dosage des éléments traces est réalisé par la spectrométrie d'absorption atomique avec flamme (SAA). Une solution contenant l'élément métallique à doser est injectée dans une flamme dans laquelle les éléments tendent à rester à l'état fondamental. Une radiation de longueur d'onde caractéristique de l'élément à doser provenant à une lampe à cathode creuse est émise à travers la flamme. En absorbant cette énergie est mesurée par un

spectrophotomètre, et elle est fonction du nombre d'atomes présents sur le chemin de la radiation à tout moment (**Delval,1984**). L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de **Beer Lambert** selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique **a**, au trajet optique **b** et à la concentration **c**.

#### 2.4.4. Loi de Beer-Lambert

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert. D'après cette dernière, la densité optique d'une solution d'une substance absorbante dans un solvant transparent est proportionnelle à l'épaisseur de la solution traversée et à la concentration des substances absorbantes de la solution.

$$I = I_0 \cdot e^{-K.L.C} \quad (1)$$

La lecture s'effectue en absorbance (A) ou en densité optique (DO) :

$$A = DO = \text{Log } I_0 / I = . L.C \quad (2)$$

Où :

**I** : intensité de l'énergie lumineuse transmise (émergente).

**I<sub>0</sub>** : intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente).

**K** : coefficient d'absorption atomique (constante).

**L** : longueur du trajet optique (constante).

**C** : concentration de l'élément absorbant (analyte).

#### 2.5. Appareillage

L'appareil utilisé pour le dosage des éléments traces métalliques est un spectrophotomètre HITACHI, modèle Z-5000, type correction de l'absorbance non spécifique (ANS) par utilisation de l'effet Zeeman. Cet appareil est principalement constitué de (HITACHI, 2000) (annexe 2 : figure 4) :

- Source d'atomisation
- Source de radiation
- Système de miroirs
- Brûleur
- Four à graphique
- Monochromateur
- Détecteur relié à un amplificateur
- Dispositif d'acquisition

#### 2.6. Etalonnage

La méthode d'étalonnage utilisée est celle des standards. La calibration du spectrophotomètre est réalisée à partir de quatre ou cinq standards (STD<sub>1</sub>, STD<sub>2</sub>, STD<sub>3</sub>, STD<sub>4</sub> et STD<sub>5</sub>) (dépend du métal qu'on veut l'analyser) de concentration croissantes (mg/l), seul S<sub>1</sub> est toujours le même.

Les absorbances de ces solutions standards sont mesurées, ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage (Absorbance = f (concentration)), pour les faibles concentrations, c'est-à-dire pour les faibles absorbances, la courbe est quasi linéaire, donc de la forme :

$$Y = a X + b$$

Où :

**Y** : Densité optique (DO).

**X** : Concentration du métal à analyser

**a** : Pente de la courbe

**b** : Ordonnée à l'origine

## 2.7. Calcul des concentrations

A partir de la droite d'étalonnage on obtient la concentration du métal dans l'échantillon minéralisé par une régression linéaire.

### 2.7.1. Calcul du poids corrigé de l'échantillon

#### 2.7.1.1. Calcule le taux d'humidité

Le calcul se fait par l'application de la formule suivante (A.I.E.A., 2001).

$$A\% = ((P1 - P2) / P1) \times 100 \quad (3)$$

Où :

**A** : taux d'humidité (%).

**P1** : poids de creuset vide + le poids d'échantillon dans le creuset (g).

**P2** : poids de l'échantillon dans le creuset après 24 h à 105 °C (g).

#### 2.7.1.2. Correction du poids du sédiment

La correction se fait à partir de l'expression suivante :

$$P_c = P - ((A\% / 100) \times P) \quad (4)$$

Où :

**P<sub>c</sub>** : Poids de l'échantillon corrigé (g).

**P** : Poids de l'échantillon pesé pour la minéralisation (g)

**A** : Taux d'humidité (%).

### 2.7.2. Détermination de la concentration au niveau du sédiment

Dans le sédiment la concentration de l'élément est calculée selon la formule suivante :

$$C = (C_c - C_b) \times 10^{-3} \times V \times F_d / P_c \quad (5)$$

Où :

**C** : Concentration du métal dans la matrice sédimentaire (µg/g).

**C<sub>c</sub>** : Concentration du métal présent dans l'analyte (ng/ml).

**C<sub>b</sub>** : Concentration du métal dans le blanc de la procédure (ng/ml).

**V** : Volume de la solution finale après minéralisation (50ml).

**F<sub>d</sub>** : Facteur de dilution.

**P<sub>c</sub>** : Poids sec corrigé de l'échantillon de sédiments minéralisé (g).

## 3. Evaluation du niveau de la pollution

### 3.1. Indice de contamination métallique

L'évaluation du niveau de pollution dans un échantillon sédimentaire est menée par calcul d'un indice de contamination qui est le rapport entre la teneur en métal observée et celle considérée comme référence (A.B.R.M.C ;1988), soit :

L'Indice de Contamination (I.C.) évalue le niveau de pollution dans un échantillon sédimentaire est représenté par le rapport entre la valeur guide de l'élément trace considéré (en référence aux valeurs guides admises par l'Agence du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 1988) et sa teneur dans le sédiment étudié.

$$IC = \frac{T_c \text{ sédiment}}{T_c \text{ référence}}. \text{ (A.B.R.M.C ;1988)} \quad (6)$$

**Tableau 12 :** Interprétation de l'état de pollution par I.C (A.B.R.M.C ;1988).

IC	Observations
IC < 3	Les sédiments correspondants sont considérés comme normaux
3 < IC < 10	L'indice de contamination caractérise des sédiments pollués
10 < IC	Les sédiments correspondants présentent des risques pour les écosystèmes marins.

En outre, l'interprétation et l'évaluation de la contamination métalliques d'un sédiment sont tributaires d'une connaissance parfaite des teneurs de référence. Ces dernières sont difficiles à établir en raison de la grande hétérogénéité géochimique et lithologique des sédiments (Belamie et Phelippot ; 1982).

### 3.2. Définition et calcul du facteur d'enrichissement (EF)

La détermination de la teneur métallique dans le milieu naturel peut être un indicateur de contamination, cependant elle ne fournit pas d'indication sur la nature et de l'intensité de la contamination. Le facteur d'enrichissement (EF) a été proposé pour discriminer les apports anthropiques des sources naturelles, et ainsi définir l'intensité de la contamination. EF a été conçu pour des études de pollution métallique dans des tourbières (Shotyk, 1996). Sa conception a été inspirée par analogie des indices de météorisation, ces indices utilisent la comparaison entre les éléments mobiles par rapport à des éléments conservatifs. L'élément conservatif est utilisé pour quantifier le gain d'un élément dans un produit d'altération par rapport à la roche mère et ainsi définir un apport anthropique (Shotyk *et al.*, 2000).

Le facteur d'enrichissement fourni le nombre de fois qu'un élément est enrichi par rapport à l'abondance de cet élément dans le matériau de référence (croûte terrestre). Son calcul a été défini en rapportant la teneur d'un élément contaminant de l'échantillon à la concentration d'un élément réputé relativement immobile de cet échantillon (éch), comparé avec le même rapport trouvé dans le matériau de référence (MR).

$$FE = \frac{[M]_{éch} / [E]_{éch}}{[M]_{MR} / [E]_{MR}} \quad (7)$$

Le Fer (Fe) est choisi comme élément immobile de référence (il est naturellement présent dans les eaux et les sédiments. En plus, il fait partie des matériaux de référence largement utilisés dans la littérature)

Où :

**FE** : facteur d'enrichissement ;

**[M]<sub>éch</sub>** = concentration en métal M dans l'échantillon ;

**[EN]<sub>éch</sub>** = concentration de l'élément normalisant dans l'échantillon ;

**[M]<sub>MR</sub>** = concentration du métal M dans le matériau de référence

**[EN]<sub>MR</sub>** = concentration de l'élément normalisant dans le matériau de référence.

En absence d'enrichissement ou d'appauvrissement, ce rapport est égal à 1. S'il y a des apports anthropiques ce rapport augmente proportionnellement à l'intensité de la pollution.

**Andrews et Sutherland (2004)** ont établi un index de pollution comprenant 5 catégories, définies comme suit :

**Tableau 13 : Classification d'Andrew et Sutherland (2004).**

Valeur de FE	Intensité de pollution
FE < 2	Pollution minimale
2 < FE < 5	Pollution modérée
5 < FE < 20	Pollution significative
20 < FE < 40	Pollution élevée
FE > 40	Pollution extrême

### 3.3. L'Indice de Géo-accumulation (I-géo)

Cet indice se détermine à partir du niveau de base de la teneur en métaux dans le sédiment selon la formule suivante (**Müller,1981**) :

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1.5 B_n) \quad (8)$$

Où :

**I<sub>geo</sub>** : Indice de géoaccumulation ;

**Log<sub>2</sub>** : Logarithme de base 2 ;

**n** : Élément considéré ;

**C** : Concentration mesurée dans l'échantillon ;

**B** : Fond géochimique ;

**1.5** : Facteur d'exagération du fond géochimique, dont la fonction est de prendre en compte les fluctuations naturelles du fond géochimique

**Tableau 14 : Classification de (Müller,1981).**

Classe	Valeur	Intensité de pollution
0	I <sub>geo</sub> < 0	Non pollué
1	0 < I <sub>geo</sub> < 1	De non pollué à modérément pollué
2	1 < I <sub>geo</sub> < 2	Modérément pollué
3	2 < I <sub>geo</sub> < 3	De modérément pollué à sévèrement pollué
4	3 < I <sub>geo</sub> < 4	Sévèrement pollué
5	4 < I <sub>geo</sub> < 5	De sévèrement pollué à très sévèrement pollué
6	I <sub>geo</sub> > 5	Très sévèrement pollué

**Tableau 15 : les valeurs guides de l'indice de contamination (IC) de chaque métal (A.B.R.M.C ;1988) :**

Teneurs en métaux	Fe	Cu	Zn	Mn
Valeurs guides (mg.kg <sup>-3</sup> )	20000	26	88	400

#### 4. La matière organique (MO)

La méthode de détermination de la teneur de la matière organique dans le sédiment, est la perte au feu (**Rodier, 1996**).

Le principe de la méthode repose sur l'incinération des échantillons de sédiment séché ou lyophilisé dans un four à moufle à 600 °C pendant 2 heures afin de brûler toute la MO.

##### 4.1. Mode opératoire

Peser les échantillons lyophilisés avec une balance de précision, on obtient alors le poids P1.

Mettre les échantillons pesés au four à moufle à 600 °C pendant 2 h.

On effectue une deuxième pesée (poids P2 : poids de sédiment calciné)

La différence du poids entre P1 et P2 représente le poids de la matière organique.

$$\text{MO (g)} = (\text{P1} - \text{P0})$$

Ce taux est exprimé par la formule suivante :

$$\% \text{MO} = ((\text{P1} - \text{P2}) / \text{P1}) * 100 \quad (9)$$

A decorative scroll graphic with a central text box. The scroll is white with a black outline and features three grey circular elements at the top corners, resembling rolled-up paper. The text is centered within a white rectangular box with a black border.

**Chapitre 4 :**  
**Résultats et Discussions**

Ce chapitre présente la distribution des concentrations des quatre métaux analysés (Cu, Zn, Mn, Fe) le long de la carotte prélevée au large de l'embouchure de l'Oued Sebaou, et le taux de la matière organique dans les couches de la carotte sédimentaire. Nous tenterons de discuter les profils des métaux et de la matière organique par rapport à leur distribution verticale.

La deuxième partie comprendra l'évaluation des indices de contaminations de la carotte sédimentaire.

## 1. Présentation des profils des métaux traces dans la carotte

### 1.1. Analyse paramétrique

Les résultats des analyses de la matière organique et les teneurs en métaux traces (Fe, Cu, Zn, Mn) dans les couches sédimentaires de la carotte prélevée à l'Embouchure de l'Oued Sebaou sont résumées dans le tableau ci-dessous, sous forme de valeurs moyennes et extrêmes.

**Tableau 16** : les valeurs moyennes et extrêmes de la matière organique et des teneurs en métaux traces dans la carotte sédimentaire.

Paramètres	Taux MO	Cuivre	Zinc	Fer	Manganèse
Unité	%	µg/g			
Max.	11.10	21.64	84.26	15630,32	376.78
Min.	7.26	16.08	75.10	4442,10	330.24
Moy.	8.28	18.93	80.06	14067,63	354.36
Ecart-type	0,86	1,8	2,3	2692,57	13,5

#### 1.1.1. Le taux de la matière organique

Les résultats illustrés dans le tableau 16, représentent les pourcentages de la MO enregistrés dans le sédiment du site étudié suivant le protocole de perte au feu. En tenant compte des valeurs enregistrés qui varient entre un maximum de 11.10 % à [12-14] cm, et un minimum de 7.26% entre [8-9] cm à la surface de la carotte, [18-20] cm et à [28-30] cm aux couches profondes, avec une moyenne de 8.28% et un écart-type faible de l'ordre de 0,86%.

#### 1.1.2. Les concentrations des métaux traces

##### 1.1.2.1. Le cuivre

Les teneurs en cuivre dans la carotte sédimentaire (Tableau 16) fluctuent entre un minimum de 16.08 µg/g et un maximum de 21.64 µg/g.

La moyenne de cette répartition homogène est de l'ordre de 18.93 µg/g avec un écart-type de 1.8 µg/g.

Les faibles concentrations en cuivre obtenus se trouve à [9-10]cm de la surface de la carotte, [22- 24] et [28-30]cm à la base de la carotte. La concentration assez élevée en cuivre retrouvée à [5-6]cm de la surface de la carotte.

### 1.1.2.2. Le zinc

Pour le zinc, les concentrations obtenues au niveau de la carotte sédimentaire (Tableau 16) appartiennent à l'intervalle [75.10 - 84.26]  $\mu\text{g/g}$  avec une moyenne 80.06  $\mu\text{g/g}$  et un écart type de l'ordre de 2,3  $\mu\text{g/g}$ .

Deux faibles teneurs sont retrouvées en surface de la carotte aux couches [0-0.5]cm et [2-3]cm, et la plus forte concentration est détectée à [22-24] cm.

D'une manière globale, toutes les autres concentrations du zinc plus ou moins proches de la moyenne.

### 1.1.2.3. Le manganèse

Le sédiment de la carotte de Sebaou présente des concentrations en manganèse qui varient entre un minimum de 330.24  $\mu\text{g/g}$  et un maximum de 376.78  $\mu\text{g/g}$ , et une moyenne de 354.36  $\mu\text{g/g}$  avec un écart type fort de l'ordre de 13,5  $\mu\text{g/g}$ .

La faible teneur en manganèse constatée dans la surface à [2-3] cm et la concentration maximale est constatée à [14-16] cm.

Le reste des concentrations montrent des valeurs plus ou moins proches à la moyenne.

### 1.1.2.4. Le fer

La carotte de Sebaou montre des concentrations en ce métal entre un minimum de 4442,10  $\mu\text{g/g}$  et un maximum de 15630,32  $\mu\text{g/g}$ , avec une moyenne de 14067,63  $\mu\text{g/g}$  et un écart-type très élevé de l'ordre de 2692,57  $\mu\text{g/g}$ .

La teneur la plus faible est localisée à la base de la carotte à [28-30] cm tandis que la plus élevée est détectée à la base à [18-20] cm.

Par ailleurs, il est à noter que les autres valeurs de concentrations de fer ne sont pas stables.

## 1.2. Distribution verticale

Avant de présenter la distribution des différents éléments traces métalliques (ETM) potentiellement toxiques dans l'Embouchure de l'Oued Sebou, il semble intéressant d'examiner le profil de la matière organique.

### 1.2.1. La distribution verticale du taux de la matière organique

La matière organique est une composante essentielle en raison de son rôle trophique vis-à-vis du compartiment microbien et de son rôle d'adsorption des contaminants. Elle est donc importante dans le contrôle de la biodisponibilité des polluants. En même temps, un taux de MO élevé peut appauvrir le milieu en oxygène nécessaire au processus de biodégradation, tout comme pour les MES dont la charge élevée influe sur l'oxygénation des eaux et la pénétration de la lumière. Cependant la sédimentation des MES et leur transport dépendent de l'état de mer (courants et agitation des eaux) et du diamètre des particules (**Belkessa, 2005**).

Le profil de la matière organique dans la carotte montre que les couches supérieures ont des teneurs supérieures à celles des couches inférieures.

Le pic qui présente la concentration la plus élevée se trouve à 14 cm, ceci peut être dû à l'importance de l'activité biologique dans cette couche de surface qui dégrade la matière organique (bioturbation). En dessus de cette couche le taux de la matière organique rediminue pour atteindre son minimum dans la couche [8-9]cm.

En générale le profil de la matière organique montre des diminutions et augmentations plus ou moins perturbées dans toutes les couches de la carotte sédimentaire.

Les teneurs en MO peuvent être attribuées aux flux de la matière polluante émanant des agglomérations que compte le littoral.

L'étude de la matière organique des sédiments dans l'Embouchure de l'oued Sebaou, montre que ce système aquatique évoluant dans un environnement urbain, enregistré dans son stock sédimentaire, dans son contenu organique sédimentaire d'une part, la diversité des apports anthropiques (ville de Tizi-Ouzou par exemple) qui déséquilibrent sa balance d'oxygène et altèrent son potentiel épurateur des charge contaminantes organiques et minérales et d'autre part, les effets de conditions exceptionnellement anoxique qui se traduisent par un important taux de préservation de la matière organique en général (Haddou, 2017).

L'évaluation du taux de MO sédimentaire et de sa répartition verticale à travers notre site d'étude permet de conclure que le taux d'enrichissement à l'embouchure de l'Oued Sebaou est une zone où les conditions sont plus clémentes, du fait de son éloignement des sources d'apport, avec des apports urbains limités, ne vont susciter qu'un impact limité sur la qualité de l'environnement aquatique qui se traduit par un taux d'enrichissement moins important.

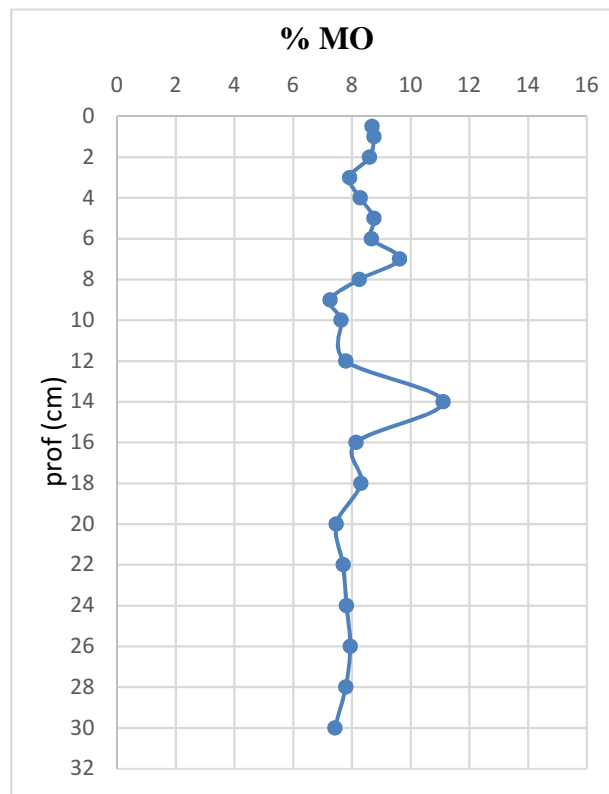


Figure 12 : Profil de la matière organique dans la carotte sédimentaire de Sebaou

## 1.2.2. La distribution verticale des concentrations des éléments traces métalliques

### 1.2.2.1. Profil du Cuivre

La distribution verticale du cuivre est illustrée à la Figure 13. Cette distribution a montré que les concentrations de Cu a lentement augmenté de la couche inférieure (30 cm) à la couche supérieure (6 cm).

L'évolution des teneurs en Cu avec la profondeur fait apparaître un pic principal de concentration de 21.64 ug/g de poids sec a 6 cm, puis une diminution avec la profondeur. La position de ce pic semble coïncider avec une augmentation des concentrations observées au niveau du profil de Fe et de MO.

Les teneurs en cuivre au niveau de pic peuvent être dues à l'hypothèse suivante : anomalie géochimique. Dans les couches sédimentaires, cette anomalie a son effet sur le comportement du cuivre. Ajouter à cela, les rejets industrielles et domestiques apportés par l'Oud de Sebaou ont également leur part dans les concentrations élevées du cuivre.

Cependant l'observation attentive des profondeurs révèle un léger décalage vertical. Il a été démontré que Cu arrive à la surface des sédiments principalement associé à la MO biodégradable et qu'il est donc relargué dans les eaux interstitielles consécutivement à sa dégradation. Cette dégradation étant maximale dans la zone oxicque des sédiments, par voie de conséquence c'est également dans cette zone que la production maximale de Cu dissous est observée. Cette association de Cu avec la MO explique le décalage observé par rapport aux pics de Fe. Ainsi, Cu produit diffusera vers le haut, occasionnant ainsi l'enrichissement de la colonne d'eau ; et vers le bas où il sera progressivement consommé, provoquant son élimination des eaux interstitielles. Cette consommation est attribuable soit à la précipitation directe des sulfures de Cu, soit à l'adsorption ou à la co-précipitation avec les sulfures de Fe

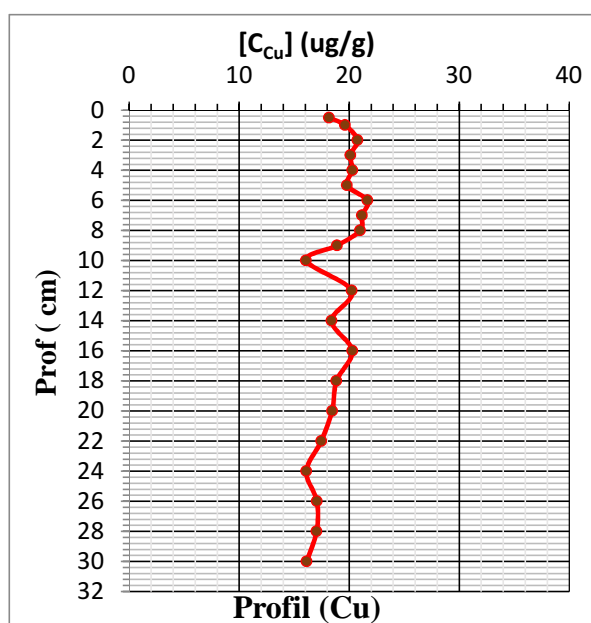


Figure 13 : Profil du cuivre dans la carotte sédimentaire de Sebaou

### 1.2.2.2. Profil du zinc

Le zinc co-précipite avec les oxydes de fer et de manganèse ainsi qu'avec la matière organique (Sposito, 1989) ce qui réduit la solubilité de ce métal mais pour McBride (1989), le zinc est majoritairement adsorbé à la surface des oxydes fraîchement précipités plutôt qu'incorporé dans la matière ce qui fait qu'il n'est pas complètement piégé.

Les teneurs en zinc dans la carotte sédimentaire augmentent de la surface jusqu'à la profondeur [22-24]cm où elle rediminuent légèrement avec un écart type faible révélant une homogénéité dans la variation verticale du zinc. L'exception se trouve à la couche 24-26 cm où l'apparition d'une teneur assez faible. On peut même nuancer une concentration significativement élevée au même niveau pour le manganèse.

La teneur la plus élevée et la plus basse se trouve respectivement l'une sur l'autre. Cette anomalie peut représenter un événement important dans le passé. Il serait important de déterminer la période de l'évènement pour l'expliquer ou en trouver la cause.

Vraisemblablement, cet évènement pourrait s'agir d'une immersion de sédiment contaminés. Il serait peu probable de penser à un apport important par l'Oued Sebaou autres types d'évènements accidentels ne sont pas à écarter.

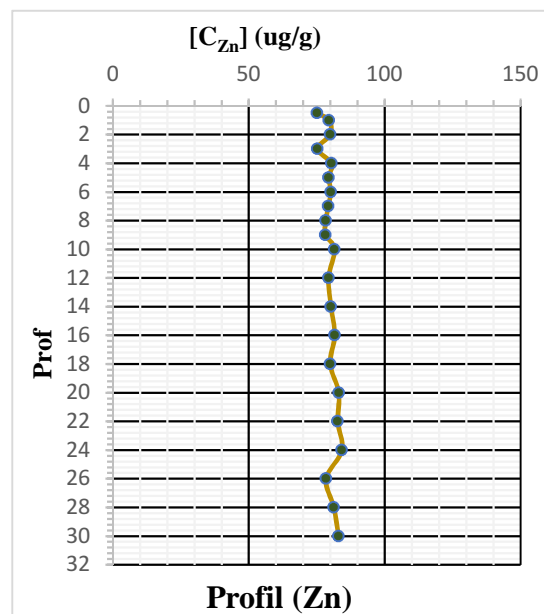


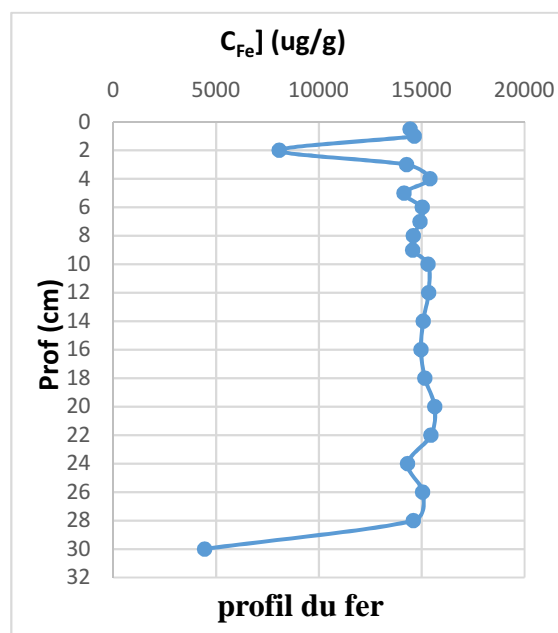
Figure 14 : Profil du zinc dans la carotte sédimentaire de Sebaou

### 1.2.2.3. Profil de fer

Le profil du fer dans la carotte sédimentaire (figure 15) montre une distribution verticale très perturbée avec des fluctuations très importantes. Cette situation s'observe aux couches de surface entre 0-4 cm et aux couches profondes entre 28-30 avec la présence de trois pics presque identiques qui s'observe entre à 18-20 cm, 3-4 cm et 9-10 cm avec des concentrations respectives de 15630,32  $\mu\text{g/g}$ , 15410,66  $\mu\text{g/g}$  et 15313,64  $\mu\text{g/g}$ .

Dans le profil du fer, il est difficile de parler de l'anomalie observée comme dans les autres éléments, les perturbations commencent des premières couches.

Selon **Burton (1976)**, **Rodier et al, (1996)**, des teneurs élevées en fer peuvent être liées aux conditions hydrodynamiques et physicochimiques et surtout à la précipitation des oxydes de fer ; car pendant les crues la forte agitation par les courants favorise une bonne oxygénation qui augmente ainsi la précipitation des oxydes de fer et de manganèse et facilite ainsi la formation et l'agrégation des particules organiques et minérales. Il est par ailleurs rapporté que l'obtention de la matière à l'état colloïdale constitue un support aux phénomènes d'adsorption de complexation et de précipitation des métaux (**Raschid, 1971 ; Sholkovitz, 1978 ; Hart, 1982**). L'autre explication à cela, serait l'activité industriels dans la wilaya de Tizi-Ouzou qui se trouve au niveau de l'axe Azazga - D.B.K et la présence de plusieurs industries qui rejette probablement leurs déchets directement à l'Oued Sebaou.



**Figure 15** : Profil du fer dans la carotte sédimentaire de Sebaou

#### 1.2.2.4. Profil de manganèse

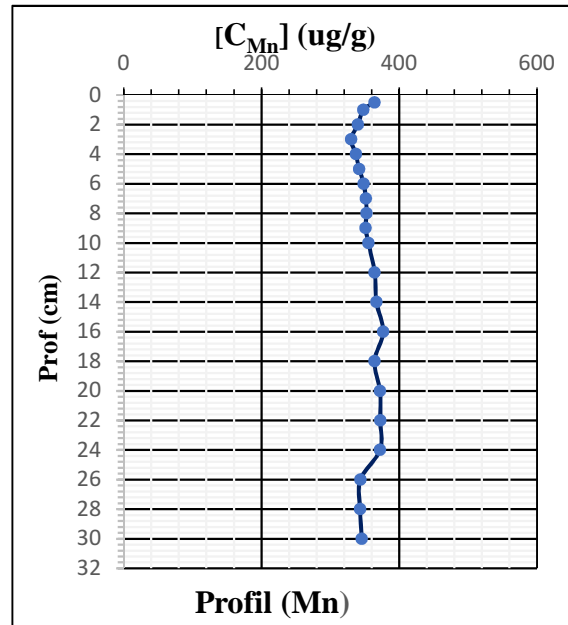
Le profil obtenu pour ce métal dans la carotte de sédiment présente de faibles fluctuations avec l'apparition d'un seul pic entre 14-16 cm.

Il est, par ailleurs, noté que notre site d'échantillonnage se trouve à l'embouchure de l'oued Sebaou, Cela suggère que l'augmentation de la température aurait une influence sur la concentration de certains éléments métalliques dans les sédiments superficiels. **Scholkovitz (1978)** montre, par ailleurs, que les oxydes de fer et du manganèse sont très sensibles aux variations du pH et du potentiel d'oxydo-réduction ; ces paramètres favoriseraient leur remobilisation et leur passage en solution.

La pollution par le manganèse est liée à l'érosion de la roche (pendant les périodes de crues où se produit un lessivage des sols) et aux rejets domestiques et urbains. L'altération des sulfates, surtout la chalcopirite ( $\text{CuFeS}_2$ ) et la galène (Pb), peuvent, selon **Jenning et al., (2000)**, accroître les sulfates et l'acidité et expliquerait ainsi cette présence de manganèse dont

l'accroissement des teneurs reste toutefois liée à l'activité minière (Salmon et Malmstrom, 2004).

Les différentes teneurs relevées par le manganèse sont inférieures aux valeurs guides ; ce qui nous donne des indices de contamination du sédiment par cet élément inférieurs à la valeur 3 et nous permet de considérer le sédiment de classe 1, non contaminé par cet élément métallique.



**Figure 16** : Profil du manganèse dans la carotte sédimentaire de Sebaou

#### 1.2.2.5. Profils des quatre éléments étudiés de la carotte

La distribution verticale des éléments métalliques analysés dans la carotte (figure17) montre d'une manière générale deux genres de profils. Le premier modèle est marqué par le profil du cuivre, du zinc et du manganèse qui évoluent d'une manière plus ou moins stable en fonction de la profondeur de la carotte, tandis que le deuxième modèle pour l'autre élément (Fe) est marqué par des fluctuations plus ou moins importantes dès les premières couches de la carotte.

Ces perturbations anormales peuvent connues un évènement important dans le passé, et pour expliquer où se trouve la cause, il est important de déterminer la période de l'évènement.

Un apport important par l'oued Sebaou peut être expliquer l'origine anthropique des éléments traces. Il pourrait s'agit aussi d'une anomalie géochimique dans les années antérieures.

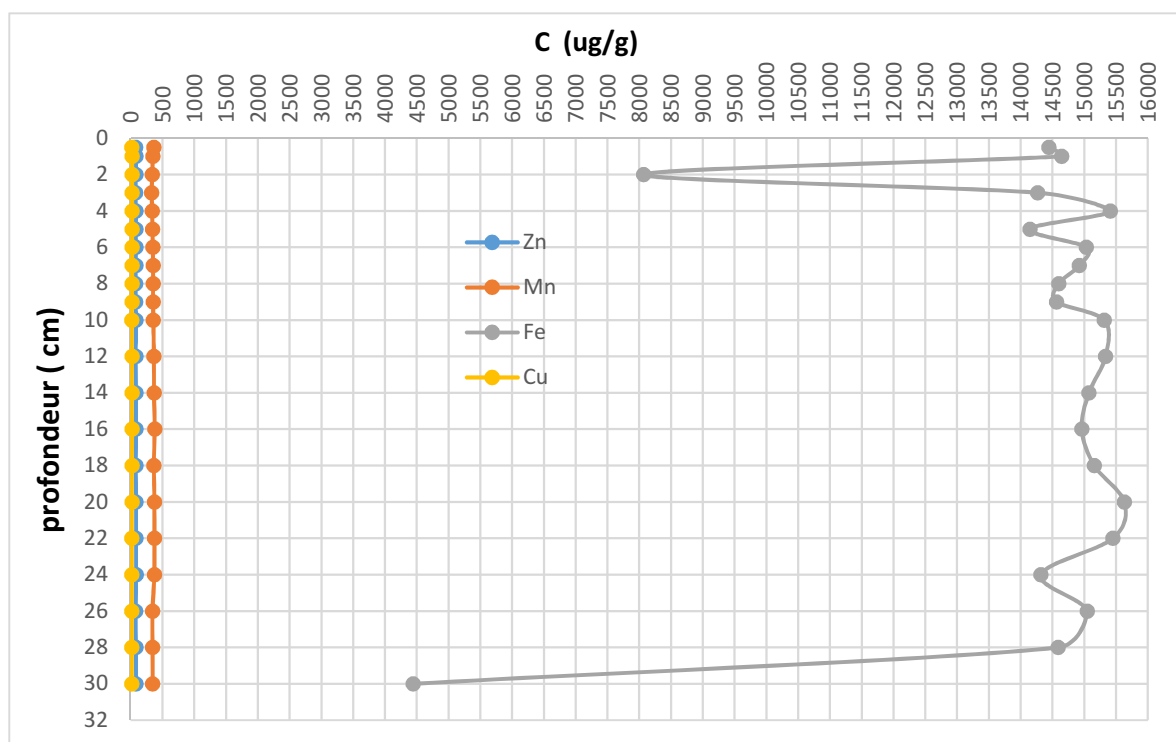


Figure 17 : Profils des quatre éléments métalliques dans la carotte sédimentaire de Sebaou

## 2. Corrélation inter-métaux dans la carotte sédimentaire

Pour expliquer les relations entre les éléments étudiés, des corrélations ont été réalisées. Pour cela, à partir de (n) couples de variable (élément métallique), une droite de régression linéaire est obtenue par la méthode des moindres carrés.

$$Y = aX + b$$

Les coefficients de corrélation ( $R^2$ ) calculés, compris entre  $[-1, 1]$ , permettent de vérifier l'existence ou non d'une relation (ou corrélation) entre les deux éléments considérés.

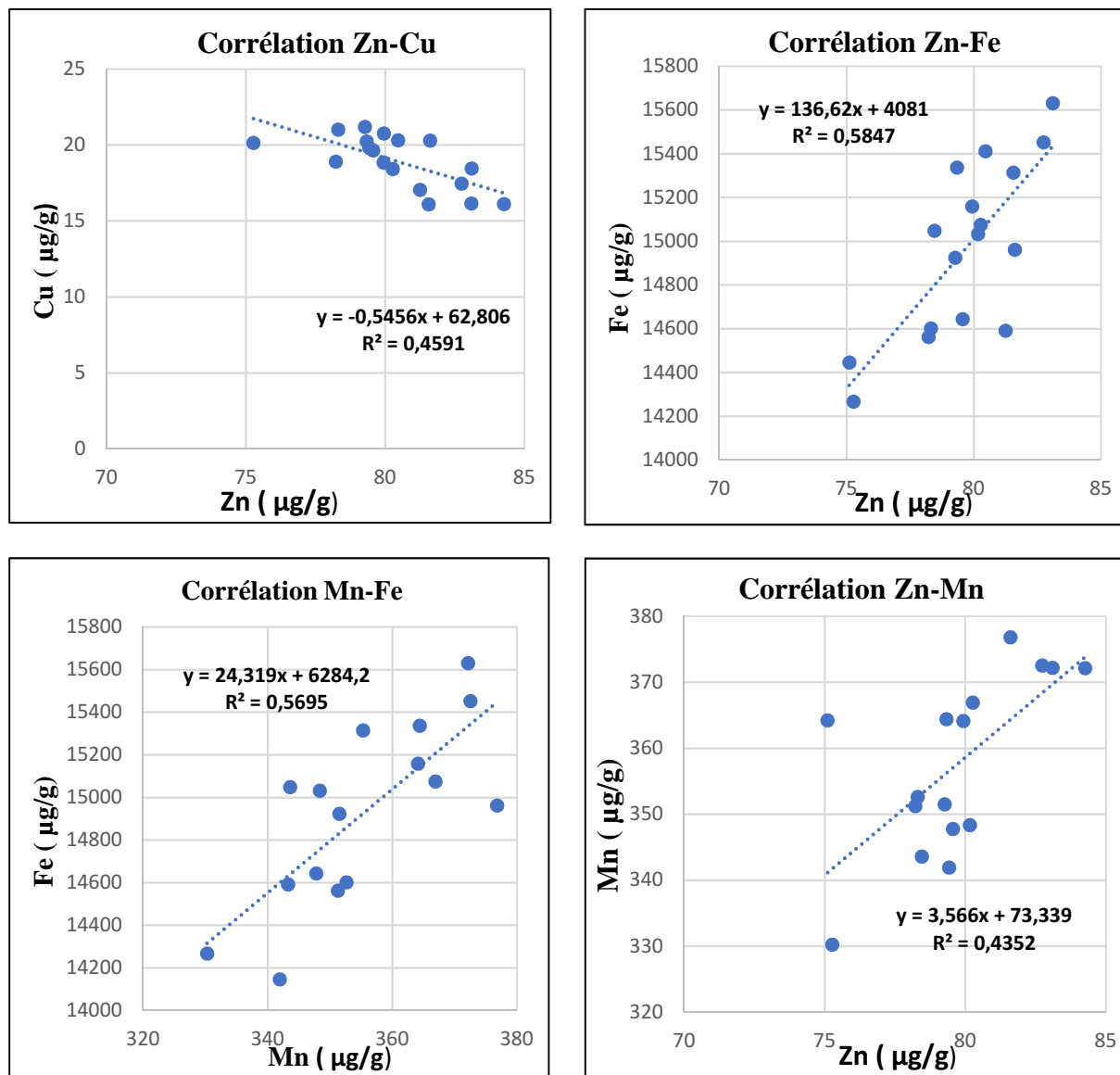
### 2.1. Discussion

Les résultats obtenus pour les quatre éléments traces sur vingt et un échantillons révèlent que les six couples des métaux montrent quatre corrélations significatives, il s'agit des couples Zn -Cu, Zn-Fe, Mn-Cu, Fe-Cu. Aussi, deux corrélations non significatives entre les couples d'éléments métalliques Mn-Fe, Zn-Mn.

Par définition, une corrélation significative entre deux variables indique que les valeurs d'une variable tendent à augmenter lorsque celles de l'autre variable augmentent. On la représente par un coefficient de corrélation positive. Les corrélations significatives entre les éléments métalliques signifient que ces derniers évoluent dans le même sens des variations des concentrations dans la carotte.

D'après les profils des métaux, on remarque pour les couples significatifs que ces éléments présentent des évolutions très variables ; lorsque l'un présente un pic de concentration élevée dans un point précis, l'autre est à une concentration élevée au niveau de ce même point.

Cela peut être expliqué probablement par la source de ces éléments qui est différente ; ils proviennent des sources naturelles (érosion des roches, fond géochimique, ...) ou bien des activités anthropiques (eaux usées, rejets urbains, rejets industriels,).



**Figure 18 :** Corrélations significatives de Zn -Cu, Zn-Fe, Mn-Fe, Zn-Mn dans la carotte de Sebaou

Les corrélations non significatives entre les couples d'éléments métalliques tels que Mn -Cu, Fe-Cu, montrent que ces éléments évoluent indépendamment les uns par rapport aux autres.

Cette évolution en indépendance est probablement expliquée par les liaisons plus ou moins partielles entre ces éléments qui mettent en évidence les faibles associations entre eux.

Ajouter à cela, la nature et le comportement chimique de ces éléments qui diffèrent d'un élément à un autre, ce qui implique la diversité des sources de provenance de ces derniers.

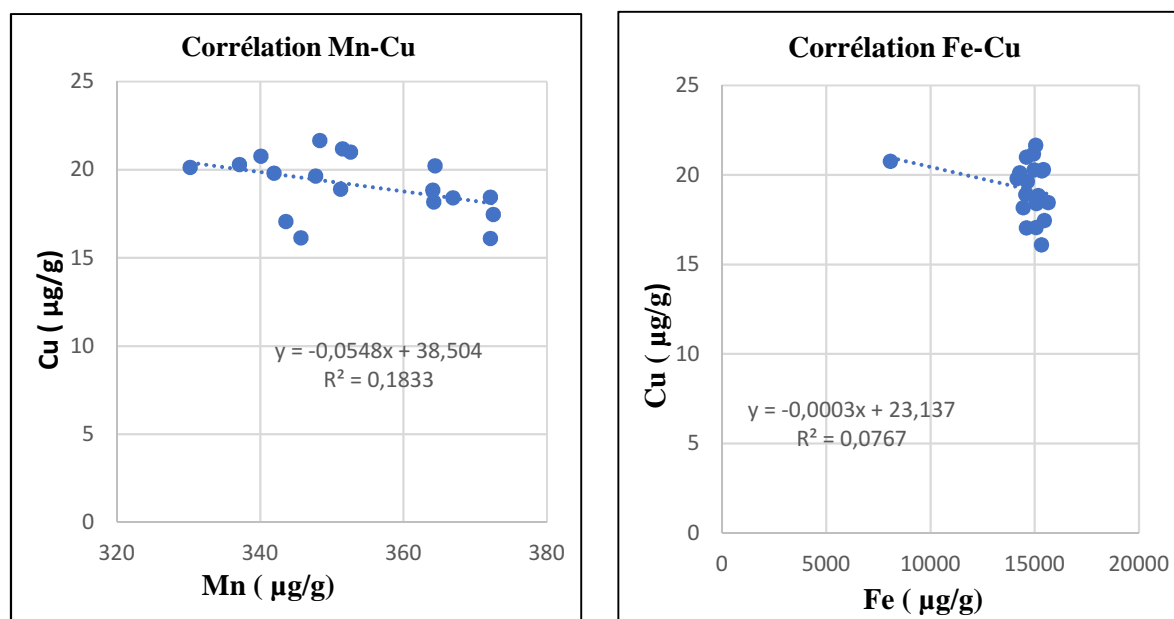


Figure 1 : corrélations non significatives Mn -Cu, Fe-Cu, dans la carotte de Sebaou

Tableau 17 : corrélation inter-éléments dans la carotte sédimentaire de Sebaou

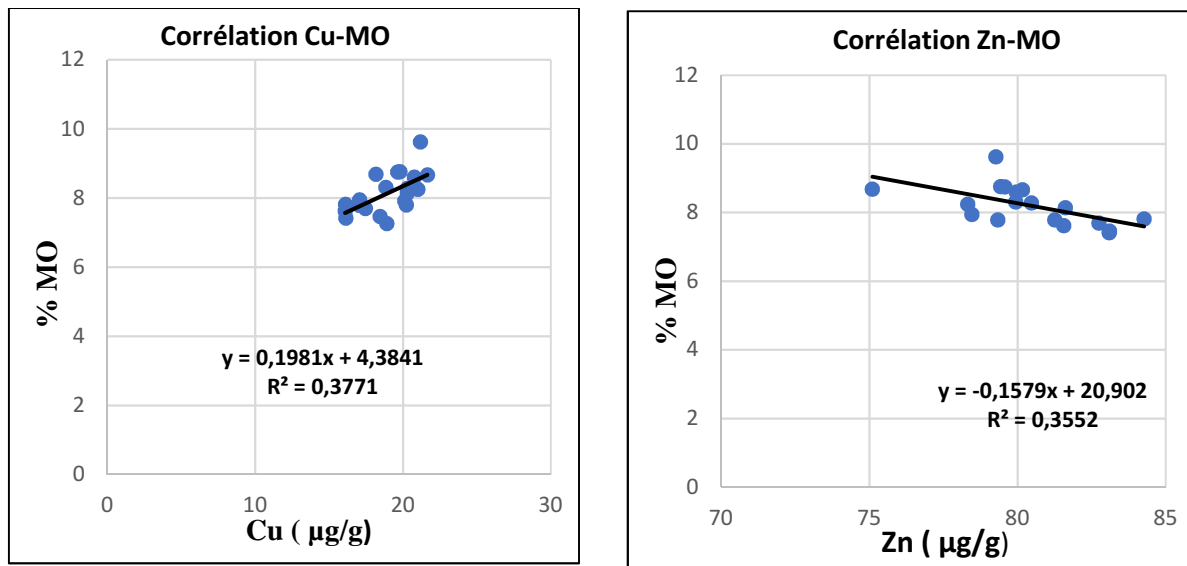
Corrélation	R <sup>2</sup>	Conclusion
Zn-Cu	0.4591	Corrélation significative
Zn-Fe	0.5847	Corrélation significative
Zn-Mn	0.4352	Corrélation significative
Fe-Cu	0.0767	Corrélation non significative
Mn -Cu	0.1833	Corrélation non significative
Mn-Fe	0,5695	Corrélation significative

### 3.Corrélation éléments traces – matière organique dans la carotte de Sebaou

D'après les résultats obtenus pour vingt et un échantillons et quatre éléments métalliques de la carotte sédimentaire de Sebaou, on voit qu'entre le taux de la matière organique et les concentrations des éléments, deux corrélations significatives pour les couples Zn-MO et Cu-MO (Figure 20) et deux corrélations non significatives pour les couples Mn-MO et Fe-MO (Figure 21).

Les corrélations significatives entre les éléments métalliques et le taux de la matière organique signifient que ces derniers ne sont pas indépendants à la matière organique.

Cela peut être expliqué probablement que le sédiment est enrichi à la matière organique, et sont parmi les constituants de la matière organique. Aussi, il semble que ces éléments présentent une affinité à la matière organique.

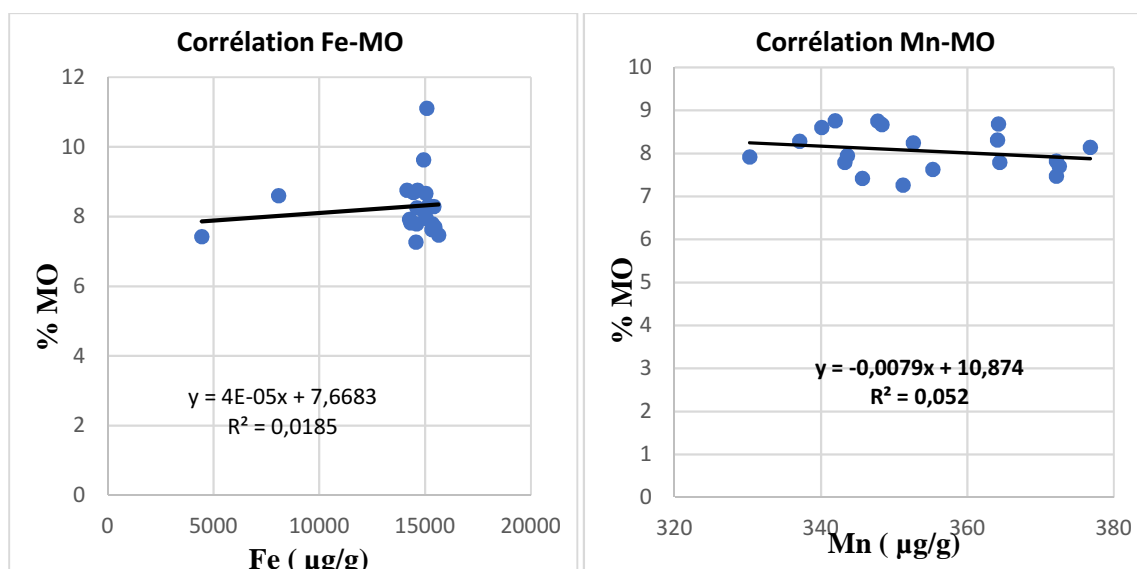


**Figure 20 :** corrélation significative Cu-MO et Zn-MO dans la carotte de Sebaou

Les corrélations non significatives entre les couples d'éléments métalliques tels que Mn-MO, Fe-MO, montrent que ces éléments évoluent indépendamment par rapport à la matière organique.

Cette évolution en indépendance est probablement expliquée que l'évolution géochimique temporelle et spatiales ne dépendent pas des variations horizontales ou verticales de la matière organiques.

Ajoute à cela, les variations verticales de taux de la matière organique peut être perturbé en fonction de la profondeur.



**Figure 21 :** Corrélations non-significatives Mn-MO et Fe-MO

**Tableau 18** : Corrélation éléments traces-MO dans la carotte de Sebaou

Corrélation	R <sup>2</sup>	Conclusion
Zn -MO	0.3552	Corrélation significative
Cu- MO	0,3771	Corrélation significative
Fe -MO	0.0185	Corrélation non significative
Mn -MO	0,052	Corrélation non significative

#### 4. Calcul des indices de contamination

**Tableau 19** : Résultats des indices de contamination métallique dans la carotte sédimentaire de Sebaou.

Métaux	Intervalles des IC	Moyenne (n=21)	Interprétation
Zn	0.85-0.95	0.90	Concentrations normales dans toutes les couches de la carotte sédimentaire (IC<3)
Cu	0.61-0.83	0.72	Concentrations normales dans toutes les couches de la carotte sédimentaire (IC<3)
Fe	0.222 – 0.781	0.703	Concentrations normales dans toutes les couches de la carotte sédimentaire (IC<3)
Mn	0.82-0.94	0.88	Concentrations normales dans toutes les couches de la carotte sédimentaire (IC<3)

Le calcul de l'indice de contamination montre, en ce qui concerne les teneurs en Zn, Cu, Fe et Mn relevées dans le sédiment de carotte, qu'il n'existe aucune contamination métallique dans le sédiment (IC < 3) par ces métaux.

##### 4.1. Comparaison des résultats avec les valeurs guides

D'une manière générale, et en considérant les valeurs guides du tableau ci-dessus, les teneurs des éléments métalliques trouvées dans la carotte ne dépassent pas les seuils requis, à l'exception des valeurs guides de la France qui sont les plus strictes.

**Tableau 20** : Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes algériennes, françaises et hollandaises (Alzieu et al, 1999) (µg/g).

Métal \ Pays	Cu	Zn	Mn	Fe
Algérienne	150	500	-	-
Françaises	26	88	400	20000
Hollandaises	36	140	-	-

Concernant les normes algériennes, il s'agit en fait d'une synthèse élaborée par la **DGE (Direction Générale de l'Environnement)**.

En générale et à l'exception du zinc, les concentrations du Cu, Mn, Fe dans la carotte sédimentaire de Sebaou présentent des valeurs inférieures aux concentrations normales proposées par les trois pays, par contre, les valeurs du zinc dépassent les normes françaises.

La présence de certains métaux peut être liée simplement à la structure géologique et la minéralogie de la région (Yücesoy et Ergin, 1992). Les activités anthropiques peuvent également influencer sur les concentrations de métaux dans le sédiment marins côtiers (Maanan, 2008).

## 5. L'apport anthropogénique et indice de géo-accumulation (Igeo)

### 5.1. Valeur de fond

Les métaux présents dans les échantillons naturels (sédiment, eau, organisme, ...) peuvent avoir deux origines différentes : anthropogénique et/ou naturelle. Le premier facteur à prendre en considération pour l'évaluation de l'effet anthropogénique est de mettre l'accent sur la contribution naturelle en ces métaux, connue par le terme « valeur de fond » qui désigne le contenu naturel d'un métal dans un sédiment. Il est évident que cette valeur est fortement en relation avec la géochimie et la pétrographie de la roche mère, qui peut être la source des sédiments. Par conséquent, pour distinguer l'origine anthropique de l'origine naturelle, il faut connaître préalablement la valeur de fond de ces derniers (Rubio et al, 2000).

Au début du siècle antérieur, les chercheurs scientifiques ont tenté d'établir les valeurs moyennes des éléments métalliques dans la croûte terrestre. A cet égard, on cite les travaux réalisés en 1924 par Clarke et en 1933 par Goldschmidt (Wedepohl, 1995). Ensuite, elles ont été développées dans plusieurs approches comme les travaux de Taylor en 1964, de Wedepohl en 1995, les valeurs recommandées par Rudnick et al en 2005 et récemment les valeurs proposées par Hu et al en 2008.

Ci -après dans le tableau 21 sont représentées les valeurs proposées par les trois auteurs, elles sont utilisées largement dans les études géochimiques (Shazli et al, 2007).

**Tableau 21** : Abondance en mg/kg des éléments métalliques dans la croûte terrestre.

Métal	Valeurs moyennes de la croûte terrestre (mg/kg)		
	Taylor	Wedepohl	Rudnick
<b>Cu</b>	55	26	27
<b>Mn</b>	950	728	670
<b>Zn</b>	70	65	72
<b>Fe</b>	56300	43975	52218

Comme les valeurs recommandées par Rudnick et al sont récentes et calculées sur base de plusieurs études antérieures, celles-ci sont utilisées comme valeurs de fond. En plus, ces valeurs sont proches de celles de Taylor et Wedepohl, c'est pour ça dans notre cas on a utilisées les valeurs de Rudnick pour calculer le Igeo et le FE.

### 5.2. Indice de géo-accumulation (Igeo)

L'indice de géo-accumulation proportionne l'information nécessaire sur la contamination des sédiments.

La méthode consiste à déterminer le degré de contamination métallique dans le sédiment en sept intervalles, en se basant sur les valeurs obtenues après le calcul de l'indice Igeo.

En appliquant Igeo à nos résultats du sédiment étudié (**Tableau 22**), nous pouvons conclure que : notre zone d'étude ne présente pas de contamination.

**Tableau 22** : Classes de Igeo et degré de contamination du sédiment étudié.

Métal	Valeurs de Igeo	Degré de contamination
<b>Cu</b>	Igeo < 0	Pas de contamination
<b>Zn</b>	Igeo < 0	Pas de contamination
<b>Mn</b>	Igeo < 0	Pas de contamination
<b>Fe</b>	Igeo < 0	Pas de contamination

### 5.3. Facteur d'enrichissement (FE)

**Tableau 23** : Les valeurs de FE dans la carotte sédimentaire et l'interprétation des résultats trouvées.

Métal	Valeurs moyennes de FE	Interprétations
<b>Zn</b>	<b>4.51</b>	Pollution modérée
<b>Mn</b>	<b>2.12</b>	Pollution modérée
<b>Cu</b>	<b>2.80</b>	Pollution modérée
<b>Fe</b>	<b>1</b>	Pollution minime

Les valeurs de FE (FE>2) représentent les métaux liés à un apport anthropique important. Le tableau(23) résume les FE calculés dans cette étude (la carotte sédimentaire de Sebaou). Dans cette carotte sédimentaire le Zn, Mn et Cu ont montré des valeurs de FE élevées (FE>2), ce qui indique que ces métaux sont anthropiques et ont été enrichis et pollués de manière significative dans le sédiment. De plus, les FE de ces métaux étaient élevés seulement dans certaines couches, indiquant l'apport anthropique de ces éléments dans différentes périodes.

## 6. Comparaison des concentrations des éléments métalliques de la carotte prélevé avec celles de certaines régions de la cote Algérienne

Dans le tableau (24) ci-après, une brève comparaison de nos résultats avec des résultats de certaines régions de la cote Algérienne.

**Tableau 24** : Tableau comparatif des résultats en éléments traces de la carotte de Sebaou avec certaines régions de la cote Algérienne

Métaux	Notre étude	Athmani,2007	Matmed, 2004	
	Sebaou (50)	Annaba (270m)	Baie d'Alger (960)	Jijle (270 m)
<b>Cu</b>	18.93	33.64	26.37	26.49
<b>Zn</b>	80.06	84.28	109.38	97.11
<b>Fe</b>		/	/	/
<b>Mn</b>	354.36	245.16	417.49	350.55

D'après le tableau, on remarque que les concentrations moyennes du cuivre sont plus faibles que celles trouvées par les deux autres auteurs.

Les concentrations moyennes du zinc de la carotte de Sebaou sont inférieures à celles des deux autres carottes d'Alger et Jijel, et comparable avec la valeur moyenne de Athmani (2007).

Pour le manganèse, les concentrations moyennes de la carotte de Sebaou sont inférieures à celles d'Alger, et supérieures à celles d'Annaba, mais elles sont comparables avec celles de Jijle.

A decorative scroll graphic with a central text box. The scroll is white with a black outline and features three grey circular accents at the top-left, top-right, and bottom-left corners. The text is centered within a white rectangular box with a black border.

**Conclusion et  
perspective**

## Conclusion

Sur la base des résultats obtenus et de leur discussion, les conclusions peuvent être atteintes :

Les profils de distribution verticale des éléments traces étudiés reflétaient différents dépôts environnements. L'augmentation des tendances temporelles des métaux traces peuvent être directement liées au développement principal de la région (développement de l'agriculture, industrialisation et expansion urbaine) au siècle dernier.

Les résultats obtenus de la corrélation entre les éléments métalliques montrent des corrélations positives et non significatives, cela peut être dû à l'origine de ces métaux et les facteurs chimiques de milieu.

Les résultats de corrélation entre le taux de la matière organique et les éléments métalliques présentent des corrélations positives et non significatives. L'explication de ces résultats probablement dû à la nature du fond (sédiment, vase), origine de la matière organique et le volume des apports anthropiques,

Tous des éléments traces de cette étude n'ont montré aucune contamination significative et la pollution dans les sédiments étaient principalement inférieurs à l'indice de contamination ( $IC < 3$ ).

Les valeurs d'indice de geo-accumulation ( $I_{geo}$ ) calculées pour différentes couches sédimentaires indiquées que le sédiment à l'embouchure de Sebaou avait une faible pollution par les éléments traces, malgré l'augmentation de la pollution par les éléments traces métalliques au cours des dernières décennies.

Les valeurs de FE calculées dans cette carotte ont montré des valeurs élevées ( $FE > 2$ ), ce qui indique que ces métaux sont anthropiques et ont été enrichis et pollués dans le sédiment.

Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de cette étude ouvrent certaines perspectives d'études qu'ils seraient judicieux d'entreprendre :

- ) Inclure d'autres contaminants chimiques et organiques et élargir la liste des éléments traces métalliques recherchés ;
- ) Poursuivre cette étude sur plusieurs cycles afin de réunir le maximum d'information sur les niveaux de contamination par les ETM des sédiments.
- ) Adapter une stratégie d'échantillonnage de manière à mieux déterminer et suivre les sources et niveaux de contamination par les ETM;
- ) Penser à mettre en place un réseau de surveillance des écosystèmes (aquatiques et terrestres) par le dosage des éléments traces métalliques et l'utilisation d'organismes bioindicateurs (lichens, invertébrés et vertébrés) ;

Cette étude préliminaire mérite d'être approfondie et étalée à d'autres éléments traces métalliques pour mieux suivre et comprendre d'où vienne cette contamination (origine anthropique, naturelle).



**Références  
bibliographiques**

- A.B.R.M.C,(1988).** Qualité des fleuve Rhône : synthèse des connaissances. France : Ministère de l' environnement. 251 p.
- ADU, Kumi ( 2016).** Contamination from mercury and other heavy metals in a mining district in Ghana: discerning recent trends from sediment core analysis. Review : environmental Systems Research. vol 13,N° 30, 5 p.
- A.I.E.A., (2001).** Training workshop on the analysis of trace metals in biological and sediment samples; Laboratory Procedure Book, 45 p.
- ALLOWAYS, B.J. (1990).** Heavy metals in soils.. Seconde Edition, London, England : Blackie et son Ltd. 368 p.
- ALLOWAYS, B.J. (1995).** Heavy metals in soils. Second Edition, London, 368 p.
- ALLOWAYS, B.J. AYRES, D.C (1997).** Chemical principales of environmental pollution ; seconde Edition. London .395 p.
- ALZIEU, C., ALBARNOU, A., et al., (1999).** Dragage et environnement marin : Etats des connaissances. Plousan : Edition Ifremer.223 p.
- AMMARI, Abdelhadi (2012).** Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois. Thèse de doctorat. Sciences hydrauliques. Biskra : Université Mohamed Khider – Biskra, 195 p.
- ANDREWS-SPEED, C.P., OXBURGH, E.R., COOPER, B.A. (1984).** Temperatures and depth dependent heat flow in the Western North Sea ; American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 68 p.
- ANDREWS, S., SUTHERLAND, R.A., (2004).** Cu, Pb and Zn contamination in Nuanu watershed, Oahu, Hawaii : the science of the total Environment. Vol 9, N° 4, 24 p.
- A.N.R.H., (2006).** Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique- service hydrologie (Tizi-Ouzou). Annuaire Pluviométrique de l'Algérie, 60 p
- AOUAMEUR, Dj. (1990).** Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état en halieutique, Alger : ISMAL,64 p.
- ATHMANI, H. (2007).** Géochimie et pollution par les métaux lourds dans les sédiments profonds de la mer méditerranée. Thèse de magister en environnement et écosystèmes littoraux. Alger :ISMAL, 88 p.
- BAIZE, D. (1997).** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols .1<sup>er</sup>édition. France : INRA . 406 p.

- BALLAH, Abderrahmane (2014).** Etude de l'écoulement liquide et solide dans le bassin versant de l'Oued Sebaou (Wilaya de Tizi-Ouzou). Mémoire de Magister. Hydrologie et Aménagement des Bassins Versants. Chlef : Université Hassiba Ben Bouali Chlef, 206 p.
- BATHURST, R.G. (1975).** Carbonate sediments and their diagenesis : Developments in Sedimentology. Elsevier(New-York). Vol 15,N° 20, 658 p.
- BELABED, Bourhane-Eddine (2010).** La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba : sources de contamination des écosystèmes aquatiques. Thèse de doctorat. Biologie et physiologie des organismes marin. Annaba : université Badji Mokhtar,199 p.
- BELAMIE, R., et PHILIPPOT, S., (1982).** Etude de niveau de contamination des sédiments de plusieurs cours d'eau du bassin Parisien (France) par les métaux et les composés Organochlorés ; Rapport N°16, société hydrotechnique de France, XVIIème journée de l'hydraulique, Nante, 7 p.
- BELKESSA, R. (1995).** Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat. Constantine : Université de Constantine, 412 p.
- BERNER, R.A. (1980).** Early diagenesis : a theoretical approach. Princeton University Press, Princetonwn.241 p.
- BONNET, C. (2000).** Caractérisation de la mobilisation potentielle des polluants et applications à l'étude, en laboratoire, de la toxicité des sédiments dulçaquicoles contaminés. Thèse de doctorat. Metz : Université de Metz, p 326.
- BOULVAIN, F. (2007).** Une introduction aux processus sédimentaire. France [Consulté le 10/04/2018]. Disponible sur le web : <http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processu.htm>.
- BOULVAIN, F. (2011).** Eléments de sédimentologie et de pétrologie sédimentaire. France [Consulté le 10/04/2018]. Disponible sur le web : <http://www2.ulg.ac.be/geolsed/sedim/sédimentologie.htm>
- BURTON, J.D (1976).** Basic properties and processes in estuarine chemistry. 1<sup>st</sup> edition, Londres : Ed. Burton J.D and Liss P.S .120 p.
- CALLENDER, E., HEINRICH, D.H., et al., (2003).** Heavy metals in the environment - Historical trends. London : Elsevier. Vol 15, N°25,10 p.
- CALMANO, W., et al., (1994).** Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. In: Christensen E *et al.* (Eds) Contaminated Aquatic Sediments: Historical Records, Environmental Impact, and Remediation. Elsevier: Water Sei Technoll8, vol 38, N° 11,235p.
- CHAMLEY, H. (1987).** Sédimentologie. 1<sup>er</sup>édition. Dunod : Collection Géosciences : 175 p.
- CHUAN, M.C., et al., (1996).** Solubility of heavy metals in a contaminated soil:

Effects of redox potential and pH. *Water, Air and Soil Pollution*, 90, p p 543-556.

**COSSA, D., LASSUS, P., (1989).** Le cadmium en milieu marin : biogéochimie et écotoxicologie. Edition: Ifremer, Rapp. Sci. Tech., N°16, 112 p.

**CURTIS, C.D., (1995).** Post-depositional evolution of mudstones1. *Journal of the Geological Society, London*, 152, 577-586. *Developing Remedial Options. Hydrobiologia* 149, 221-246 p.

**DALI YOUCEF, N., (2005).** Contribution à l'étude des polluants métalliques dans les sédiments de l'Oued Tafna (Ouest Algérien). Thèse de doctorat d'état en chimie. Alger : Université de Tlemcen, 198 p.

**DELVAL, C., (1984).** Réaction du flet vis-à-vis des pollutions par les métaux (Cu, Zn, Cd, Pb) sur le littoral de la mer du nord : détoxification, métallothioneines. Thèse 3eme cycle. France : USTL Lille, 172 p.

**DIANA, Katerine (2009).** Caractérisation et origine des métaux traces, hydrocarbures aromatiques polycycliques et pesticides transportés par les retombées atmosphériques et les eaux de ruissellement dans les bassins versants séparatifs péri-urbains. Thèse de Doctorat. Génie civil. Nantes : école centrale de Nantes, 296 p.

**DENEUX-MUSTIN, S., et al., (2003).** Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol. Tec & Doc. - Lavoisier, Paris.

**ESTEBAN, M., et TABERNER, C., (2003).** Secondary porosity development during late burial in carbonate reservoirs as a result of mixing and/or cooling of brines; *journal of Geochemical Exploration*, 79 p.

**FÖRSTNER, U., Muller, G. (1973).** Heavy metal accumulation in river sediments, a response to environment pollution. *Geofrum*, 14 : 62 p.

**FÖRSTNER, U., Wittman, G.T.W. (1981).** Metal pollution in the aquatic Environment. Springer, New York, Vol 15, N°4. 486 p.

**FÖRSTNER, U. (1987).** Sediment-associated contaminants-an overview of scientific bases for developing remedial options. *Hydrobiol* 149. 246 p.

**FÖRSTNER, U. (1990).** Metal pollution assessment from sediment analysis. In FORSTNER, U., WHITMANN, G.T.W. metal pollution in the aquatic environment. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1981. 110-194 p.

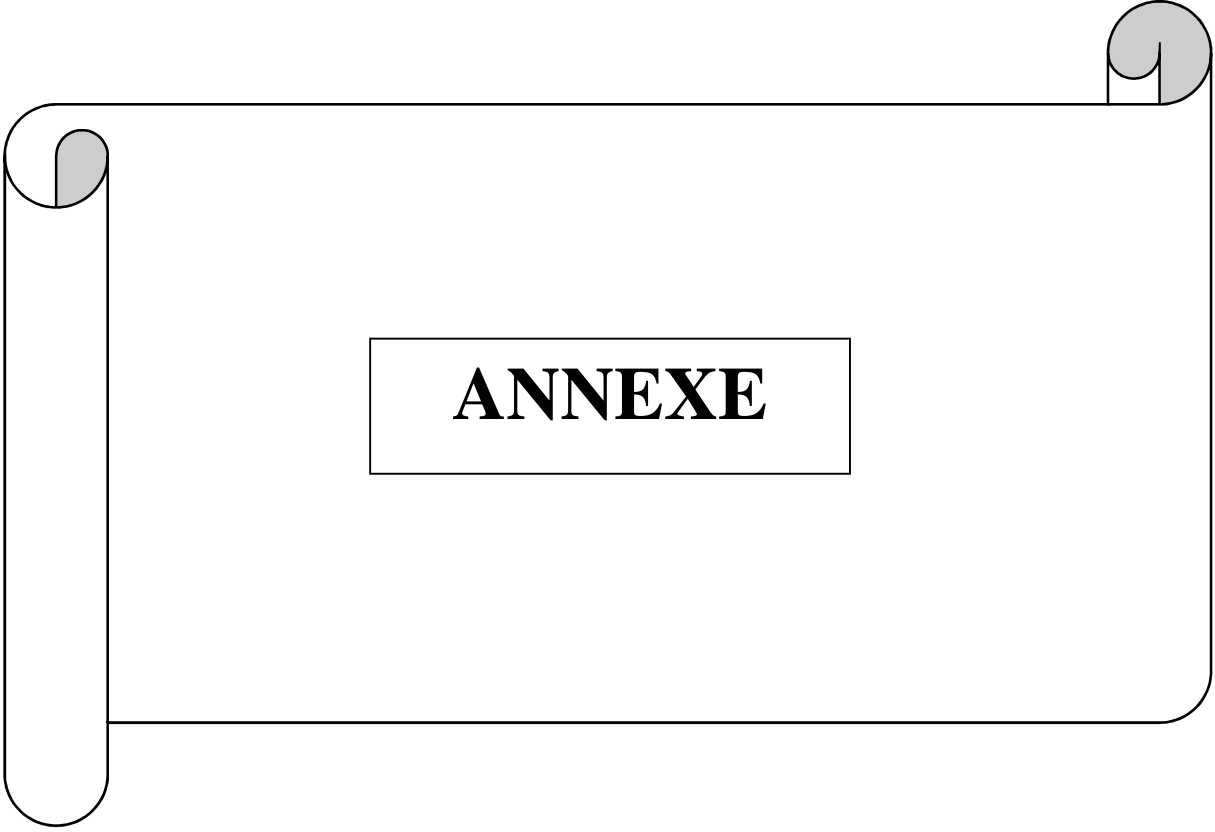
**GEFFARD, C. (2001).** Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants étudiés ». thèse de Doctorat, université de Bordeaux 1, France, 250 p.

- HADDDOU, A. (2017).** Contamination des sédiments marins superficiels de la Baie d'Oran par les métaux lourds e application au laboratoire de bioessais sur la toxicité potentielle d'un sédiment marin sur un outil biologique. Thèse de Doctorat. Université d'Oran, 197 p.
- HAOUCHINE, Sabrina (2011).** Recherches sur la faunistique et l'écologie des macro invertébrés des cours d'eau de Kabylie. Mémoire de Magister. Ecologie et Biodiversité Animale des Ecosystèmes Continentaux. Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 157 p.
- HART, B.T (1982).** Heavy metals review paper trace metal complexing capacity of natural water environs. Tech.Lett. 95-110 p.
- HAYNES, D., Jonhson, J. (2000).** Organochlorine, heavy metal annd polyaromatic hydrocarbon pollutants concentrations in the Great Barrier Reff (Australia) anvironment : a Reew. Mar Pollut Bull 41: 267-278 p.
- HENDRY, J.P (2002).** Geochemical trendds and palaehydrological significance of shallow burial calcite and ankerite cements in Middle Jurassic strata on the East Midlands Shelf. Sedimentary GEology, 149-176 p.
- HITACHI (2000).** Model z-5000 series polarized Zeeman Absorption spectrophotometer. 3 p.
- HUANG, K, et al., (2007).** Structure of the Pho85-Pho80 CDK-cyclin complex of the phosphate-responsive signal transduction pathway. *Mol Cell*28(4):614-23 p.
- JENNING, S.R., et al., (2000).** Acid production from Sulfide minerals using hydrogen peroxide Weathering. Applied Geochemistry, Vol 15, N°2, 247- 255 p.
- JONATHAN, N., et al., (1984).** Reactions du flet vis-à-vis des pollutions par les métaux (Cu, Zn, Cd, et Pb) sur le littoral de la mer Nord : détoxification, métallothioneines. Thèse 3eme cycle USTL Lille. 172 p.
- KEBBEKUS, B.B. (2003).** Preparation of samples for metals analysis. En S.Mitra. sample preparation techniques in analytical chemistry. Wiley-Interscience. Vol 162. 10 p
- LAND, L.S., Milliken, K.L. et al., (1987).** Diagenetic evolution of Cenozoic szndstones, Gulf of Mexico sedimentary basin. Journal of Sedimentary Researchh, 50, p p.198-225.
- MAANAN, M. (2003).** Etude sédimontologique du remplissage de la lagune de Sidi Moussa ( côte atlantique Marocaine) caractérisation Granulométrique, Minéralogique et Géochimique. Thèse de Doctorat. Université d'El jadida Maroc.119 p.
- MACLEOD, D.D. (2000).** Devopment and evolution of consensus based sediment quality guidelines for frechwater ecosystems. Archives of environmental contamination and toxicity. 39 p.

- MATMED, A. (2004).** Contribution à l'étude des métaux lourds et du carbone dans les sédiments profonds au large d'Alger et de Jijl. Thèse de Magister en environnement littoral et ressource vivante. Université d'Annaba. 125 p.
- MASSCHELEYN, P.H., et al., (1991).** Effect of redox potential and pH on arsenic speciation and solubility in a contaminated soil. *Environmental Science and Technology*, 25, 1414-1419 p.
- MIQUEL, G. et al., (2001).** Rapport d'information n° 261. Office parlementaire d'évaluation des choix scient. Tech., 344 p. [consulté le 10/04/2018]. Disponible sur le web : (<http://www.senat.fr/rap/100-261/100-261.html>).
- MORAD, S., BERGAN, M., KNARUD, R. et NYSTUEN, J.P., (1990).** Albitization of detrital plagioclase in Triassic reservoir sandstones from the Snorre field, Norwegian North Sea. *Journal of Sedimentary Petrology*, N° 60, 425 p.
- MORAD, S., ketzer, J.M. et al., (2000).** Spatial and temporal distribution of diagenetic alterations in siliciclastic rocks : *sedimentology*. N°47, p p.95-120.
- MULLIGAN, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F. (2001).** Heavy metal removal from sediments by biosurfactants. *Journal of Hazardous Materials*. 85 (1-2) : 111-125.
- MARTIN, J.M., Meybeck, M., Salvadori, F. (1979).** Pollution chimique des estuaires. *Rapp.sc. et Tech.*, N°22, 286p.
- MÜLLER, G., (1981).** Die Schwer metal belastung der Sediment des Neckars und seiner Nebenflusse: eine Bestandsaufnahme. *Chemiker Zeitung*, N° 105, p p.157-164.
- NEWMAN, M.C., Jagoe, A., (1994).** What level of effect is a no observed effect ? *environmental toxicology and chemistry*, 19 p.
- ONU/CEE (1979).** Organisation des Nations Unies / Communauté Economique Européenne.
- POMROL, C., Renard, M., Lagabrielle, Y., (2000).** *Eléments de géologie*. Dunod.
- POTTER, P.E, et al., (2005).** *Mud and Mudstones*, Springer, Berlin, 297 p.
- POWER, E.A., Chapman, P.M. (1992).** Assessing sediment quality, *Sediment Toxicity Assessment*, Lewis, MI, USA 1-18. In Burton, GAJ (Eds).
- PRICE, W.A. (2003).** Challenger posed by metal leaching and acid draiage, and approaches used to addresses them. In: J.L.Jambor, D.W.Blowes et A.I.M.Ritchie (Eds). *Environmental*. 10 p.
- QASIM, Bashar Hussein(2015).** Détermination, spéciation et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols contaminés et technosols. Thèse de doctorat. Chimie analytique. Orléans : l'Université d'Orléans, 279 p.
- QUEVAUVILLER, P. (1997).** Trace element speciation for environment, food and health. *The Royal Society of Chemistry*. p ,331-353.

- RAMADE, F. (1998).** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau Paris, Ediscience : p 800 .
- RAMADE, F. (1992)**-« Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales » , 55 p.
- RAMADE, F. (2002).** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris : Dunod. : p 1075.
- RASHID, M.A. (1971).** The role of humic acids of marine origine and their différent molecular weight fraction in complexing di and trivalent métal. Soil.
- ROCHER, V. (2003).** Introduction t stockage des hydrocarbures et des éléments métalliques dans le réseau d'assainissement unitaire parisien. Thèse de doctorat, université Paris XII-Val de Marne, France.
- RODIER, D. (1996).** L'analyse de l'eau (8eme édition ) eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer. Edition : Paris :Dunod , p 85-401.
- RODIER, J., Bazin, C., et al., (1996).** « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer ». 8eme édition. Paris: Collection DUNOD, 383 p.
- ROSS, L.T (1994).** Acute toxicity of ammonia to four species of marine amphipods. Mar Env Res 38 :1-15 p.
- RUBIO, B., Nombela, A., et al., (2000).** Heavy metal pollution in the Galician Rias Baixas : new background values for Ria Vigo. Journal of Iberian Geology. 121-149 p.
- RUDNICK, R.L, GAO, S (2005).** Composition of the continental crust in R.L.Rudnick. the crust. London : Elsevier. Vol 15, N° 20, 10 p.
- RUSCH, B. (2010).** Étude spectroscopique en conditions hydrodynamiques contrôlées du transfert des espèces organiques à l'interface minéral/solution. Thèse, Université Henri Poincaré, Nancy 1. 200 p.
- SALMON, S.U., et MALMSTROM, M.E. (2004).**Geochemical processes in mill tailings deposits :modelling of groundwater composition. Applied Geochemistry, vol 19, N°1: 1-17p.
- SCHNEIDER, J., BAKKER, R.J., BECHSTADT, T., et al., (2008).** Fluid evolution during burial diagenesis and subsequent orogenic uplift : the Lavid Group.
- SECRETARIA D'ETAT A L'HYDRAULIQUE (1975).** Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique-sous-direction des ressources en eau (Tizi-Ouzou) : Etude Hydrologique de la Nappe de l'Oued Sebaou, 68 p.
- SHAZLI, N.A.M., et al., (2007).** Interpretation of anthropogenic input of metals in the south China sea bottom sediments off Terengganu (Malaysia) coastline using Al as reference element. Aquatic Ecosystem Health and Managment. 47-56 p.

- SHOLKOVITZ, E.R., 1978.** « The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co and Cd during estuarine mixing ». *Earth and planetary sciences letters*, 41: 77-86 p.
- SHOTYK, W., (1996).** peat bog archives of atmospheric metal deposition : geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations, and metal enrichment factors. *Environment Rev.* Vol 4,N° 4, 183 p.
- SHOTYK, W., et al., (2000).** A new approach for quantifying cumulative, anthropogenic, atmospheric lead deposition using peat cores from bogs : Pb in eight Swiss peat bog profiles. *The Science of the Total Environment* 249, p p 281-295.
- SIGG, L., BEHRA, P., STUMM, W. (1992).** *Chimie des milieux aquatiques* . 3eme edition. Paris: Dunod : 567p.
- SPARKS, DL. (1998).** Kinetics and mechanisms of metal sorption at the mineral-water interface. In : *Mineral-water interface reactions: American Society Washington D.C.* p p 108-135.
- SPOSITO, G., (1989).** *The chemistry of soils.* Edition Oxford University Press, 277 p.
- SWIFT , R., McLaren, R., (1991).** Micronutrient adsorption by soils and soil colloids. In Bolt, G.H.; Boodt, M.F.; Hayes, M.H.B.; McBride, M.B. (Ed.) *Interactions at the soil colloid-soil solution interface.* Dordrecht: Kluwer Academic Publications. p p 257-292.
- WARREN , J.K., (2000).** Dolomite : Occurrence, evolution and economically important associations. *Earth Science Reviews*, 52,pp.1-81.
- TERNAT, F., (2004).** Prise en compte de la diagénèse sédimentaire dans les modèles de transferts de radionucléides dans les cours d'eau: étude bibliographique sur la diagénèse précoce, Rapport IRSN DEI/SECRE n°2004-047.
- WEDEPOHL, K.H., (1995).** The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59. 1232 p.
- YÜCESOY, F., ERGIN, M. (1992).** Heavy metal geochemistry of surface sediments from the southern Black Sea shelf and upper slop. *Chemical Geology*.265-287 p.



**ANNEXE**

## Annexe 1

Tableau 1 : Nombres et épaisseurs des couches sédimentaires dans la carotte :

N° de couche	profondeur	N° de couche	profondeur
1	0 – 0.5	12	10 – 12
2	0.5 – 1	13	12 – 14
3	1 – 2	14	14 – 16
4	2 – 3	15	16 – 18
5	3 – 4	16	18 – 20
6	4 – 5	17	20 – 22
7	5 – 6	18	22 – 24
8	6 – 7	19	24 – 26
9	7 – 8	20	26 – 28
10	8 – 9	21	28 – 30
11	9 - 10	/	/

## Annexe 2



Figure 1 : Lyophilisateur ( modèle CHRIST)



Figure 2 : Mortier en porcelaine



**Figure 3 :** four à Moufle ( modèle Wise)



**Figure 4 :** Spectrophotométrie d'Absorption Atomique ( Polarized Zeeman Z-5000)