

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



Mémoire de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur en sciences de la mer

**Option : Environnement**

**Évaluation du taux de la pollution des eaux et des sédiments  
par les métaux lourds au niveau du littoral de Boumerdes  
(Baie de Zemmouri)**

**Présenté par : IRISLIMANE Nesrine**

**Soutenue le 28/09/2017 devant le jury composé de :**

<b>M. A. AIT SAIDI, Maitre de conférences B</b>	<b>Président</b>
<b>M. M. KADA, Maitre-assistant A</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme. F. HOUMA-BACHARI, Professeure</b>	<b>Co-promoteur</b>
<b>Mme. S. GHOURASSI, Ingénieur</b>	<b>Invitée</b>
<b>Mme. N. KHELIFA, Maitre de conférences B</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M. A. BOUGHRIRA, Maitre-assistant A</b>	<b>Examineur</b>

**2016/2017**



## REMERCIEMENT

Je remercie **Dieu** qui m'a toujours donné la force, le courage, la patience et la santé pour réaliser ce travail.

Je remercie mes très chers **parents**, qui ont été toujours là pour moi, « Vous avez tout sacrifié pour vos enfants, n'épargnant, ni santé, ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fière ».

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à **Mr M.KADA** et **M<sup>me</sup> F. BACHARI-HOUMA** mes promoteurs à l'ENSSMAL et à mon encadreur au CRD, **M<sup>me</sup> S. GHOURASSI** pour le temps qu'ils ont consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables pour l'exécution de mon travail, aussi pour m'orienter et me conseiller d'améliorer et de structurer la qualité de ma recherche.

Mes remerciements également aux membres de jury :

**Mr A. AIT SAIDI** qui me fait l'honneur de présider ce jury.

**Mr A. BOUGHRIRA** et **M<sup>me</sup> N. KHELIFA**, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également l'équipe du laboratoire de pollution et chimie de l'ENSSMAL : **DJERRAI, CHIOUKH. Soria, MATOUG, GUERROUMI. Houda** et **M<sup>me</sup> REFES**. Je remercie aussi toute l'équipe du laboratoire de géochimie minérale de CRD : **M<sup>elle</sup> BANDO, A.SAOUDI, M.DIB, DAHDOUH. Mouloud** et **AISSANI. Amel** de m'avoir orienté, aider, et m'encourager au cours de mon travail.

Je suis très heureuse de pouvoir exprimer ma gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon grand-père Amrane que dieu bénisse son âme.*

*A mes grandes mères Fatima Zahra et Cherifa*

*A mon grand-père Mahfoud*

*A celle qui m'a été le soutien moral pendant ce travail, ma mère que dieu la protège.*

*A ce qui m'a éclaircit le chemin de ma vie et ne cesse de m'encourager, ... mon père.*

*A mes sœurs (Mimi, Imene, Khadidja et Iina). A mes frères (Aziz, Nessro et Abderahman).*

*A ma nièce Nadouda Malak que dieu la protège.*

*A ma grande famille IRJSLIMANE et BEN SALAH (tantes, oncles, cousins et cousines).*

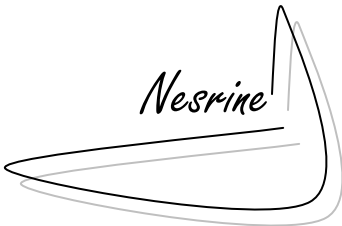
*A ma meilleure amie, ma sœur à l'ENSSMAL qui été toujours avec moi dans les moments difficiles durant ces cinq dernières années AbirBiba Talhi JTD.*

*A tous mes amis : les enssmaliens, BadiRak (Abdelkader), GinisHemza, Zara Azar, Mme Sarra, Tissou, Rahma, Amiramoh, Mirra, Samira, AmiraAz, Mimou, Salima, Khaoula, Rabah, Med 19, Imed... et à toute ma promo de 5<sup>ème</sup> année.*

*A tous mes amis de Boumerdes surtout promo S3 "Bac2012" Drifa (Kassandra), NourelHouda Sahnoun (\*100), Zohruchum, Ishrak, Simma, Sihem, Ikram, Meryuchumhouss, Kahina, Imane, Oussouss, et Housseem Cobra, sans oublier Toto télécom*

...

*Nesrine*



## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT

DEDICACE

TABLE DES MATIERE

LISTE DES ACRONYMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

**Introduction ..... 1**

### **Chapitre I : Généralités**

I. La pollution marine ..... 4

II. Classification de la pollution selon sa nature

II.1. La pollution physique ..... 5

II.2. La pollution chimique..... 5

II.3. La pollution Biologique..... 5

III. Classification de la pollution selon son origine

III.1. La pollution domestique..... 6

III.2. La pollution industrielle ..... 6

III.3. La pollution agricole ..... 7

IV. Paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution

IV.1. Température ..... 7

IV.2. Salinité ..... 7

IV.3. Oxygène dissous ..... 8

IV.4. Potentiel d'Hydrogène (pH) ..... 8

IV.5. Matières en suspension (MES) ..... 8

IV.6. Demande biochimique en oxygène (DBO) ..... 9

IV.7. Demande chimique en oxygène (DCO) .....	9
V. Pollution par les métaux lourds	
V.1. Les métaux lourds .....	9
V.2. Cycle des métaux lourds en milieu aquatique .....	10
V.3. Le chrome (Cr)	
V.3.1. Propriétés fondamentales .....	11
V.3.2. Utilisations du chrome.....	12
V.3.3. Pollution par le chrome .....	12
V.3.4. Propriétés biologiques et toxicité .....	12
V.4. Le cadmium (Cd)	
V.4.1. Propriétés fondamentales .....	13
V.4.2. Utilisations du cadmium.....	14
V.4.3. Propriétés biologiques et toxicité .....	14
V.5. Le plomb (Pb)	
V.5.1. Propriétés fondamentales .....	15
V.5.2. Utilisations du plomb .....	15
V.5.3. Propriétés biologiques et toxicité .....	16
VI. Le sédiment	
VI.1. Définition et origine .....	16
VI.2. La structure .....	17
VI.3. La composition .....	17
VI.3.1. Eau interstitielle .....	17
VI.3.2. Phase inorganique .....	18
VI.3.3. Phase organique .....	28

## **Chapitre II : Zone d'étude**

I. Présentation de la wilaya de Boumerdes .....	20
---	----

II. Contexte socio-économique .....	21
III. Caractéristiques climatologiques et hydrologiques	
III.1. Climatologie de la zone d'étude.....	21
III.1.1. Les précipitations .....	22
III.1.2. La température.....	23
III.1.3. Les vents.....	23
III.2. L'hydrodynamisme	
III.2.1. La houle.....	24
III.2.2. Les courants.....	24
III.2.2.1. Les courants côtiers	
A. Les courants de dérive littorale .....	24
B. Les courants de retour.....	24
III.2.2.2. Les courants de marée .....	25
III.3. Réseaux hydrographiques .....	25
<b>Chapitre III : Matériel et méthodes</b>	
I. Stratégie d'échantillonnage.....	28
II. Présentation des sites d'étude	
II.1. Ports .....	29
II.2. Oueds	
II.2.1. Oued Boudouaou .....	30
II.2.1. Oued Isser .....	30
III. Travaux sur terrain	
III.1. Conditionnement du matériel .....	31
III.2. Prélèvement d'eau et du sédiment.....	32
III.3. Mesure des paramètres physico-chimiques.....	33
IV. Travaux au laboratoire	

IV.1. Analyse des matières en suspension .....	33
IV.2. Analyse de la matière organique particulaire.....	34
IV.3. Mesure de la demande biochimique en Oxygène (DBO <sub>5</sub> ) .....	35
IV.4. Mesure de la demande chimique en Oxygène (DCO) .....	36
IV.5. Analyse des éléments métalliques (Cd, Cr et Pb) dans le sédiment	
IV.5.1. Prétraitement des échantillons de sédiment .....	38
IV.5.2. Extraction des éléments métalliques .....	38
IV.5.3. Analyse par Spectroscopie d’Absorption Atomique (SAA)	
IV.5.3.1. Principe .....	39
IV.5.3.2. Appareillage .....	40
IV.5.3.3. Étalonnage.....	41
IV.5.3.4. Expression des résultats .....	42
V. Caractérisation de la qualité du sédiment	
V.1. L’indice de géo-accumulation (Müller, 1969) .....	42
V.2. Le facteur de contamination "FC" .....	43
V.3. Le degré de contamination (DC) .....	43
V.4. L’indice de pollution sédimentaire (IPS) .....	43

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

### **I. Résultats des paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution**

I.1. Température .....	46
I.2. Salinité .....	47
I.3. Potentiel d’Hydrogène .....	48
I.4. Les matières en suspension.....	49
I.5. Matières organiques .....	51
I.6. Demande biologique en oxygène.....	52
I.7. Demande chimique en oxygène .....	53
I.8. Le rapport DCO/ DBO.....	54

II. Résultats d'analyse des métaux lourds .....	55
III. Indices caractéristiques des teneurs des métaux lourds dans le sédiment	
a. Indice de géo-accumulation.....	59
b. Facteur de contamination .....	60
c. Degré de contamination.....	61
d. Indice de pollution sédimentaire .....	61
<b>Conclusion.....</b>	<b>65</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

## LISTE DES ACRONYMES

**AFNOR** : Association Française de Normalisation.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Algérie).

**CCE** : Commission Européenne.

**Cd** : Cadmium.

**CNERAU** : Centre National d'Etudes et de Recherches Appliquées en Urbanisme (Algérie).

**CPEPESC** : Commission de Protection des Eaux (France).

**COC** : Carbone Organique Colloïdal.

**COD** : Carbone Organique Dissous.

**COP** : Carbone Organique Particulaire.

**Cr** : Chrome.

**CRD** : Centre de Recherche et Développement (SONATRACH) (Algérie).

**CREPA** : Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement (France).

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique en Oxygène.

**DC** : Degré de Contamination.

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène.

**DPRH** : Dispositif de Perfectionnement des Ressources Humaines.

**DRE** : Direction des Ressources en Eau (Algérie).

**ED** : Eau Distillée.

**EM** : Eléments Métalliques.

**ET-AAS (GF-AAS)** : Source d'atomisation par four à graphite.

**ETM** : Eléments Traces Métalliques.

**F-AAS** : Source d'atomisation par flamme.

**FAO**: Food and Agriculture Organization (France).

**FC** : Facteur de Contamination.

**GIP** : Groupe d'intérêt public.

**Igeo** : Indice de géo-accumulation.

**IPS** : Indice de Pollution Sédimentaire.

**JECFA**: Joint Expert Comitte for Food Additives.

**KDa** : kilodalton.

**LCPE** : Loi Canadienne sur la Protection de l'Environnement.

**LFB ONAlait** : Laiterie Fromagerie de Boudouaou (Algérie).

**MES** : Matières En Suspension.

**MO** : Matière Organique.

**MOP** : Matière Organique Particulaire.

**OD (O<sub>2</sub>)** : Oxygène Dissous.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**Pb** : Plomb.

**pH**: Potentiel Hydrogène.

**PSU** : Practical salinity unit.

**PTFE** : Polytétrafluoroéthylène.

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitation (Algérie).

**S** : Salinité.

**SAA** : Spectroscopie d'Absorption Atomique.

**SEQ eau** : Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau des cours d'eau (France).

**T**: Temperature.

**USEPA**: United States Environmental Protection Agency (Etats-Unis).

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> <i>Interactions subies par les métaux au cours de leur transport en milieu aquatique (in Messai, 2014).</i> .....	11
<b>Figure 2:</b> <i>Situation géographique de la baie de Zemmouri (Boumerdes route, 2017. Modifiée).</i> .....	20
<b>Figure 3:</b> <i>Diagramme Ombro- thermique de la wilaya de Boumerdes (CNERU, 2013).</i> .....	21
<b>Figure 4:</b> <i>Histogramme des précipitations de la wilaya de Boumerdes (ANRH, 2013 in CNERU, 2013).</i> .....	22
<b>Figure 5:</b> <i>Histogramme de la température de la wilaya de Boumerdes (ANRH, 2013 in CNERU, 2013).</i> .....	23
<b>Figure 6 :</b> <i>Réseau hydrographique de la wilaya de Boumerdes (CNERU, 2013).</i> .....	26
<b>Figure 7:</b> <i>Localisation des sites de prélèvement au niveau de la zone d'étude (Boumerdes route; 2017. Modifiée).</i> .....	28
<b>Figure 8:</b> <i>Localisation des stations de prélèvement au niveau du port de cap Djinet.</i> .....	29
<b>Figure 9:</b> <i>Localisation des stations de relèvement au niveau du port de Zemmouri El Bahri.</i> ....	30
<b>Figure 10 :</b> <i>Positionnement des stations de prélèvement au niveau d'oued Boudouaou.</i> .....	31
<b>Figure 11 :</b> <i>Positionnement des stations de prélèvement au niveau d'oued Isser.</i> .....	31
<b>Figure 12:</b> <i>Technique de prélèvement du sédiment avec la benne.</i> .....	32
<b>Figure 13:</b> <i>Technique de mesure des paramètres physico- chimiques avec valise multi-paramètre.</i> .....	33
<b>Figure 14:</b> <i>DBO- mètre de marque Wissenschaftlich Technische Werkstätten (WTW).</i> .....	35
<b>Figure 15 :</b> <i>Instrument de mesure de la DCO (système à reflux).</i> .....	36
<b>Figure 16 :</b> <i>Appareil de spectroscopie d'absorption atomique utilisé.</i> .....	41
<b>Figure 17:</b> <i>Variations spatiales de la température (C°) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (A, B, C et D respectivement).</i> .....	46
<b>Figure 18 :</b> <i>Variations spatiales de la salinité (‰) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (E, F, G et H respectivement).</i> .....	47
<b>Figure 19 :</b> <i>Variations spatiales du pH au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et ca Djinet (I, J, K et L respectivement).</i> .....	48
<b>Figure 20:</b> <i>Variation spatiales des teneurs en MES (mg/l) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (M, N, O et P respectivement).</i> .....	49
<b>Figure 21:</b> <i>Variations des teneurs en MO (%) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (Q, R, S et T respectivement).</i> .....	51
<b>Figure 22:</b> <i>Variation de la DBO<sub>5</sub> au niveau des embouchures d'oueds</i> .....	52
<b>Figure 23 :</b> <i>Variation de la DCO (mg d'O<sub>2</sub>/l) au niveau des embouchures des oueds</i> .....	53
<b>Figure 24:</b> <i>Variation du rapport DCO/DBO de quelques stations au niveau des embouchures de oueds Boudouaou et Isser.</i> .....	54
<b>Figure 25:</b> <i>Teneurs du Chrome (mg/Kg) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet respectivement.</i> .....	56
<b>Figure 26:</b> <i>Teneurs du Plomb (mg/Kg) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des Ports Zemmouri El Bahri et ca Djinet respectivement.</i> .....	56
<b>Figure 27:</b> <i>Teneurs du Cadmium (mg/Kg) au niveau des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet respectivement.</i> .....	57

<b>Figure 28:</b> <i>Etapes de la filtration des échantillons pour la mesure de MES.</i> .....	81
<b>Figure 29:</b> <i>Quelques étapes lors de la manipulation de la DCO.</i> .....	82
<b>Figure 30:</b> <i>Minéralisation d'échantillons de sédiments.</i> .....	83
<b>Figure 31:</b> <i>Courbe d'étalonnage du Chrome(Cr).</i> .....	83
<b>Figure 32:</b> <i>Courbe d'étalonnage du Plomb (Pb).</i> .....	84
<b>Figure 33:</b> <i>Courbe d'étalonnage du Cadmium (Cd).</i> .....	84

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> <i>Programme de sorties effectuées dans le secteur d'étude pendant ladurée du mémoire.</i> .....	28
<b>Tableau 2:</b> <i>Caractéristiques des infrastructures portuaires (DPRH).</i> .....	29
<b>Tableau 3:</b> <i>Valeurs du fond géochimique définies par <b>Thomas et Meybeck (1992)</b>.</i> .....	43
<b>Tableau 4:</b> <i>Valeur des différents indices calculés pour l'évaluation du degré de contamination des sédiments par les métaux lourds.</i> .....	58
<b>Tableau 5:</b> <i>Classes de contamination de l'indice géo- accumulation (Igeo) (<b>Möller, 1981</b>).</i> ..	58
<b>Tableau 6:</b> <i>Classes de contamination de (FC) définies par <b>Hakanson, 1980; Förstner et al., 1981; Carballeira et al., 1997; Budio et al., 2000</b>.</i> .....	59
<b>Tableau 7:</b> <i>Classe de contamination de l'IPS (<b>Singh et al., 2002</b>).</i> .....	60
<b>Tableau 8:</b> <i>Données sur les EM étudiés pour leur analyse par la SAA.</i> .....	84
<b>Tableau 9:</b> <i>Résultats des paramètres physico-chimiques des stations étudiées.</i> .....	85
<b>Tableau 10:</b> <i>Résultats des teneurs en MES et la MO des stations étudiées.</i> .....	85
<b>Tableau 11:</b> <i>Résultats de la DBO et la DCO des stations étudiées.</i> .....	86
<b>Tableau 13:</b> <i>Résultats de quelques paramètres statistiques sur les ETM étudiés.</i> .....	86

# *Introduction*

### INTRODUCTION

Le développement industriel, agricole et urbain est accompagné inévitablement par des problèmes de pollution de l'environnement aquatique. En effet, du fait de l'activité humaine, plusieurs milliers de substances arrivent à la mer via l'atmosphère ou les eaux continentales exoréiques. Certaines, comme les pesticides et les radioéléments artificiels, sont étrangères au milieu marin, alors que d'autres existent déjà naturellement comme les métaux lourds (**Nakhlé, 2003**).

Ces éléments sont engagés dans des réactions biochimiques et contribuent à l'équilibre du milieu marin et même nombre d'entre eux sont souvent indispensables au déroulement des processus biologiques, ce sont des oligo-éléments (**Belabed, 2010**).

Mais l'apport de contaminants métalliques par l'intermédiaire des effluents industriels et de l'atmosphère, des fleuves et de leur estuaire, peut modifier la composition de l'eau de mer qui peut devenir toxique pour diverses formes de vie (**Belabed, 2010**). C'est le cas, par exemple du chrome (Cr), du cadmium (Cd), et du plomb (Pb) dans les eaux côtières, dont la concentration a varié avec les changements dans l'utilisation de leurs dérivés.

Les utilisations des métaux sont multiples et très diversifiées. Les métaux lourds qui entrent dans l'environnement aquatique sont présents dans tous les compartiments et proviennent à la fois de sources naturelles et de source anthropogènes (*in* **Belabed, 2010**).

A la différence des polluants organiques, les métaux lourds ne se dégradent pas, ce fait ils peuvent soit s'accumuler dans les chaînes alimentaires, soit s'adsorber sur les particules en suspension dans l'eau et finira à se sédimentés sur les fonds marins.

Les paramètres physico chimiques des eaux : pH, température, salinité, oxygène dissous et matières en suspension déterminent la mobilité et la biodisponibilité des métaux lourds en affectant leur spéciation et de ce fait leur comportement (**LCPE, 1994 ; Thevenot et al., 1998 ; USEPA, 2001**).

Les sédiments, réservoirs de métaux lourds, forment une partie intégrale dans le cycle de ces éléments (**Lisk, 1972**). Par conséquent, la distribution, la solubilité et le mouvement de ces éléments restent liés aux propriétés physico-chimiques des sédiments (**Korte et al., 1976**).

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 (**Calmano et al., 1994**).

Plus de 90% des métaux lourds 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.

En raison de la complexité de l'impact de ces substances sur l'environnement et en particulier sur l'écosystème aquatique, l'étude de la pollution par les métaux lourds dans le milieu aquatique et surtout au niveau du sédiment s'avère indispensable, afin de caractériser sa qualité.

C'est dans cette optique que se situe ce travail. Il est focalisé sur l'évaluation de la qualité du sédiment dans quatre zones, à la baie de Zemmouri (littoral de la wilaya de Boumerdes), à savoir deux ports et deux embouchures d'oueds.

Le 1<sup>er</sup> volet de notre étude est consacré sur la mesure des paramètres physico-chimique et indicateurs de pollution du milieu marin ( $T^{\circ}$ , pH, S,  $O_2$  dissous, matière en suspension, DCO et  $DBO_5$ ). Le second s'intéresse à l'évaluation de la contamination du sédiment par les métaux lourds (Cr, Cd, Pb), où la technique de spectroscopie d'adsorption atomique a été utilisée.

Le travail a comporté les parties suivantes :

- Une synthèse bibliographique relative à la pollution marine, ces types et ces origines, une description des contaminants métalliques étudiés (Cr, Cd, Pb), leur comportement et leurs risques toxicologiques,
- Description de la zone d'étude (baie de Zemmouri) suivant le contexte géologique, hydrologique et climatologique.
- La partie expérimentale, dans laquelle sont exposés l'ensemble des méthodes et technique utilisées.
- Résultats obtenus et leurs interprétations et discussions avancées.
- A la fin une conclusion générale a clôturé ce travail.

*Chapitre I :*  
*Généralités*

## I. La pollution marine

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « pollution marine » parmi les quelles, on a noté :

**Leynaud et Verrel (1980)** définissent la pollution comme suit : « la notion de la pollution ne se réfère pas à la pureté des eaux ni même à leurs aptitudes, mais aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humaines. Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifiées par l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations aux quelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles ».

**Gaujous (1995)** a insisté sur la notion de dégradation du milieu. Selon lui, la pollution « résulte de l'introduction dans un milieu de substances conduisant à son altération ».

La convention de **MONTGO-BAY (1982)** définit la pollution marine comme suite : « l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que les dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marine, des risques pour la santé de l'homme, entrave au activités maritimes, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, altération de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et dégradation des valeurs d'agrément » (**Didane, 2011**).

Selon la loi **n°03-10** du **journal officiel n°43** du **19 juillet 2003** sur la protection de l'environnement la pollution des eaux est défini comme suite : « l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristique physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore terrestres et aquatiques, de porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation normale des eaux ». Et donc la pollution prend effet dès qu'un rejet à des conséquences jugées négatives sur la qualité du milieu récepteur (**Gaujous, 1995**).

D'après toutes ces différentes définitions, on a distingué que la pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels ; elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques.

Cette pollution engendrée peut être classée soit suivant :

- Sa nature et dans ce cas nous parlons d'une pollution d'ordre physique, chimique ou biologique ;
- Ou son origine et dans ce cas il s'agit d'une pollution domestique, industrielle ou agricole.

## **II. Classification de la pollution selon sa nature**

### **II.1. La pollution physique**

Elle est essentiellement industrielle, secondairement domestique. La pollution physique est liée aux facteurs influant sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousse et le changement de l'effet réfractaire de l'eau (**Kankou, 2004**).

Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (les rejets d'eau chaude des centrales électriques) et la pollution atomique (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et les accidents nucléaires) (**Saker, 2007**).

### **II.2. La pollution chimique**

Elle est causée essentiellement par les rejets industriels qui apportent de grandes quantités de substances chimiques, perturbant ainsi l'équilibre de l'écosystème aquatique.

La pollution chimique due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau (**Kankou, 2004**). Ces éléments peuvent être soit des composés minéraux (engrais, métaux...), organiques (hydrocarbures, molécules de synthèse...) ou des composés organochlorés tels que les amines et les phénols (**Ramade, 2000**).

### **II.3. La pollution biologique**

La pollution biologique est l'introduction d'espèces exogènes ou d'organismes génétiquement modifiés dans un milieu, ainsi que les modifications environnementales qui aboutissent à une modification des peuplements. Parmi ces agents causals :

- Les microorganismes pathogènes tels que les bactéries et les virus qui sont véhiculés par les eaux usées directement rejetées en mer. S'ils sont capables de survivre en mer, ils peuvent infecter les baigneurs ou contaminer les animaux marins (coquillage, oursins) et induire ainsi des maladies chez l'homme qui consomme ces animaux crus.

- Les proliférations non pathogènes de micro algues causant des déséquilibres de milieu naturel et des modifications dans la chaîne alimentaire (bloom phytoplanctonique, eutrophisation). La principale cause de ces proliférations planctoniques est les apports des déchets industriels, domestiques et agricoles riches en nitrates et phosphates (*in Bachouche, 2010*).

### III. Classification de la pollution selon son origine

#### III.1. Pollution domestique

Provenant des habitations, elle englobe les eaux vannes qui comprennent les eaux des diverses toilettes et les eaux ménagères et notamment celle qui résultent des lavages. Elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement qui peut être acheminé vers la station d'épuration (**Gaujous, 1995**). La pollution domestique se caractérise par :

- Des germes fécaux ;
- De fortes teneurs en MO ;
- Des sels minéraux (azote, phosphore) ;
- Des détergents.

En sortie de station d'épuration, on retrouve les mêmes éléments en quantités moindres (50 à 90% extraits) mais concentrés en un point de rejets (**Gaujous, 1995**). Elle est évaluée en « équivalent- habitant » (**Gaujous, 1995**).

#### III.2. Pollution industrielle

Provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, sa nature est aussi variée que celle des industries, et donc suivant l'utilisation de l'eau (processus) ; tous les produits ou sous-produits de l'activité humaine se retrouvent ainsi dans l'eau (**Gaujous, 1995**). Elle génère plusieurs polluants en fonction de l'industrie en question à savoir :

- Matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires, équarrissages...) ;
- Hydrocarbures (raffineries) ;
- Métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...) ;
- Eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitements des déchets radioactifs).

### III.3. Pollution agricole

Elle provient des fermes ou des cultures. Elle se caractérise par :

- De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant des engrais, des purins et lisier (élevage) ;
- La présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...) (**Gaujous, 1995**).

## IV. Paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution

### IV.1. Température

La température est un paramètre de base important pour la connaissance du milieu marin et particulièrement la connaissance des masses d'eaux. La température influe sur l'activité biologique dont dépend la production totale, et sur la répartition des espèces.

En milieu océanique, la température, associée à la salinité, est mesurée avec une très grande précision par les physiciens pour calculer la masse volumique de l'eau, paramètre nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique. La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation ou le traitement d'autres paramètres (**Aminot et Kérrouel, 2004**).

Dans les eaux océaniques, la température décroît de la surface vers le fond (**Aminot et Kérrouel, 2004**).

### IV.2. Salinité

La première définition résulte de la technique reproductible de **Sørensen (1902)** : C'est la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromure et iodure sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée (**Rodier, 2009**).

Cette définition a été revue quand de nouvelles techniques permettant de déterminer la salinité à partir de mesure de conductivité, température et pression, furent développées. Depuis 1978 l'échelle pratique de salinité définit la salinité en terme de rapport de conductivité : La salinité pratique, d'un échantillon d'eau de mer, est définie en fonction du rapport K de la conductivité électrique de cet échantillon d'eau de mer à 15°C et à la pression atmosphérique normale, et de celle d'une solution de chlorure de potassium dans laquelle la fraction en masse de KCl est

0,0324356, à la même température et même pression. Une valeur de  $K$  égale à 1 correspond par définition à une salinité pratique égale à 35 (*in Olivier, 2002*).

La salinité s'exprime en g/kg, ‰ ou en *PSU* (*Rodier, 2009*).

C'est un paramètre important pour l'étude du milieu marin, et surtout dans la connaissance de la circulation océanique par l'identification des masses d'eaux et le suivi de leurs mélanges au large comme à la côte ou dans les estuaires (*Aminot et Kérouel, 2004*).

#### IV.3. Oxygène dissous

L'importance de l'oxygène dissous comme paramètre de la qualité de l'eau n'est plus à démontrer dans la mesure où il gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (*Aminot et Kérouel, 2004*).

La concentration en oxygène dissous est sous l'influence des facteurs physiques (échange air-mer, mélange océanique...), chimiques (réactions d'oxydo-réductions), et biologiques (respiration, photosynthèse, dégradation bactérienne, nitrification...) du milieu (*Rodier, 2009*).

Sa concentration varie également de manière journalière, saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs telle que la pression partielle en l'oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière mais également l'agitation de l'eau et la disponibilité des nutriments (*Aminot et Chaussepied, 1983*).

#### IV.4. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le  $pH$  est relatif à la concentration en ions hydrogène ( $H^+$ ) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Cette notion a été introduite par *Sørensen* en 1909 qui l'avait défini comme le cologarithme décimal de la concentration en ions  $H^+$  ( $pH = -\log_{10} C_H$ ).

Il est considéré comme un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes (*Aminot et Kérouel, 2004*).

Le  $pH$  de l'eau de mer résulte de sa composition ionique, et essentiellement de la présence des carbonates issus de l'échange de dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) entre l'eau et l'atmosphère, ainsi que la dissolution du calcaire. Il est de l'ordre de 8 à 8.3 (*Aminot et Kérouel, 2004*).

#### IV.5. Matières en suspension (MES)

Elles regroupent l'ensemble des particules de toutes formes minérales et/ou organiques, vivantes et/ou détritiques, de nature, biogène, terrigène, éolienne, et/ou météorique, présentes dans l'eau. Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon (*CREPA, 2007*).

L'abondance des matières en suspension dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse (**CREPA, 2007 ; Rodier et al., 2009**). De l'autre côté, et selon leur nature, elles sont une source nutritive non négligeable pour la faune (**Aminot, 1983**).

#### **IV.6. Demande biochimique en oxygène (DBO)**

Elle représente la quantité d'oxygène consommée lors des réactions ou processus biologiques de dégradation des charges organiques polluantes sous l'action des microorganismes. La température d'analyse et la durée d'incubation (5 jours) sont fixées l'ors de cette analyse (**Aminot et Kérouvel, 2004 ; Rodier et al., 2005**). Elle est déterminée en mg/l, et elle est proportionnelle à la pollution de l'eau.

#### **IV.7. Demande chimique en oxygène (DCO)**

La DCO est définie comme la quantité d'O<sub>2</sub> consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies par voie chimique. En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (**Rodier et al., 2009**).

### **V. Pollution par les métaux lourds**

#### **V.1. Les métaux lourds**

De multiples définitions sont proposées et ce en fonction du contexte dans lequel se situe l'étude à réaliser ainsi que ces objectifs.

Un métal est un élément chimique, d'un aspect brillant, qui peut former des liaisons métalliques et perdre des électrons pour former des cations (**Casas, 2005**).

C'est un bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, il se combine aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisés par l'homme (**Thomas, 2007 ; Picot, 2014**).

Ils possèdent une densité supérieure à 5 g.cm<sup>-3</sup>, un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium (Z=11) et sont toxiques pour les systèmes biologiques (**Chiffolleau et al., 2001**). La densité n'est pas toujours vérifiée, comme le cas de l'Arsenic, qui est un métalloïde.

Dans l'environnement marin, les métaux lourds proviennent soit de sources naturelles et/ou de sources anthropiques (**Stankovic et al., 2014**).

## V.2. Cycle des métaux lourds en milieu aquatique

Ils sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces (**Belanger, 2009**). Les plus toxiques d'entre eux sont le Plomb, le Cadmium, le Mercure et le chrome.

L'origine des métaux présents dans le milieu aquatique est double. Ils sont naturellement présents dans la biosphère suite à l'érosion mécanique et chimique des roches et du lessivage des sols (**Labarthe, 2007**).

La contribution d'origine anthropique est aussi considérée, issue des rejets industriels et domestiques, de l'activité minière et des eaux d'écoulement contaminées par les engrais et les pesticides utilisés en agriculture, ce qui augmente leur concentrations en milieu aquatique et surtout en zone côtière (**Belanger, 2009**).

Les métaux comme tous les éléments présentent un polymorphisme chimique dépendant à la fois de leur forme (ex : chrome trivalent et hexavalent) et des composés minérales ou organiques dans les quels ils sont incorporés (**Ramade, 2005**).

Ils sont présents sous formes d'ions, de complexes inorganiques et organiques, en solution ou adsorbés sur des colloïdes ou des aérosols (**Bliefert et Perraut, 2003**).

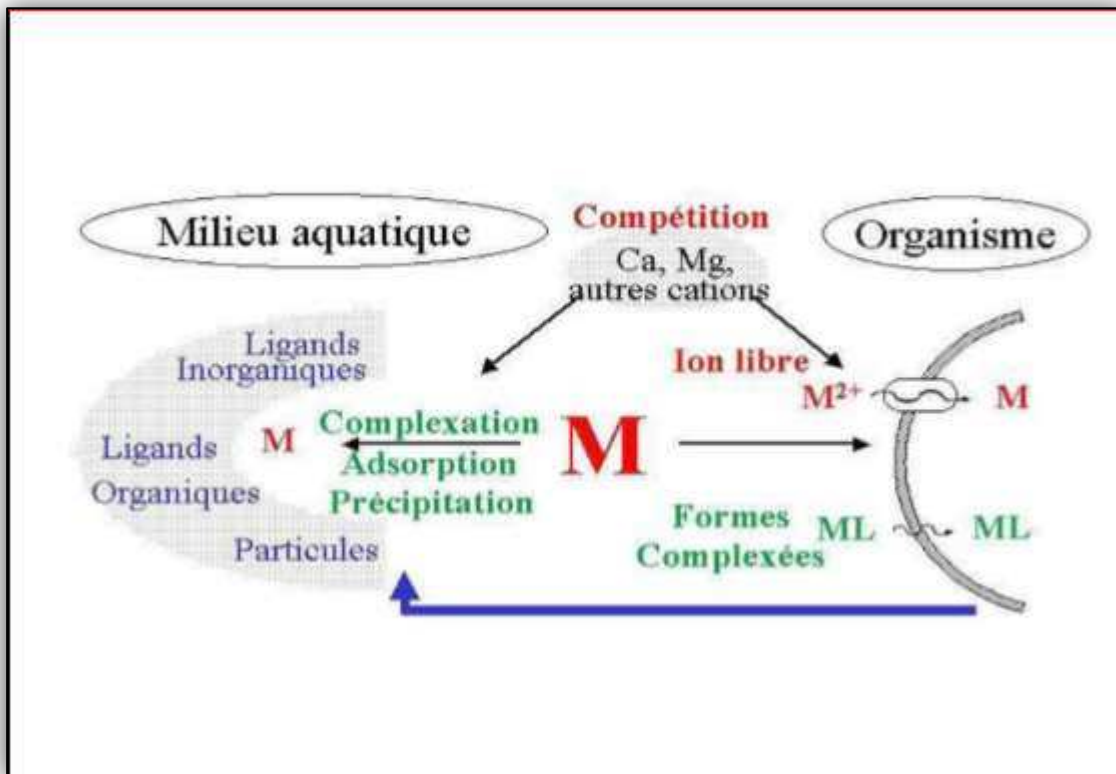
Une fois arrivés dans l'environnement aquatique, les métaux se répartissent entre les différents compartiments de l'environnement aquatique : eau, matières en suspension, sédiments et biote (**Biney et al., 1994**).

Les principaux processus qui gouvernent la distribution et la répartition des métaux lourds sont la dilution, l'advection, la dispersion, la sédimentation et l'adsorption/désorption (**Biney et al., 1994**).

Au cours de leur distribution dans le milieu, le stockage permanent ou temporaire des métaux se fait dans les sédiments où les activités microbiennes et les processus de réduction par oxydation peuvent modifier les propriétés des sédiments et influencer sur la composition de l'eau interstitielle (**Biney et al., 1994**).

Dans l'environnement aquatique (Figure 1), les métaux lourds subissent de nombreuses transformations : réduction par processus biochimiques interposés, méthylation, déméthylation et oxydation d'espèces de métaux isolées. Des réactions redox peuvent aussi faciliter certaines transformations (**Biney et al., 1994**).

Les métaux lourds sont absorbés tant par la faune que par la flore, qui pourrait provoquer une augmentation de la concentration du métal dans l'organisme, si la phase d'excrétion est lente, ce qui pourrait provoquer une bioaccumulation (Biney *et al.*, 1994). Ils peuvent atteindre des concentrations menaçant la survie de certaines populations naturelles et présenter des dangers pour le consommateur de produits marins (JIKA *et al.*, 2008).



**Figure 1:** Interactions subies par les métaux au cours de leur transport en milieu aquatique (*in* Messai, 2014).

### V.3. Le chrome (Cr)

#### V.3.1. Propriétés fondamentales

Le chrome fait partie de la série des métaux de transition. C'est un métal dur, d'une couleur gris acier argenté. Il résiste à la corrosion et au ternissement (Brown, 1971).

Les états d'oxydation les plus communs du chrome sont +2, +3, et +6 ; +3 étant le plus stable et les +4 et +5 sont relativement rares. L'état d'oxydation +6 ou chrome hexavalent est puissant oxydant (Brown, 1971).

Le chrome est essentiellement obtenu à partir de la chromite qui est un minerai du type spinelle assez répandu sur le globe. Dans ce dernier, le chrome est pratiquement toujours associé au magnésium sous forme de chromite de fer  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  mais peut être également associé au magnésium sous forme de chromite de magnésium ( $\text{Mg Cr}_2\text{O}_4$ ).

On y trouve également de l'oxyde d'aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et de la silice (*in Belabed, 2010*). D'après **Sittig (1976)**, le chrome représente 0,037% de la croûte terrestre.

### V.3.2. Utilisations du chrome

Les diverses industries utilisatrices du chrome sont les industries : des couleurs et laques, des films et photographie, galvanique et électrique, du bois, du cuir, de polissage, des textiles et des allumettes.

### V.3.3. Pollution par le chrome

La pollution des eaux par le chrome résulte des activités métallurgiques, de la fabrication et de l'utilisation de pigments et de matériaux réfractaires à base de métal, de la galvanoplastie, mais aussi du lessivage des terres agricoles recevant des fertilisants renfermant du chrome dans leurs impuretés (**Ramade, 2005**).

Parmi les diverses formes inorganiques du chrome, la plus toxique est le chrome hexavalent. La pollution des eaux par cet élément s'effectue soit par transfert atmosphérique, via les précipitations, soit de rejets d'effluents liquides par des activités industrielles ou artisanales (**Ramade, 2005**).

### V.3.4. Propriétés biologiques et toxicité

Le chrome trivalent est un oligo-élément essentiel pour le métabolisme du sucre chez l'être humain.

Une déficience en chrome peut affecter le potentiel de l'insuline à réguler le niveau de sucre dans l'organisme. L'impact immédiat de sa présence dans le milieu marin se manifeste par sa concentration dans les différents organismes aquatiques (*in Belabed, 2010*).

D'après le **Water Quality Criteria (1963)**, les poissons sembleraient plus résistants que les autres espèces aquatiques aux sels de chrome. Dans l'ensemble des tests biologiques montrent le chrome hexavalent comme étant plus toxique pour les poissons que le chrome trivalent. Bon nombre d'auteurs ont constaté dans leurs études expérimentales que le chrome trivalent est la forme la plus toxique pour les poissons.

D'après les études de **Renhwoldt (1976)** sur la distribution du chrome chez la carpe, cet élément a tendance à s'accumuler principalement dans le foie et les reins des organismes intoxiqués.

#### V.4. Le cadmium (Cd)

##### V.4.1. Propriétés fondamentales

De couleur blanc brillant, le cadmium a une grande résistance à la corrosion avec un point de fusion est bas. Il a une bonne conductivité d'électricité et ses produits dérivés ont une bonne résistance aux fortes températures (**Borchardt, 1985**).

Il présente des caractéristiques chimiques proches de celles du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes (**Borchardt, 1985**).

Le cadmium est un élément rencontré en milieu aquatique sous diverses formes physiques (dissoute, colloïdale, particulaire) et chimiques (minérale ou organique), gouverné par plusieurs variables physico-chimiques ainsi que les caractéristiques sédimentologiques, (**Gonzalez et al., 1999 ; Chiffolleau et al., 2001**).

Les formes dissoutes (< 1 nm) de cet élément en milieu aquatique sont des espèces libres ( $\text{Cd}^{2+}$ ) et formées par des associations (Complexation) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant) minéraux ou organiques. Contrairement au mercure, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à  $\text{pH}=8$ , la quasi-totalité du cadmium est présent sous forme  $\text{Cd}^{2+}$ . Plus la salinité augmente, plus la concentration en  $\text{Cd}^{2+}$  diminue (**Cossa, 1989 ; Campbell, 1995**).

Pour des  $\text{pH}$  supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec l'eau de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures: les chloro-complexes ( $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdCl}_3$ ).

Pour des salinités faibles, c'est l'espèce  $\text{CdCl}^+$  qui domine, alors qu'en milieu marin, c'est  $\text{CdCl}_2$  qui est majoritaire (**Cossa et Lassus, 1989**).

Les formes colloïdales (de 450 à 1 nm) se forment lorsque le cadmium se fixe à des oxydes de fer, de manganèse, des hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale.

Les formes particulières (> 0,45  $\mu\text{m}$ ) se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritiques (bruit de fond géochimique), par liaison à une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différents fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de

manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matières organiques, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse)(**Gonzalez et al., 1999**).

#### V.4.2. Utilisations du cadmium

Le cadmium est naturellement présent à l'état de traces dans les roches superficielles de l'écorce terrestre, ce qui en fait un élément plus rare que le mercure et le zinc (*in Belabed, 2010*).

Il y a deux origines principales de présence de cadmium : le cadmium primaire est principalement associé au zinc dans les minerais de zinc (blende) (0,01 à 0,05%) et donc sous-produit de la métallurgie du zinc qui donne en moyenne 3 kg de cadmium par tonne de zinc (*in Belabed, 2010*).

Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre ainsi que dans des phosphates naturels. Les usages de cadmium se situent principalement en électricité (accumulateurs), en métallurgie (traitement des surfaces par cadmiage) et dans l'industrie des matières plastiques (stabilisateur de polymères) (**Ramade, 1992**). Le cadmium est le produit de recyclage (accumulateurs Ni/Cd, alliages Cu/Cd, poussières d'aciéries, incinération d'ordures ménagères).

Dans l'eau, le cadmium provient de l'érosion naturelle, du lessivage des sols (engrais phosphatés) ainsi que des décharges industrielles et du traitement des effluents industriels et des mines (*in Belabed, 2010*).

#### V.4.3. Propriétés biologiques et toxicité

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants.

Il remplace parfois le Zn dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (**Price et Morel, 1990 ; Lane et Morel, 2000**).

Le cadmium présente des risques chez le consommateur même à de faibles concentrations. Il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50 ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées.

Chez l'homme, le phénomène de toxicité aiguë est connu depuis 1950 sous le nom de syndrome d'Itai-Itai défini par l'association d'une insuffisance rénale avec ostéoporose (déméralisation et fragilisation des os) et ostéomalacie (déméralisation et déformation des os) (*in Belabed, 2010*).

Le comité mixte **FAO/OMS, JECFA (Joint Expert Comité for Food Additives)**, a recommandé chez l'homme une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 7 µg de cadmium par kilogramme de poids corporel et par semaine.

Un seuil maximum de 1mg/kg de poids humide de cadmium est fixé dans les denrées alimentaires (**CCE466/2001**). Cependant, il ne présente pas de toxicité aiguë pour les organismes marins à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu.

Au niveau sublétal, des concentrations de 0,05 à 1,2 µg/l peuvent provoquer des effets physiologiques (anomalies dans le développement embryonnaire et larvaire chez mollusques bivalves) et des inhibitions de croissance (**Chiffolleau et al., 2001**).

## **V.5. Le plomb (Pb)**

### **V.5.1. Propriétés fondamentales**

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, de numéro atomique 82, peu ou rarement disponible à l'état natif. Il existe sous trois formes essentielles: le plomb dissous, le plomb colloïdal et le plomb particulaire (**Borchardt, 1985**).

Les espèces dominantes dans l'eau de mer sont  $\text{PbCO}_3$ ,  $\text{PbCl}_2$  ou  $\text{PbCl}^+$ . Cette répartition ne prend pas en compte la matière organique dissoute, du fait que le plomb, dans l'eau de mer, se trouverait essentiellement sous forme de complexes organiques labiles. De même que pour le mercure, le plomb peut-être méthylé par les bactéries dans les sédiments, mais ce phénomène revêt une moindre importance (**Cossa, 1989**).

Le plomb présente aussi une forte affinité pour la matière particulaire. En effet, 10 % du plomb se trouve sous cette forme dans l'océan. L'adsorption du plomb sur la matière particulaire est fonction du *pH* et augmente avec ce dernier (*in Belabed, 2010*).

### **V.5.2. Utilisations du plomb**

Le plomb est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments (Fe, Cu, Cd, Bi, Sb, Ge, As et Ag) qui sont en grande partie récupérés lors des opérations métallurgiques (*in Belabed, 2010*).

Les minerais mixtes Plomb-Zinc représentent 70 % de la production minière du plomb, celle du plomb seul en représentent 20 % ou plus de la moitié provienne d'une coproduction lors du traitement du minerai de cuivre, de zinc ou d'autres métaux. Le principal minerai du plomb est la galène ( $\text{PbS}$ ) très souvent associé à la blende et à la pyrite (**Chiffolleau et al., 2001**).

L'utilisation du plomb est liée, auparavant à la production de la monnaie, des canalisations et de la vaisselle, alors qu'actuellement c'est beaucoup plus l'industrie, l'imprimerie, les peintures et les carburants automobiles (**Miquel, 2001**).

Les apports de plomb à l'océan se font majoritairement par voie atmosphérique, la source principale étant encore à l'heure actuelle la combustion des carburants automobiles (**Marchand et Kantin, 1997**).

Dans les sédiments, le plomb peut être remis en solution par dégradation aérobie de la matière organique particulaire à laquelle il est associé. Cette solubilisation s'observe également en surface par dissolution des oxydes de fer et de manganèse (**Marchand et Kantin, 1997**).

### **V.5.3. Propriétés biologiques et toxicité**

Les doses létales du plomb, sous la forme de sel minéral, sont souvent supérieures à sa limite de solubilité dans l'eau de mer, c'est à dire 4 mg/L (*in* **Belabed, 2010**).

Le plomb inorganique peut donc être considéré comme toxique (concentration létale de 1 à 10 mg/L) ou modérément toxique (concentration létale de 10 à 100 mg/L). Le seuil de qualité sanitaire réglementaire est de 1,5 mg/kg (**CE 221/2002**). Des effets sur la croissance de certaines espèces phyto-planctoniques ont été enregistrés à partir de 0,5 µg/L. Il affecte aussi les invertébrés marins notamment aux stades embryonnaires sont plus sensibles que les adultes (*in* **Belabed, 2010**).

L'effet toxique du plomb peut se traduire par une compétition avec des métaux essentiels divalents comme le calcium, le magnésium et le cuivre, ce qui génère des perturbations métaboliques (**Marchand et Kantin, 1997**).

Enfin, le saturnisme qui se manifeste lors d'intoxication humaine par le plomb. Ses principaux organes cibles sont le système nerveux, les reins et le sang. Cette maladie se caractérise par une anémie et une perturbation du métabolisme par compétition avec les ions  $\text{Ca}^{2+}$  (*in* **Belabed, 2010**).

## **VI. Le sédiment**

### **VI.1. Définition et origine**

Un sédiment est un dépôt de particules en suspension dans l'eau dérivant elles-mêmes de l'érosion des roches et des sols, de matériaux détritiques minéraux ou organiques et de la flocculation d'éléments colloïdaux (**Ramade, 1998**).

La composition et la nature de ce dépôt sont partiellement liées à la constitution pétrographique des bassins versants. Ils sont dits d'origine allochtone quand ils sont issus de l'érosion du bassin versant par des agents dynamiques externes comme l'eau ou le vent, et d'origine autochtone quand ils sont dus à la sédimentation de composés minéraux (carbonates, phosphates,...) et organiques (organismes planctoniques morts) (**Ramade, 1998**). Les sédiments sont essentiellement caractérisés par leur structure et leur composition.

## **VI.2. La structure**

Selon **Bellair et Pomerol (1977)**, les sédiments se classent selon la taille de leurs particules. Les particules d'un diamètre supérieur à 63  $\mu\text{m}$  caractérisent les sédiments grossiers qui sont principalement constitués du sable et du matériel inorganique silicaté. Ces sédiments présentent une faible cohésion. Les surfaces de contact des différentes particules sont peu importantes et donc sont peu associées aux contaminants. On distingue généralement les graviers ( $\varnothing > 2 \text{ mm}$ ) et les sables ( $63 \mu\text{m} < \varnothing < 2 \text{ mm}$ ).

Les particules d'une taille inférieure à 63  $\mu\text{m}$  sont constituées de minéraux argileux ayant un diamètre compris entre 0,2 et 2  $\mu\text{m}$ , et de silt ayant un diamètre compris entre 2  $\mu\text{m}$  et 63  $\mu\text{m}$ . Cette fraction fine peut également contenir de la matière organique. Les particules fines sont très cohésives, elles sont chargées négativement et leur surface de contact est importante.

Ces caractéristiques leur donnent des affinités vis-à-vis des contaminants métalliques. La matière organique sédimentaire, caractérisée par le carbone organique, est constituée de macromolécules polymérisées hétérogènes. Elles possèdent des sites hydrophiles qui leur permettent de s'adsorber à la surface des particules argileuses et de complexer de nombreux contaminants (**Burton, 1992 ; Bonnet, 2000**).

## **VI.3. La composition**

Le sédiment est une matrice très hétérogène, constitué de matériaux détritiques organiques et inorganiques (**Power et Chapman, 1992**). Il présente principalement trois composantes: eau interstitielle, phase inorganique et phase organique.

### **VI.3.1. Eau interstitielle**

Elle correspond à l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires et représente une fraction importante du sédiment avec généralement plus de 50 % de son volume selon que ceux-ci soient plus ou moins sableux. La teneur en eau est d'autant plus importante que la texture du sédiment est fine (**Campy et Meybeck, 1995**).

**VI.3.2. Phase inorganique**

Elle est formée de minéraux provenant de l'érosion de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Ses composés sont principalement des argiles, des carbonates et des silicates. La taille de ces particules s'étend sur plusieurs ordres de grandeur, avec des diamètres inférieurs à 0,1  $\mu\text{m}$  jusqu'à plusieurs mm (**Sigg et al., 1992**).

Ces particules sont généralement enrobées d'hydroxyde de fer et de manganèse et de substances organiques qui leur confèrent une grande capacité d'adsorption vis-à-vis des contaminants.

**VI.3.3. Phase organique**

Elle n'occupe qu'un très faible pourcentage du sédiment, mais joue un rôle primordial puisqu'elle régule la mobilité et donc la biodisponibilité d'un grand nombre de contaminants, en particulier les composés organiques non ioniques (**Power et Chapman, 1992**).

Selon sa taille, la matière organique peut être classée en carbone organique dissous (CDO < 1 KDa), colloïdal (1 KDa < COC < 0,22  $\mu\text{m}$ ) et particulaire (COP > 0,22  $\mu\text{m}$ ) (**Bonnet, 2000**).

Cette matière offre l'intérêt de posséder à la fois des sites hydrophiles et hydrophobes qui lui permettent de s'adsorber à la surface des particules minérales et de complexer, dans les phases aqueuses et particulaires, des contaminants organiques hydrophobes, des métaux sous forme ionique et des molécules non chargées (**Santschi et al., 1999**).

*Chapitre II :*

*Zone d'étude*

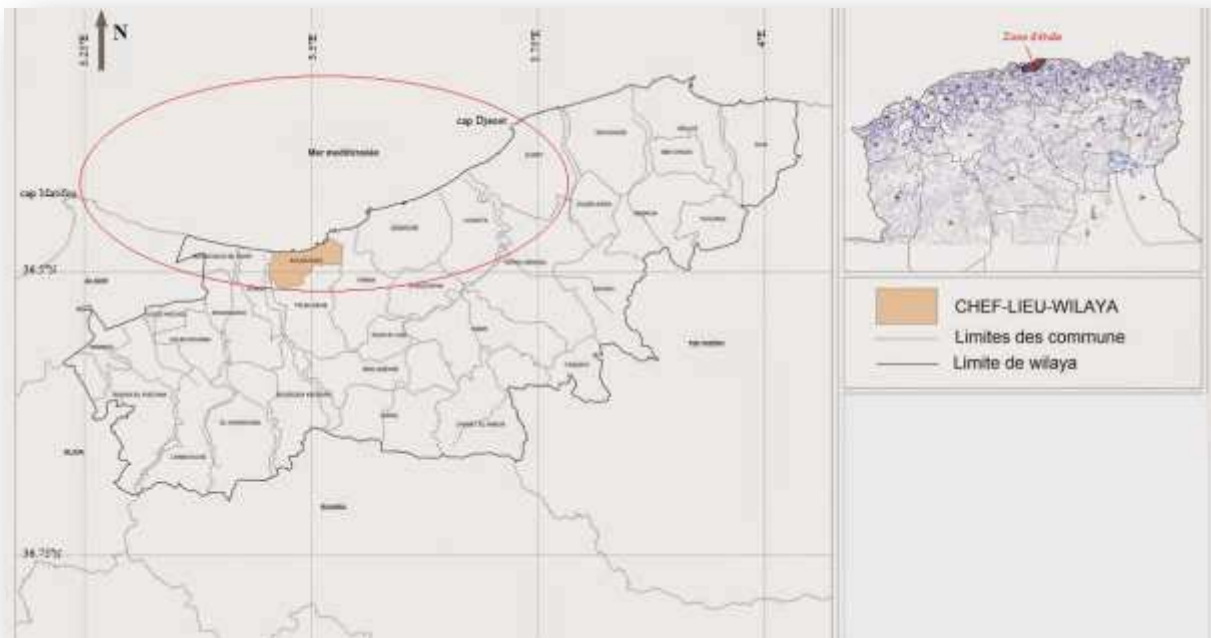
Les données, citées dans cette partie, sont des données développées par le groupe du **Centre National d'Etudes et de Recherches Appliquées en Urbanisme** en **2004** et en **2012** dans le cadre d'une étude d'évolution territoriale et diagnostic sur la wilaya de Boumerdes.

### I. Présentation de la wilaya de Boumerdes

C'est une wilaya côtière du Centre Algérien s'ouvrant sur la mer méditerranée avec une façade maritime de 80,33 Kms, au Nord. Elle est limitée à l'Ouest par la wilaya d'Alger, à l'Est par la wilaya de Tizi-Ouzou, au Sud-Ouest par la wilaya de Blida et enfin au Sud par la wilaya de Bouira.

Son littoral est caractérisé par une partie orientale qui constitue la large baie de Boumerdès, qui se situe à une quarantaine de Kilomètres à l'Est d'Alger au centre de laquelle se trouve son chef-lieu. Cette baie est limitée à l'Ouest par le cap Matifou ( $36^{\circ}49'$  Nord et  $3^{\circ}15'$  Est), à l'Est par le cap de Djinet ( $36^{\circ}53'$  Nord et  $3^{\circ}45'$  Est).

La partie orientale de la baie (de Boumerdès à Djinet) est plus incurvée. Elle est constituée de petites baies : EL Kerma, Zemmouri El Bahri et cap Djinet.



**Figure 2:** Situation géographique de la baie de Zemmouri (Boumerdes route, 2017. Modifiée).

## II. Contexte socio-économique

Cette région est connue par sa grande activité agricole et plus au moins industrielle et touristique. La population qui se trouve sur la zone d'étude atteint 802 083 habitants, avec un taux d'urbanisation de 47,02 %. Elle est concentrée généralement au niveau des communes et des hameaux.

L'agriculture est observée sur l'ensemble de la plaine, avec une très grande variété de cultures (céréaliculture, oléiculture, apiculture, l'arboriculture rustique). L'industrie est représentée par les petites et moyennes entreprises qui sont localisée dans les différentes communes.

L'ensemble des rejets urbains et industriels de la wilaya se jette directement dans les oueds qui se font vers la mer sans aucun pré traitement à l'exception de deux communes (Corso et Boumerdes).

## III. Caractéristiques climatologiques et hydrologiques

La bonne connaissance des conditions climatiques, des caractéristiques hydrodynamiques et des aquifères est nécessaire dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques de cette zone.

### III.1. Climatologie de la zone d'étude

Le littoral de Boumerdès, est entièrement placé sous l'influence du bassin méditerranéen, il est donc caractérisé par un climat humide et tempéré (Figure 03), qui dépend essentiellement de deux paramètres : les précipitations et la température.

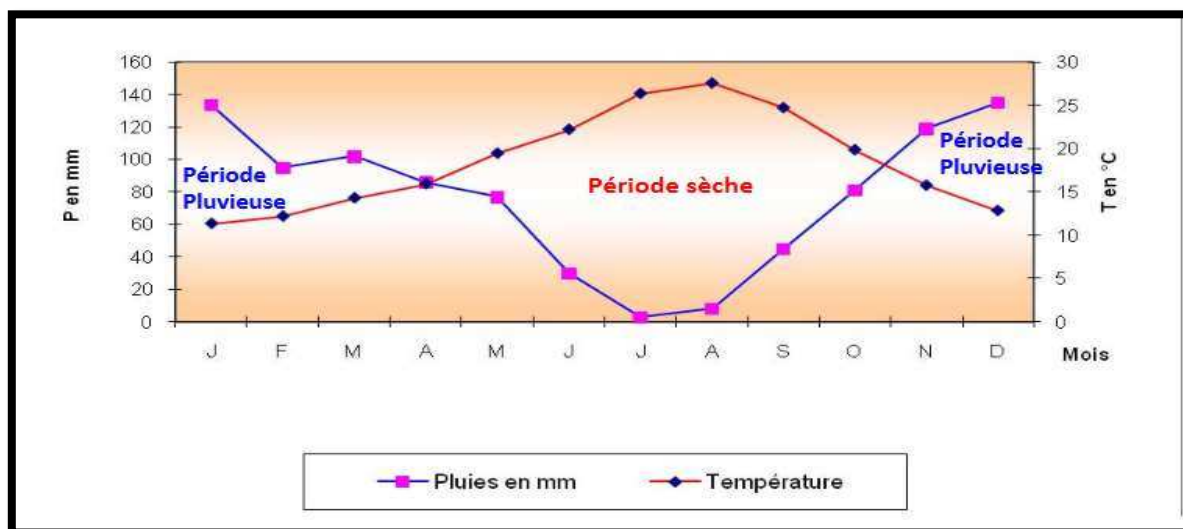


Figure 3: Diagramme Ombro-thermique de la wilaya de Boumerdes (CNERU, 2013).

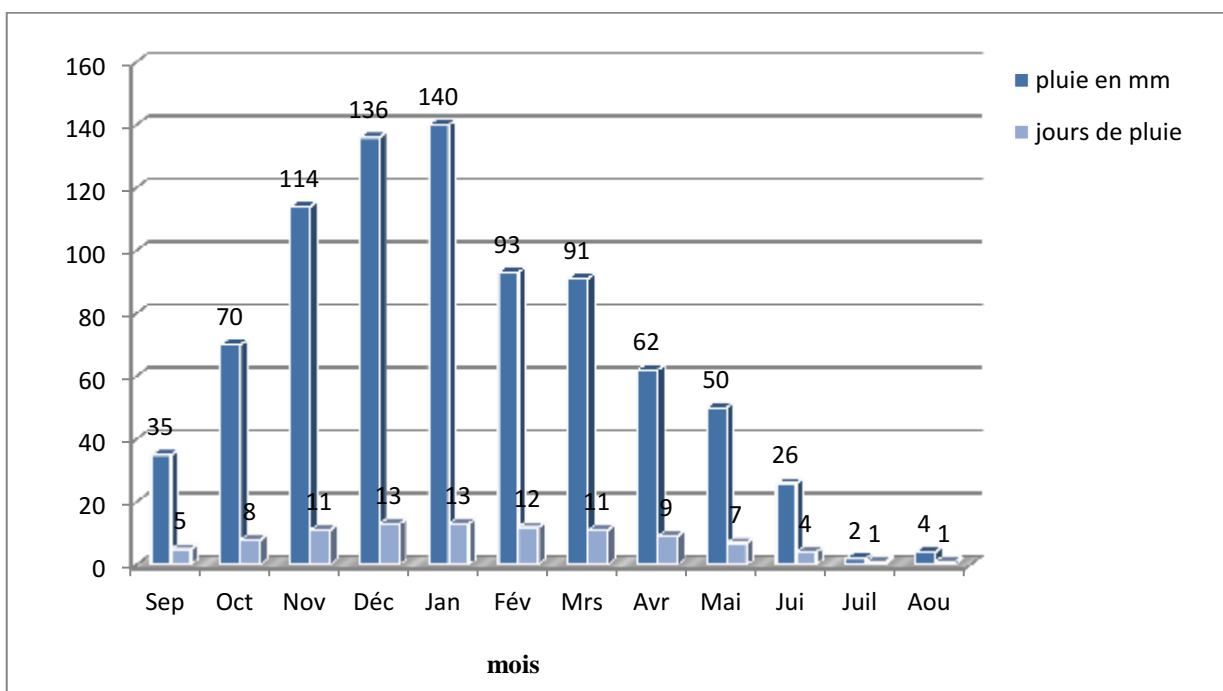
### III.1.1. Les précipitations

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations représentées dans la figure 04, montrent que les précipitations varient d'un mois à l'autre. Cette variation traduit une forte irrégularité de 500 à 900 mm par an entre les différents mois de l'année hydrologique. Il y a lieu de signaler que les régions de Nord-est de la wilaya de Boumerdès sont plus arrosées que le reste de la wilaya avec une pluviométrie moyenne supérieur à 900 mm/an.

La période pluvieuse de la wilaya de Boumerdès est caractérisée par un déséquilibre entre 6 mois pluvieux (Octobre à Mars). Une augmentation rapide des pluies avec un maximum en mois de Décembre (142mm) est observée, par contre la période estivale (Avril à Septembre) est la plus sèche, caractérisée par un décroissement lent jusqu'en juin puis pratiquement nulles en juillet et août.

Pour ce qui est du nombre de jours de pluies, les mois de décembre, janvier et février ont enregistrés plus de 12 jours de pluies.

L'étude réalisée par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (**ANRH**) sur l'ensemble du territoire national met en évidence le caractère homogène de la répartition spatiale des pluies et qui sont comprises entre les isohyètes 800 et 900 mm.



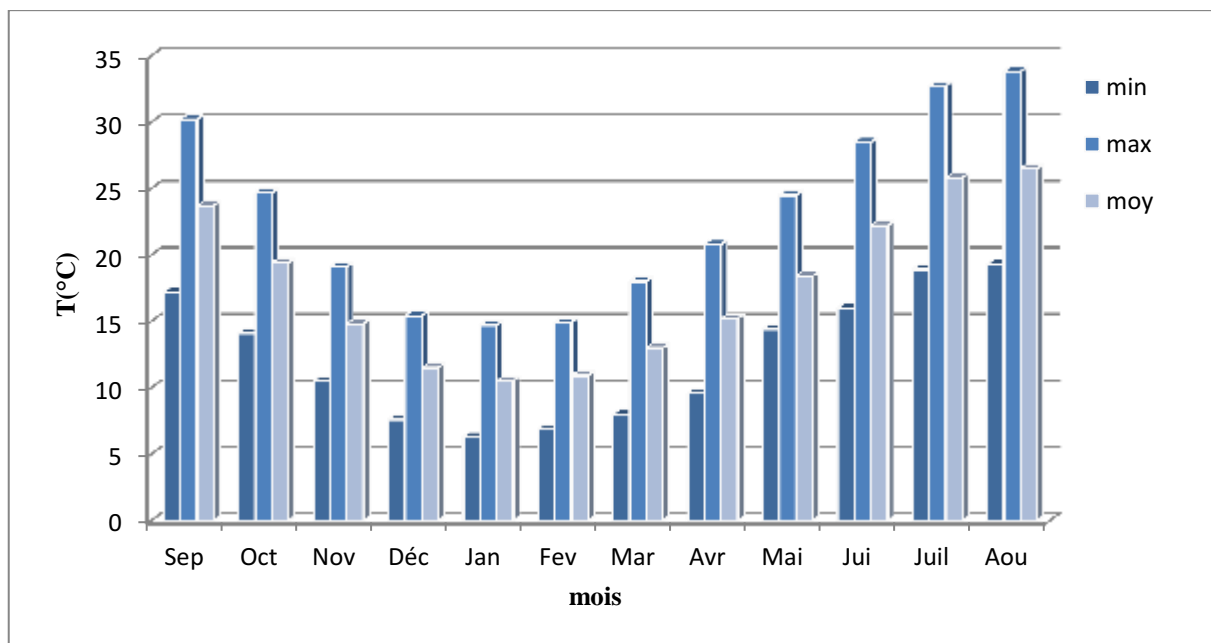
**Figure 4:** Histogramme des précipitations de la wilaya de Boumerdes (ANRH, 2013 in CNERU, 2013).

### III.1.2. La température

La température, dans la zone côtière de la wilaya de Boumerdès, connaît un adoucissement. Cela est dû à la proximité de la mer et à la présence de nombreux cours d'eau. Elle présente une moyenne annuelle de 18°C près de la côte et de 25°C à l'intérieur des terres.

La température moyenne annuelle des mois les plus chauds est de 22,66 °C (avril à octobre), alors que pour les mois les plus froids elle est de 12,65 °C (novembre à mars).

La zone de Boumerdes est caractérisée par une humidité relative élevée et constante durant toute l'année. Deux types de facteurs déterminant la modification de la température à savoir le changement d'un lieu à l'autre (latitude, sol, continentalité, altitude) ainsi que les variations d'un mouvement à l'autre dans une station : saison, neige, nébulosité de l'air, masse d'air.



**Figure 5:** Histogramme de la température de la wilaya de Boumerdes (ANRH, 2013 in CNERU, 2013).

### III.1.3. Les vents

Les vents jouent un rôle important dans l'agitation et la dynamique des eaux marines (générateurs de houles et de certains courants de surface), et influencent la mobilité des particules présentes dans l'eau de mer. Les roses trimestrielles des vents montrent des répartitions similaires entre l'hiver et le printemps d'une part et entre l'été et l'automne d'autre part.

Les vents issus des directions Ouest et Nord –Ouest dominant de novembre à avril (26,6 %), par contre les vents Est et Nord-Est prédominant en été avec des brises de mer et de terre (18 %). Le sirocco, vent du sud chaud et sec qui souffle Sud- Est et Sud -Ouest ne se produit qu'à faible intensité avec une moyenne annuelle de 20 jour /an.

### **III.2. L'hydrodynamisme**

#### **III.2.1. La houle**

La rose annuelle fait apparaître une prédominance de quatre directions de la houle : Ouest, Est, Nord-Est et Sud-Ouest avec des fréquences de 22.19%, 18.6%, 16.32% et 8.20%, respectivement.

Les houles de direction Nord-ouest présentent durant toute l'année avec une préférence hivernale. Celle de direction Nord sont présentes au cours de l'année. Alors que celles de direction Nord-Est sont présentes pendant toute l'année avec des fréquences qui augmentent de la période hivernale à la période estivale.

#### **III.2.2. Les courants**

##### **III.2.2.1. Les courants côtiers**

Sur les côtes algériennes, les courants induits par la houle sont les plus importants. Ils sont les seuls à agir de façon active sur la sédimentologie actuelle (**Caulet, 1972**).

##### **A. Les courants de dérive littorale**

Pour les houles de moyenne à faible amplitude, les courants ne sont appréciables que dans la frange côtière. C'est dans cette zone, que les courants de dérive littorale interviennent dans le transport latéral des sédiments (**Eckman, 1923 ; Sheppard et Inman, 1950 in Buhmadouche, 2012**) et par conséquent dans les transits littoraux.

Ces courants, généralement parallèles à la côte, sont convergents dans les baies et divergents au niveau des caps. Ils sont matérialisés par les plans de vagues (intensité et position).

##### **B. Les courants de retour**

Ils sont produits par les houles frontales du Nord et du Nord-Est dans la zone de Boumerdes (**Bouhmadouche, 2012**). Puissantes et fréquentes en période hivernale, ces houles arrivent de manière frontale par rapport à la côte.

Comme certaines plages (Boumerdes, Corso) sont très réduites en cette saison. Le déferlement à lieu contre le pied de la falaise et s'en suit une érosion par affouillement prononcé. Les

sédiments arrachés aux falaises sont repris par ces courants puis transportés vers le large, lorsque ces courants sont très importants, on assiste à un véritable lessivage de la plage sous-marine ou le platier grés-coquillier du Corso peut être mis à nu.

### III.2.2.2. Les courants de marée

Ces courants restent inconnus en Méditerranée ou du moins leurs effets ne sont pas conséquents sur les côtes. En effet sur le littoral Algérien, l'amplitude de la marée (appelée plutôt seiche), est de l'ordre de 30 cm, valeur trop faible pour créer un courant de marée (**Bouhmadouch, 2012**).

### III.3. Réseaux hydrographiques

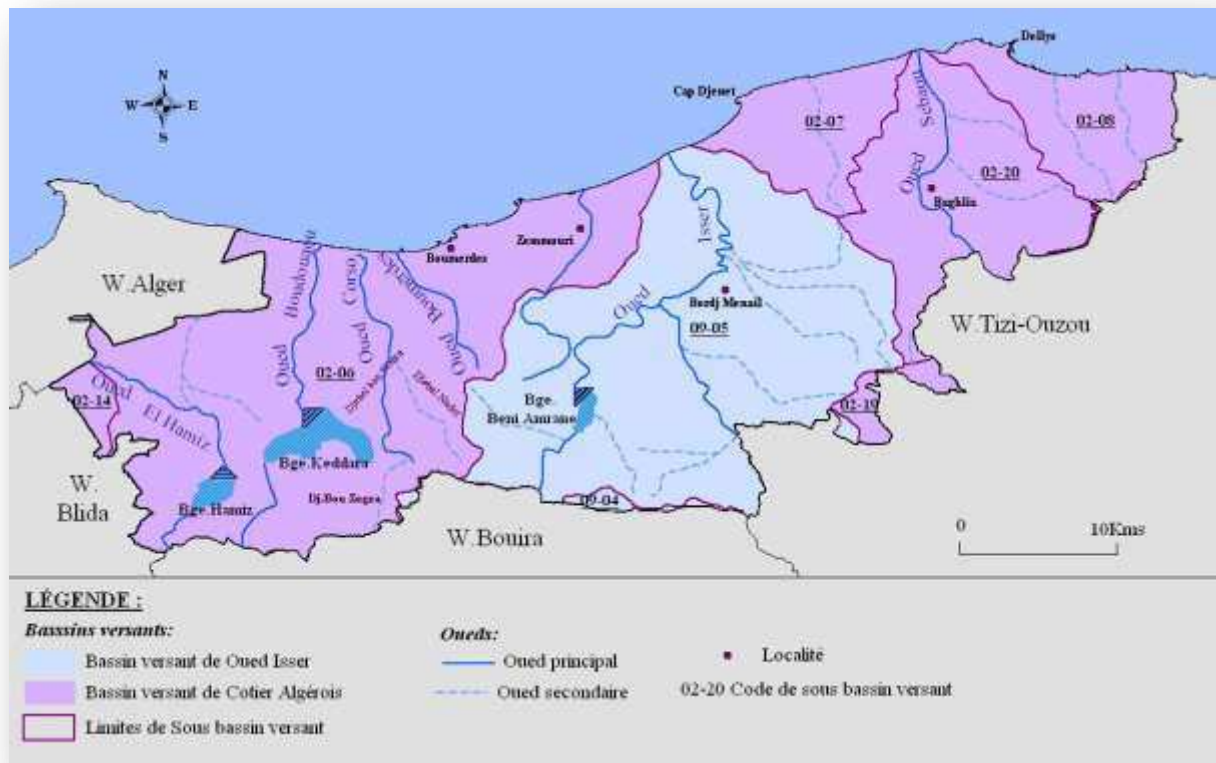
La wilaya de Boumerdès est parcourue par un réseau hydraulique très dense. Elle est traversée d'Est en Ouest par des oueds qui prennent naissance dans l'Atlas tellien pour se diriger vers la mer.

Les principaux cours d'eau sont :

- **Oued Isser** : c'est le plus important cours d'eau. Il prend naissance dans les monts du Titteri dans une assez large vallée alluviale qui est le siège d'une nappe importante et très exploitée, drainant la partie occidentale de la chaîne du Djurdjura. Il traverse les communes de Beni Amrane, Ammal, Souk El Had, Isser, Bordj Menaiel et Djinet.
- **Oued Sebaou** : Son importance vient après oued Isser. Il provient de la chaîne orientale de Djurdjura, il coule d'Est en Ouest entre le massif de grand Kabylie et la chaîne côtière de la Kabylie, il traverse les communes de Baghlia, Benchoud et Sidi Daoud.
- **Oued Boudouaou** : il est situé dans une plaine alluviale.
- **Oued El Hamiz** : il traverse les communes de Khemis El Khechna et Hammadi.
- **Oued Boumerdès** : il est localisé à l'Est de ville urbaine de Boumerdès, s'écoule vers la mer en drainant avec Oued Bou-Saleh et Chourfa.
- **Oued Corso** : il est situé entre oued Boudouaou et Boumerdès. Il est peu important par rapport aux autres Oueds.

La superficie des bassins versants de ces oueds représente 11.7% de cette wilaya. Le bassin versant de l'oued Isser, avec 88.3%, reste le principal vecteur hydrologique de la région de Boumerdes.

Les conditions climatiques et pédologiques des bassins versants de ces oueds facilitent l'érosion et le ruissellement. En été, les lits des oueds sont réduits à minces filets d'eau, alors qu'en hiver leurs crues peuvent être violentes (**Bouhmadouch, 2012**).



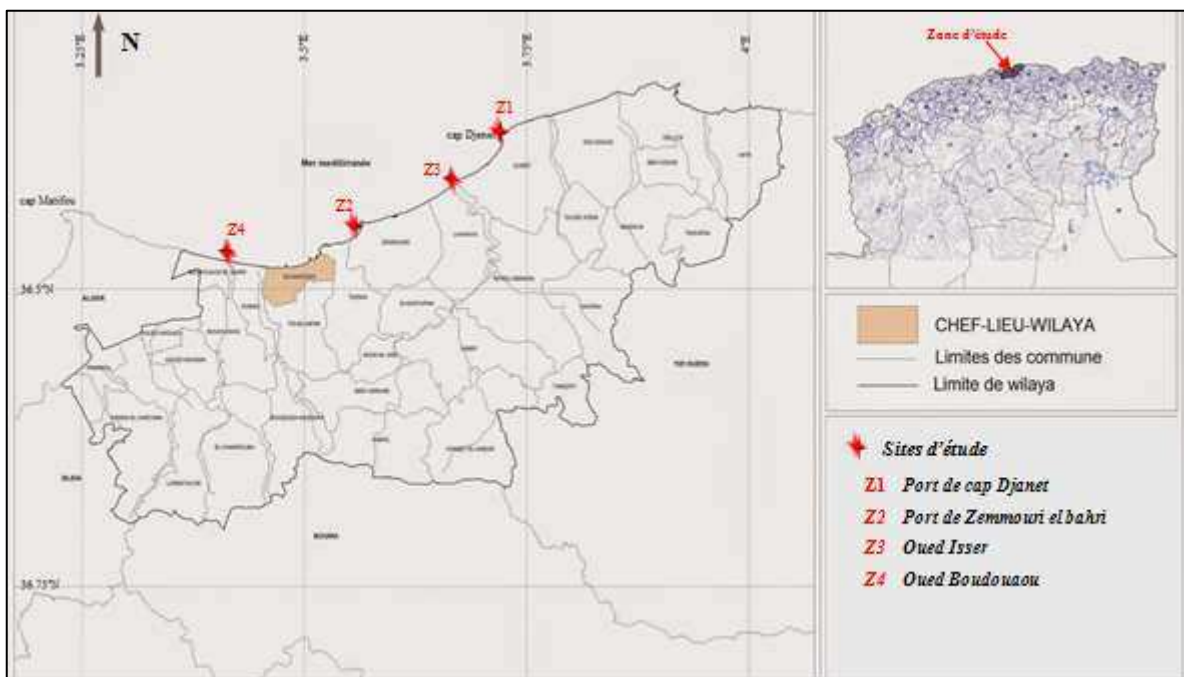
**Figure 6 :** Réseau hydrographique de la wilaya de Boumerdes (CNERU, 2013).

*Chapitre III :*  
*Matériel et*  
*méthodes*

### I. Stratégie d'échantillonnage

Le choix des sites de prélèvement se repose sur la qualité du site à savoir le degré de la pollution, ainsi que, la représentativité des stations choisies doit répondre à certains critères à savoir située à proximité d'une région industrialisée, urbanisée ou soumis à d'autres activités telles que la pêche et/ou l'agriculture.

Au niveau de la baie de Zemmouri, deux ports ont fait l'objet d'étude (Djinet et Zemmouri el bahri) ainsi que deux oueds (Isser et Boudouaou) (Figure 07). Les dates et lieux des prélèvements effectués sont résumés dans le tableau ci-dessous.



**Figure 7:** Localisation des sites de prélèvement au niveau de la zone d'étude (Boumerdes route; 2017. Modifiée).

**Tableau 1 :** Programme de sorties effectuées dans le secteur d'étude pendant la durée du mémoire.

Secteur de prélèvement	Date de prélèvement
Port de Zemmouri el Bahri	Le 17 avril 2017
Port de Djinet	
Oued Boudouaou	Le 15 mai 2017
Oued Isser	

## II. Présentation des sites d'étude

### II.1. Ports

Le tableau ci-dessous résume les différentes caractéristiques du port de Zemmouri et port de Djinet.

**Tableau 2:** *Caractéristiques des infrastructures portuaires (DPRH).*

Ports	Situation géographique (latitude-longitude)	Jetée principale (ML)	Jetée secondaire (ML)	Longueur des Quais (ML)	Superficie des plans d'eau (Hectares)	Superficie des terre-pleins (Hectares)
Port de Zemmouri	Lat : 36° 48'10''N Long : 03° 33'54''E	420	70	640	05	04
Port de Djinet	Lat : 36° 52'48''N Long : /	425	170	258	4,20	1,75

Lors de cette étude, et en fonction de leur position par rapport au trafic portuaire et aux sources potentielles de pollution, trois stations ont été choisies dans le port de Djinet (Figure 08) et six stations dans le port de Zemmouri El bahri (Figure 09).



**Figure 8:** *Localisation des stations de prélèvement au niveau du port de cap Djinet.*



**Figure 9:** Localisation des stations de relèvement au niveau du port de Zemmouri El Bahri.

## II.2. Oueds

### II.2.1. Oued Boudouaou

Il est situé à environ 30 km à l'Est d'Alger, il est limité au Nord par la mer méditerranée, à l'Ouest par la plaine de la Mitidja, et au Sud-Est par le djebel Ben Norane. Il s'étend sur une superficie d'environ 20 km<sup>2</sup>. Il fait objet de plusieurs rejets non traités.

### II.2.1. Oued Isser

Il prend naissance dans la wilaya de Médéa, qui parcourt la basse Kabylie de Djurdjura (ou l'actuelle wilaya de Boumerdes), après avoir traversé la wilaya de Bouira, puis se jette dans la mer Méditerrané près de la ville de Djinet. Il est situé à 36°54'46'' Nord et 3°51'25'' Est, avec une longueur de 97 km et un débit moyen de 23.4 m<sup>3</sup>. Il récolte plusieurs rejets non traités issus le long de sa traversé.

Le prélèvement au niveau des oueds englobe des stations avant le contact avec la mer et lors de contact. Les figures ci-dessous résument le positionnement des stations de prélèvement.



**Figure 10 :** *Positionnement des stations de prélèvement au niveau d'oued Boudouaou.*



**Figure 11 :** *Positionnement des stations de prélèvement au niveau d'oued Isser.*

### III. Travaux sur terrain

#### III.1. Conditionnement du matériel

Avant toute sortie en mer, le matériel de prélèvement doit être soigneusement nettoyé et préparé dans les trois jours qui précèdent (**Rodier et al., 2009**) :

- Lavage aux détergents commerciaux ;
- Rinçage à l'eau du robinet ;
- Rinçage à l'eau bi distillée
- Séchage à l'étuve à 70°C pour le matériel en verre et à 40°C pour le matériel en plastique pendant 24 h;
- Rinçage à l'eau acidulée à 5%, préparée à partir d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) de 68% de pureté;
- Rinçage à l'eau bi distillée;
- Séchage à l'étuve pendant 24 h.

### III.2. Prélèvement d'eau et du sédiment

Le prélèvement d'eau de mer destiné à l'analyse de MES, de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> a été effectué dans des flacons en plastique de 500 ml préparés au préalable, à environ 1 m de profondeur en mer et 10 cm au niveau des oueds. Les échantillons destinés à l'analyse de la DCO ont été acidifiés par l'acide sulfurique à  $pH < 2$  (Rodier et al., 2009). Tous les flacons sont enveloppés par du papier aluminium.

Le prélèvement du sédiment marin superficiel a été effectué au moyen d'une benne preneuse de type « Van Veen ». La benne est envoyée par gravité avec les mâchoires ouvertes à l'aide des bras leviers. Une fois la benne remontée, les échantillons sont récupérés à l'aide d'une spatule en plastique, en évitant le sédiment en contact avec les parois métalliques de la benne, et déposé dans un sac en plastique bien étiqueté. La spatule est à chaque fois lavée pour éviter toute contamination.

Entre chaque prélèvement, le matériel doit être nettoyé par l'eau de mer pour éliminer les particules de sédiment (Aminot et Chaussepied, 1983).

Alors que le sédiment au niveau des oueds est recueilli à la main dans sacs en plastique. Les sacs sont soigneusement numérotés et toutes les indications utiles recueillies par écrit.

Les échantillons sont transportés dans une glacière à 4°C puis conservés dans un réfrigérateur à une température de -18°C jusqu'à leur traitement.



**Figure 12:** *Technique de prélèvement du sédiment avec la benne.*

### III.3. Mesure des paramètres physico-chimiques

La mesure de la température, du pH, et de la salinité a été réalisée *in situ* avec une valise multi-paramètres de type HANNA-HI9828 adaptée d'une sonde de mesure pour chaque paramètre. L'étalonnage est préalablement effectué avec une solution étalon spécialisée de l'appareil. Il est à noter que la sonde d'Oxygène a été en panne.



**Figure 13:** *Technique de mesure des paramètres physico- chimiques avec valise multi-paramètre.*

## IV. Travaux au laboratoire

### IV.1. Analyse des matières en suspension

La méthode consiste à faire passer de l'eau à travers un filtre afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à  $0,7\mu\text{m}$ . Le filtre est séché et pesé avant et après filtration sous faible pression. La différence de poids entre les deux pesées permet de connaître la masse sèche totale de MES dans le volume d'eau correspondant (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

Le dispositif de filtration est composé d'un erlenmeyer, d'un support filtre, d'un entonnoir gradué et d'une pompe à vide. Pour chaque station, on a filtré un volume de 100 ml d'eau de mer à travers un filtre Wattman® GF/F de porosité  $0,7\mu\text{m}$  préparé au préalable comme suit (**Rodier et al., 2009**) :

- Calcination au four à moufle à  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant une heure ;
- Rinçage avec de l'eau distillée ;
- Séchage à l'étuve à  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  pendant 2 heures ;
- Le poids du filtre à vide est noté  $P_0$

Le poids des matières retenues est déterminé par la pesée différentielle du filtre avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 2 heures (Rodier et al., 2009). Le résultat est exprimé comme suit :

$$C_{MES} = (P_1 - P_0) / V \quad (\text{mg/l})$$

Où :

$C_{MES}$  : concentration des matières en suspension en mg/l ;

$P_0$  : poids du filtre à vide (avant filtration) ;

$P_1$  : poids du filtre après filtration ;

$V$  : volume d'échantillon filtré.

#### IV.2. Analyse de la matière organique particulaire

La méthode consiste à calciner les filtres déjà utilisés pour la mesure de la concentration en matière en suspension. La teneur en matière organique est obtenue par la différence entre le poids du creuset en porcelaine avec le filtre avant et après calcination (Rodier et al., 2009).

Le filtre ayant servi pour la mesure des matières en suspension est déposé dans un creuset en porcelaine conditionné auparavant puis pesé, le poids est noté  $P_2$ . Le creuset est ensuite placé dans un four à moufle à 450°C pendant 2h.

Une fois refroidis, l'ensemble est pesé une autre fois, pour obtenir le poids  $P_3$  (poids après calcination). La matière organique particulaire est donnée comme suit :

$$MO = P_2 - P_3 \quad (\text{mg})$$

Où :

$MO$  : le poids de la matière organique brûlée ;

$P_2$  : poids de l'ensemble creuset et filtre avant calcination (mg) ;

$P_3$  : poids de l'ensemble creuset et filtre après calcination (mg).

La matière organique est exprimée en pourcentage en suivant cette formule :

$$MO = (P_2 - P_3) * 100 / (P_1 - P_0)$$

### IV.3. Mesure de la demande biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La demande biologique en oxygène est représentée par la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique dans l'eau (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

La DBO<sub>5</sub> a été mesurée à l'aide d'un DBO-mètre de marque Wissenschaftlich Technische Werkstätten ; WTW (Figure 14). C'est une méthode manométrique avec un manomètre de marque VELP à affichage numérique qui se fixe directement sur le flacon de la DBO.



**Figure 14:** DBO- mètre de marque *Wissenschaftlich Technische Werkstätten (WTW)*.

La manipulation est réalisée en suivant ces étapes :

- Selon la nature de l'échantillon (en fonction de la charge en matière organique), introduire 100 ml ou 250 ml de l'échantillon dans un flacon brun en verre contenant un barreau magnétique,
- Mettre la capsule qui contient six à huit pastilles de potasse (KOH) dans la bouteille ;
- Placer la tête VELP et fermer à moitié, pendant 15mn, puis fermer complètement ;
- Les bouteilles sont ensuite introduites dans une enceinte thermostatée à 20°C, avec agitation ;
- Les échantillons sont laissés sous incubation pendant cinq (05) jours à l'obscurité ;
- Les valeurs affichées après 5 jours représentent les valeurs de DBO<sub>5</sub> en mg/l.

#### IV.4. Mesure de la demande chimique en Oxygène (DCO)

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées à l'ébullition (105°C) par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure permettant de complexer les ions chlorures. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium (**Rodier et al., 2009**).

Pour réaliser cette analyse, trois solutions ont été préparées : une solution de dichromate de potassium, une solution d'acide sulfurique-sulfate d'argent et le sulfate de fer et d'ammonium (Annexe II). L'analyse a été réalisée à l'aide d'un système à reflux composé d'un tube à fond plat de 250 ml à col rodé, d'un réfrigérant adapté et d'une plaque chauffante (Figure 15).

Le nettoyage de l'appareil est effectué en portant à l'ébullition un mélange de 5ml de solution de dichromate de potassium, de 15ml de solution d'acide sulfurique- sulfate d'argent et 10 ml d'eau distillé (**Rodier et al., 2009**).



**Figure 15** : *Instrument de mesure de la DCO (système à reflux).*

Les étapes suivies ont été les suivantes :

- Dans un ballon de 250 ml introduire 10 ml d'eau à analyser soigneusement homogénéisée ;
- Ajouter 5 ml de solution de dichromate de potassium (0.04 mol/ L) ;
- Ajouter, lentement et avec précaution, 15 ml de solution d'acide sulfurique contenant le sulfate d'argent, en agitant par un mouvement circulaire le ballon ;
- Mettre 1 à 2 gouttes d'acide sulfurique sur le col rodé du tube pour le lubrifier et relier le réfrigérant au tube de réaction ;
- Ajouter les régulateurs d'ébullition ;
- Placer le tube dans le bloc chauffant et porter à ébullition ( $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) pendant 2 heures ;
- Arrêter le chauffage, retirer les tubes avec leurs réfrigérants, les laisser refroidir, puis rincer avec précaution le réfrigérant en recueillant les eaux de lavage dans le tube de réaction ;
- Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250ml, rincer et diluer avec environ 75 ml d'ED.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de ferroïne et titrer avec la solution de sulfate de fer et d'ammonium ;
- L'essai à blanc est réalisé de la même manière en remplaçant l'échantillon par 10 ml d'ED.

La DCO, exprimée en milligrammes d'oxygène par litre, est égale à :

$$[8000 (V_0 - V_1) T] / V \quad (\text{mg/L d'O}_2)$$

Où :

$V_0$  : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).

$V_1$  : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).

$T$  : titre de la solution de sulfate de fer et l'ammonium.

$V$  : volume de la prise d'essai.

#### IV.5. Analyse des éléments métalliques (Cd, Cr et Pb) dans le sédiment

Les analyses des échantillons de sédiment ont été effectuées au niveau du laboratoire de département de géochimie minérale du centre de recherche et développement (CRD/SONATRACH), au niveau de la wilaya de Boumerdes.

Un ensemble de manipulation ont été effectuées à savoir : prétraitement, extraction et dosage. Une attention très particulière doit être portée sur les risques de contamination lors de la préparation des échantillons et ce dès le prélèvement (**Belabed, 2010**).

##### IV.5.1. Prétraitement des échantillons de sédiment

Les sédiments prélevés sont séchés à une température de 105°C pendant 16 heures. Après refroidissement, ils sont écrasés légèrement dans un mortier pour casser les agglomérats, puis les récupérés dans des piluliers en verre et les stockés dans le dessiccateur.

##### IV.5.2. Extraction des éléments métalliques

La minéralisation des éléments métalliques de la matrice sédiment est la mise en solution par une attaque acide après calcination à 450°C. Ça donne un maximum de précision pour les polluants métalliques contenus dans les différents échantillons environnementaux. La norme française **NF X 31-147 (juillet 1996)** a été utilisée pour la minéralisation.

Le matériel utilisé est comme suit :

- Eau déminéralisée ayant une conductivité inférieure à 0.5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  ;
- Acide chlorhydrique, à 38% (m/m) ( $\rho = 1.19 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) ;
- Acide fluorhydrique, à 48% (m/m) ( $\rho = 1.16 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) ;
- Acide perchlorique, à 70% (m/m) ( $\rho = 1.67 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) ;
- Capsules en quartz ou en platine ;
- Capsules en poly-tétra-fluoro-éthylène (PTFE) ;

Le mode opératoire a été le suivant :

- Peser 0.5g de sédiment préparé dans une capsule en quartz ou en platine, et la placer dans un four à moufle puis élever progressivement la température à 450°C en environ 1h. Maintenir cette température pendant 3h. Retirer la capsule du four et laisser refroidir à température ambiante ;

- Transférer le résidu obtenu dans une capsule en PTFE avec quelques millilitres d'eau déminéralisée ;
- Ajouter 10ml d'acide fluorhydrique et 3ml d'acide perchlorique, puis chauffer à une température d'environ 160°C et laisser évaporer à sec ;
- Ajouter au résidu 2ml d'acide chlorhydrique et chauffer (dissolution à chaud) ;
- Transférer quantitativement la solution dans une fiole jaugée de 100 ml en polypropylène et compléter avec de l'eau déminéralisée ;

En cas de trouble, révélant une mise en solution incomplète, centrifuger ou filtrer la solution avant analyse.

L'essai à blanc a été Effectué parallèlement en utilisant les mêmes réactifs mais sans la prise d'échantillon.

### IV.5.3. Analyse par Spectroscopie d'Absorption Atomique (SAA)

#### IV.5.3.1. Principe

La SAA est une méthode d'analyse élémentaire qui utilise la propriété des atomes d'être excités par l'apport d'une énergie extérieure sous forme d'un rayonnement électromagnétique (photons) de fréquence bien définie. La grandeur d'intérêt des mesures d'absorption atomique est la quantité de lumière de longueur d'onde de résonance qui est absorbée lorsqu'elle traverse un nuage d'atome (**John, 2001**).

La proportionnalité entre l'absorbance et la concentration en atomes permet de quantifier les teneurs des éléments métalliques dans les échantillons (**Thibaud, 1983**). Pour déterminer individuellement un élément en présence des autres, une source lumineuse spécifique est utilisée ainsi qu'une longueur d'onde. La vapeur atomique nécessaire aux mesures d'absorption est obtenue en apportant à l'échantillon une énergie thermique suffisante pour dissocier les composés chimiques en atomes libres (**John, 2001**).

La formation d'atomes neutres peut être réalisée de deux manières différentes, soit par vaporisation et atomisation dans une flamme air/acétylène (2200°C), soit par séchage, pyrolyse et atomisation dans un four en graphite dont la montée en température est progressive (3000°C maximum) (**Thibaud, 1983**).

L'analyse par absorption atomique utilise une relation linéaire selon la loi de Beer-Lambert qui indique que l'intensité de l'absorption dépend directement de nombre de particules absorbant la lumière. Donc, l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique  $\epsilon$ , au trajet optique  $L$  et à la concentration  $C$  (Audigie et al., 1995) :

$$I = I_0 * e^{-\epsilon * L * C}$$

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

$$A = DO = \log I_0 / I = \epsilon * L * C$$

Où :

$I$  : intensité de l'énergie lumineuse transmise (émergente) ;

$I_0$  : intensité de l'énergie lumineuse émise (incidente) ;

$\epsilon$  : coefficient d'absorption atomique ;

$L$  : longueur du trajet optique ;

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

#### IV.5.3.2. Appareillage

Le dispositif de la SAA utilisé est de marque Analytikjena ZEEnit 700 (figure 16), d'après **John (2001)** et **Ghoumrassi (2017)** ce dernier comprend:

- Une source générateur de photons (source lumineuse), le plus souvent une lampe à cathode creuse ;
- Une source d'atomisation, son rôle est de produire des atomes à l'état fondamental pour pouvoir absorber les photons provenant de la source comme le four à graphite ;
- Un monochromateur : son rôle est d'éliminer toute la lumière, quelle que soit son origine, ayant une longueur d'onde différente de celle du travail ;
- Un détecteur relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition, qui fournit un courant ou une tension à partir d'une caractéristique physico-chimique, cette dernière est un signal électrique représentatif de la grandeur à mesurer.



**Figure 16 :** *Appareil de spectroscopie d'absorption atomique utilisé.*

La source d'atomisation utilisée est le four à graphite. Le GF-AAS est une méthode de dosage d'éléments chimiques fondée sur l'absorption de radiations lumineuses par des éléments mis à l'état d'atomes neutres en phase vapeur.

Le système suit un protocole de montée en température en quatre étapes :

- Le séchage, pendant lequel le solvant est évaporé ;
- La pyrolyse, qui permet de se débarrasser des composés organiques et volatils de la matrice sans toucher à l'analyte ;
- L'atomisation, au cours de laquelle l'analyte est vaporisé et atomisé, formant un nuage d'atomes d'analyte libres dans le tube ;
- Le nettoyage, qui permet d'éliminer les composés résiduels de la matrice avant l'analyse suivante.

#### **IV.5.3.3. Étalonnage**

Pour chaque élément à doser on prépare une gamme d'étalons à différentes concentrations (en fonction du type de métal), à partir d'une solution mère de 1000 ppm, dans des tubes de 50 ml en complétant le volume avec la solution de dilution 1% d'acide Nitrique. Les concentrations des standards de chaque métal et leurs absorbances sont indiquées (Annexe IV).

#### IV.5.3.4. Expression des résultats

Le résultat brut des différentes analyses est donné en mg/L. Le calcul du résultat final exprimé en mg / Kg est déterminé par l'équation suivante :

$$C_M = [(C_S - C_T) * V_f / P] * F$$

Où :

$C_M$  : Concentration du métal dans l'échantillon (mg / Kg) ;

$C_S$  : Concentration du métal dans la solution dosée (mg / L) ;

$C_T$  : Concentration du métal dans le témoin (mg / L) ;

$V_f$  : Volume final de l'échantillon (L) ;

$P$  : Poids d'échantillon utilisé exprimé sur base sèche (Kg) ;

$F$  : Facteur de dilution, si nécessaire.

Dans notre cas :  $V_f = 100$  ml,  $P = 0.5$ g,  $F = 1$ .

### V. Caractérisation de la qualité du sédiment

Pour évaluer l'intensité des métaux lourds et afin de caractériser la qualité du sédiment, un ensemble d'indices a été utilisé.

#### V.1. L'indice de géo-accumulation (Müller, 1969)

Cet indice de caractère empirique compare une concentration donnée versus une valeur considérée comme fond géochimique. En effet, le coefficient 1,5 (facteur de correction) rend compte des variations dans les niveaux de background pouvant être causées par des effets de lithologie (Müller, 1969). L'Igeo est calculé selon la formule suivante :

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_x}{1.5 Bg} \right)$$

Où :

$C$  : concentration mesurée pour un élément x ;

$Bg$  : fond géochimique pour un élément x.

Pour le calcul de cet indice, Müller a été utilisé comme bruit de fond les concentrations spécifiques aux substrats carbonatés définies par Thomas et Meybeck (1992).

**Tableau 3 :** Valeurs du fond géochimique définies par *Thomas et Meybeck (1992)*.

Elément	Cd	Cr	Pb
<b>Background*</b>	0.30	120.0	40.00

### V.2. Le facteur de contamination "FC"

Ce facteur de contamination est exprimé par la formule suivante :

$$FC = \left( C_x / Bg_x \right)$$

Où :

$C_x$  : concentration mesurée pour un élément x ;

$Bg$  : Background pour un élément x.

### V.3. Le degré de contamination (DC)

Cet indice est la somme des facteurs de contamination (FC). Il permet l'estimation de la contamination à priori polymétallique pour chaque point de prélèvement. Il est calculé selon la formule suivante :

$$DC = \sum FCI$$

### V.4. L'indice de pollution sédimentaire (IPS)

Le calcul du facteur d'enrichissement et du degré de contamination permet d'obtenir des informations sur la contamination des sédiments mais ne prend pas en compte la notion de toxicité liée à chaque métal.

Ainsi, **Rubio et al. (2000)** ont introduit l'indice de pollution sédimentaire. L'approche regroupe plusieurs éléments traces métalliques : Cr, Zn, Ni, Cu, Pb et Cd. L'indice se définit comme une somme linéaire de FC et prend en compte la toxicité relative des métaux lourds par un facteur pondérateur (W).

Il s'agit du poids de chaque métal qui est fonction de sa toxicité relative. Un poids de 1 est assigné au Cr et Zn car ils sont les moins toxiques ; Ni et Cu se voient affecter la valeur 2 ; Pb la valeur 5 et Cd la valeur 300 (**Rubio et al., 2000 ; Singh et al., 2002**).

L'IPS est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{IPS_x} = \frac{\sum \mathbf{FC_x} * \mathbf{W_x}}{\sum \mathbf{W_t}}$$

Où :

**IPS** : indice de pollution sédimentaire,

**FC<sub>x</sub>** : facteur de contamination pour un métal donné,

**W<sub>x</sub>** : poids affecté au métal considéré,

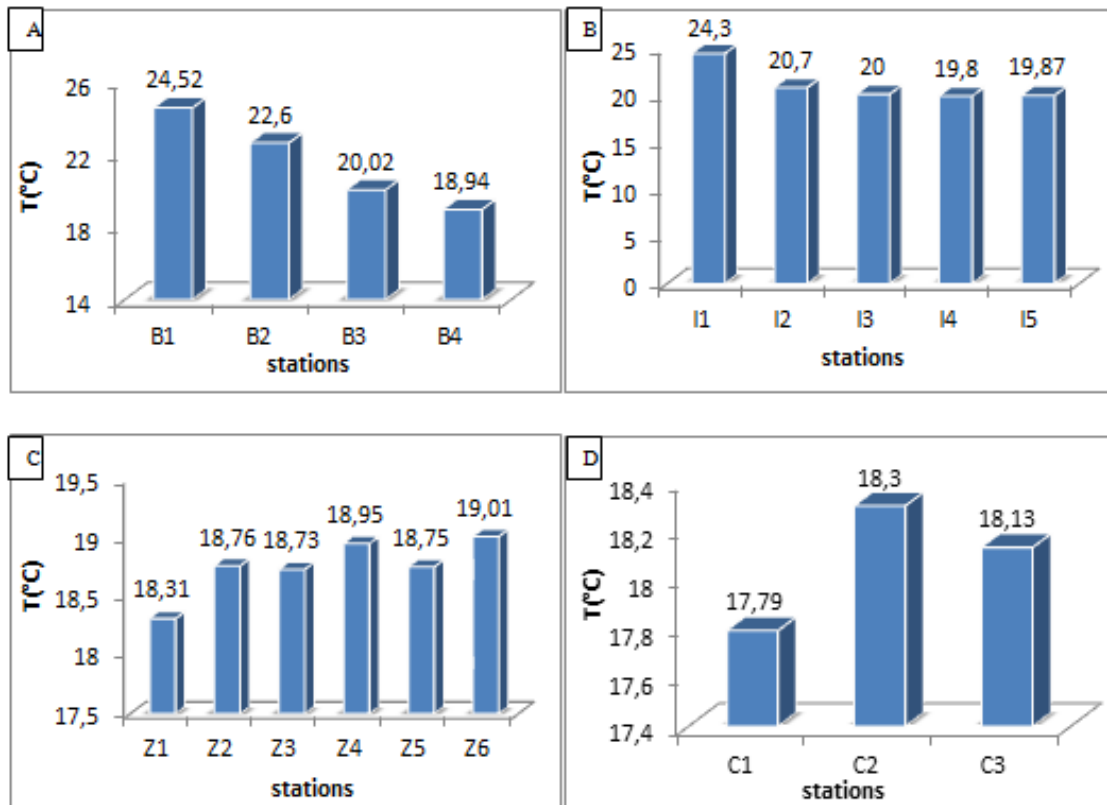
**W<sub>t</sub>** :  $\sum W_x$

*Chapitre IV :*  
*Résultats et*  
*discussion*

## I. Résultats des paramètres physico-chimiques et indicateurs de pollution

### I.1. Température

Les résultats de la température au niveau des stations étudiées sont représentés dans les figures A, B, C et D ci-dessus.



**Figure 17:** Variations spatiales de la température (°C) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (A, B, C et D respectivement).

Les valeurs de la température n'ont pas présentés des variations significatives au niveau des différentes stations des quatre sites étudiés.

Les valeurs obtenues, à oueds Boudouaou, sont comprises entre 18.94°C et 24.52°C avec une moyenne de 22°C, et celle d'oued Isser sont comprises entre 19.8 °C et 24. 3°C avec une moyenne de 21°C.

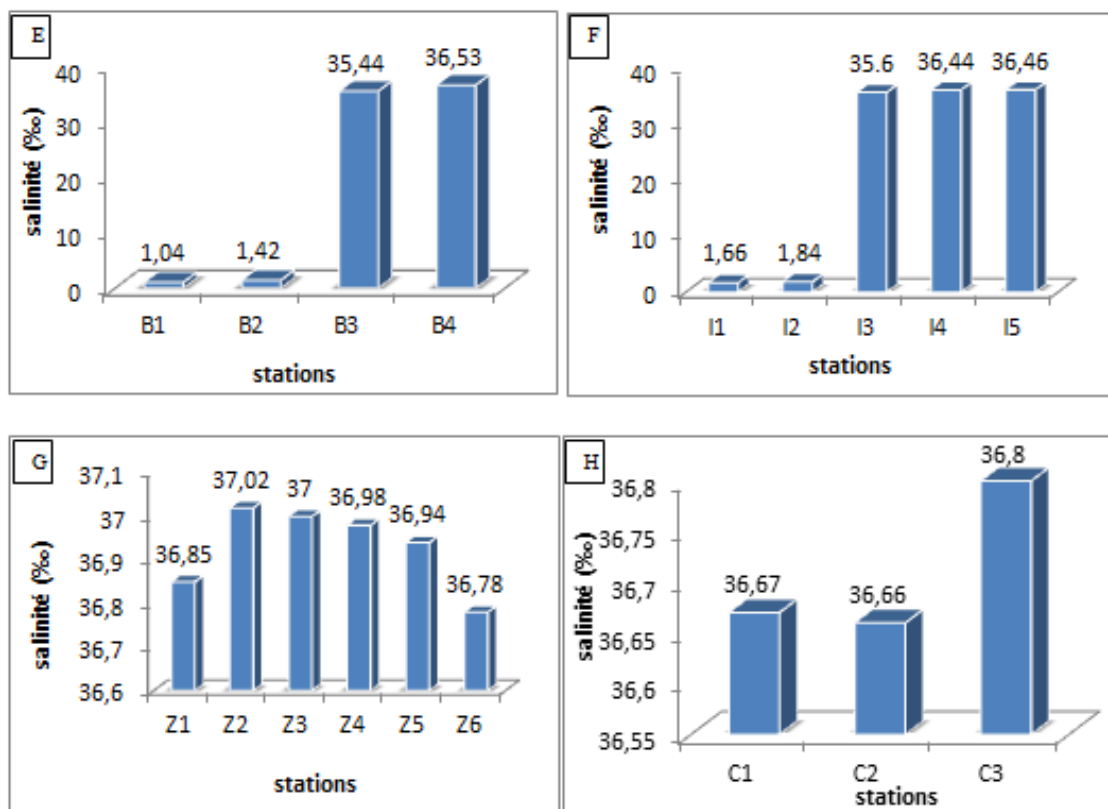
Pour les ports de Zemmouri et cap Djinet, la température est comprise entre 18.31°C et 19.01°C avec une moyenne de 19°C et entre 17.79°C et 18.3°C avec une moyenne de 18°C, respectivement. Ces variations reflètent la période saisonnière (printemps).

Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau des stations B1 et I1 au niveau des eaux intérieures d'oued Boudouaou et Isser respectivement, ces résultats sont tout à fait admissibles, car la faible profondeur de l'oued permet une influence importante de la température atmosphérique sur la tranche d'eau douce. En effet, la température de l'eau est fortement influencée par les conditions environnementales surtout le climat régnant (Reggam et al., 2015).

Les valeurs observées au niveau des ports ont montré une homogénéité dans les valeurs de la température portuaire. Celles-ci peuvent être influencées par le trafic effectué dans chaque bassin. Les faibles valeurs au niveau des stations Z1 et C1 peuvent être dues au contact des eaux portuaires avec les eaux océaniques plus froides.

### I.2. Salinité

Les résultats de la salinité obtenus au niveau des quatre sites étudiés, sont représentés dans les figures E, F, G et H, respectivement.



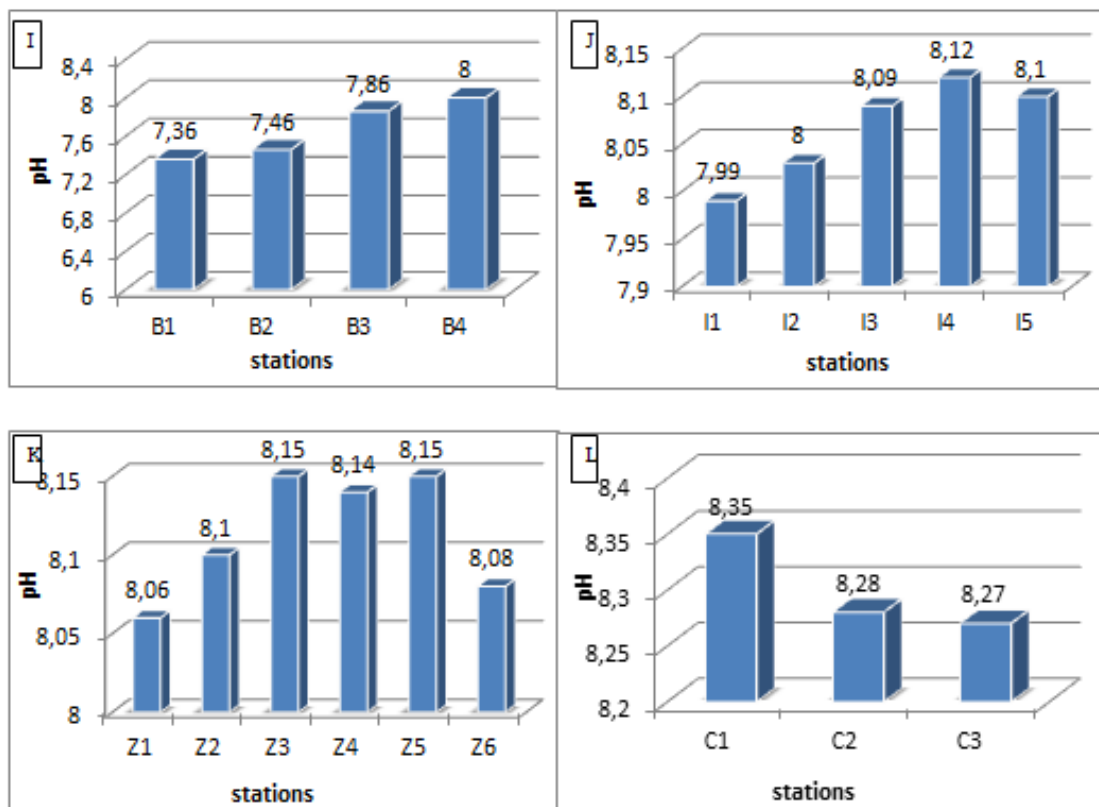
**Figure 18 :** Variations spatiales de la salinité (‰) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (E, F, G et H respectivement).

A l'embouchure des oueds Boudouaou et Isser, les salinités varient de 35.44 à 36.46 ‰. Les eaux côtières algériennes présentent une salinité de 37‰. Dans les eaux marines côtières, il n'est pas rare d'observer, à proximité des embouchures fluviales des salinités s'abaissant à 25 PSU en période humide (Aminot et Kérrouel, 2004).

Les valeurs de salinité au niveau des deux oueds sont faibles (B1, B2, I1 et I2), avec une moyenne de 1‰. Ces eaux sont des eaux douces mélangées aux rejets industriels et agricoles acheminés via ce dernier.

### I.3. Potentiel d'Hydrogène

Les valeurs de pH sont résumées dans les figures ci-dessous.



**Figure 19 :** Variations spatiales du pH au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et ca Djinet (I, J, K et L respectivement).

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Ezzaouaq, 1991 ; El Blidi et al., 2003 ; Himmi et al., 2003).

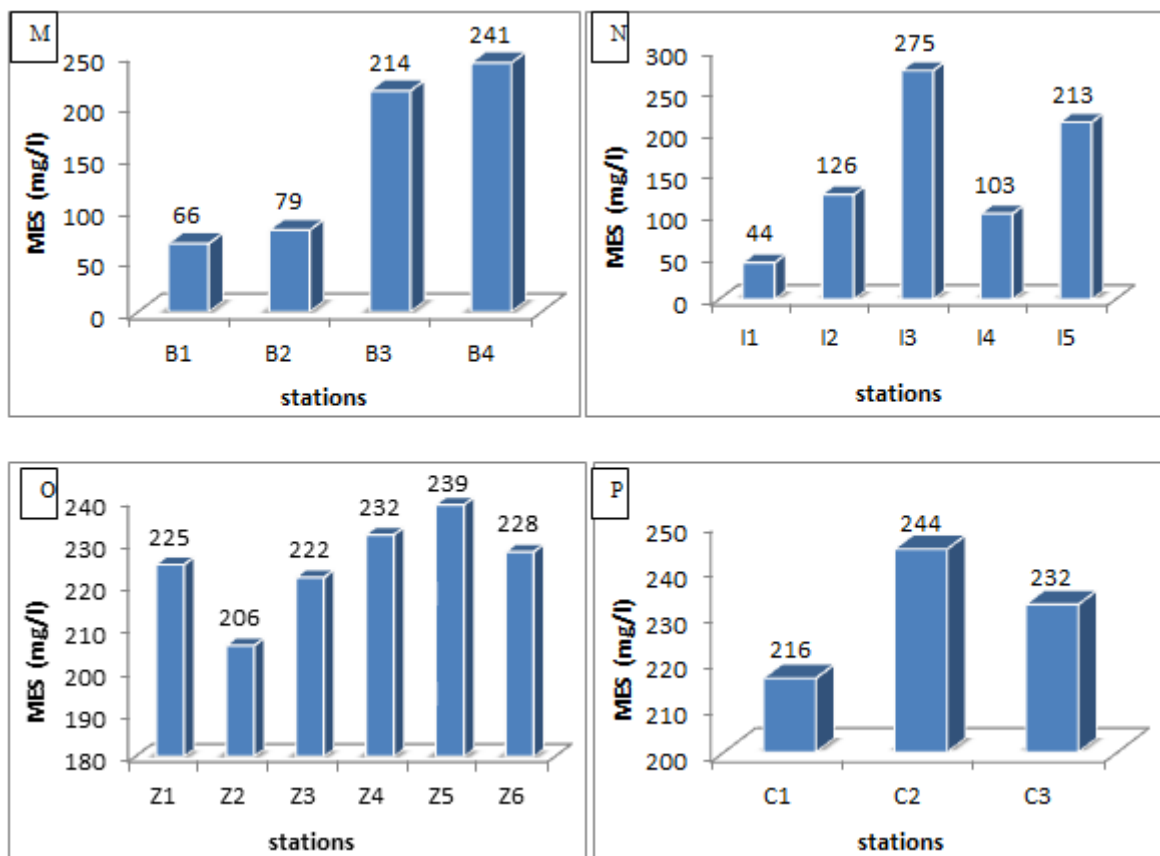
Le  $pH$  au niveau des deux oueds augmente de l'amont en aval. Les valeurs observées sont entre 7.36 et 8 avec une moyenne de 7.76 au niveau d'oued Boudouaou, et entre 7.99 et 8.12 avec une moyenne de 8.07 au niveau d'oued Isser.

Le  $pH$  des ports est compris dans l'intervalle [8.06 et 8.15] avec une moyenne de 8.11 pour le port de Zemmouri, et [8.27 et 8.35] avec une moyenne de 8.3 au niveau du port de cap Djinet. Ces valeurs sont légèrement neutres à alcalins au niveau de toutes les stations, ainsi elles sont proches à la valeur moyenne du  $pH$  des eaux méditerranéennes qui est de 8.2 (Aminot et Chaussepied, 1983).

Les faibles valeurs rencontrées sont en corrélation avec le taux des rejets d'eaux usées, urbains et industrielles. La dégradation de la matière organique va enrichir le milieu en proton, ce qui provoque une diminution du  $pH$  (Aminot et Kérouel, 2004) et donc on peut dire que ces diminutions est un indice de pollution.

#### I.4. Les matières en suspension

Les valeurs des matières en suspension enregistrées sont illustrées dans la figure ci-dessus.



**Figure 20:** Variation spatiales des teneurs en MES (mg/l) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (M, N, O et P respectivement).

Les valeurs enregistrées oscillent entre 66 mg/L et 241 mg/L avec une moyenne de 150 mg/L à l'oued Boudouaou, entre 44 et 275 mg/L avec une moyenne de 152.2 mg/L au niveau d'oued Isser, entre 206 mg/L et 239 mg/L avec une moyenne de 225.33 mg/L niveau du port de Zemmouri et entre 216 mg/L et 244 mg/L avec une moyenne de 230.67 mg/L au port de cap Djinet.

Les éléments particuliers fins sont observés naturellement en suspension et sont essentiellement composés de matériel sablo-vaseux et de composés organiques issu de l'érosion des sols, la production biologique, et des activités humaines. Les apports de ces éléments fins au niveau des embouchures des oueds, proviennent donc aussi bien de l'amont, du ruissellement sur leurs bassins versants, des dépôts atmosphériques, et des activités humaines (**Dupont et al., 2001 ; Verney, 2006**).

En effet, ces teneurs rencontrées sont en relation avec le taux des apports urbains et agricoles, ainsi que les déchets solides déposés aléatoirement sur les rives des oueds, et le débit et la profondeur de l'oued.

Les teneurs élevées des matières en suspension au niveau des embouchures sont due essentiellement à l'effet de l'hydrodynamisme, des courants côtiers, de la dérive littoral et du débit de l'oued, qui favorise la remise en suspension des particules déposées au fond, et l'augmentation de la turbidité dans ces zones.

Selon **Reuter (1981)** et **William (1981)**, les zones estuariennes, à savoir les zones d'embouchures, constituent des aires de mélanges complexes entre les substances naturelles issues du lessivage des sols, les substances d'origine anthropique, et une grande quantité de matière organique produite par l'activité biologique autochtone, ce qui favorise l'augmentation des substances en suspension dans ces zones.

Ainsi, nous pouvons relier ces résultats avec le débit des oueds. En effet, selon **Carlos et Jacques (2000)**, le débit des fleuves joue un rôle important dans les variations des facteurs physico-chimiques et de la charge en matériel particulaire dans les estuaires.

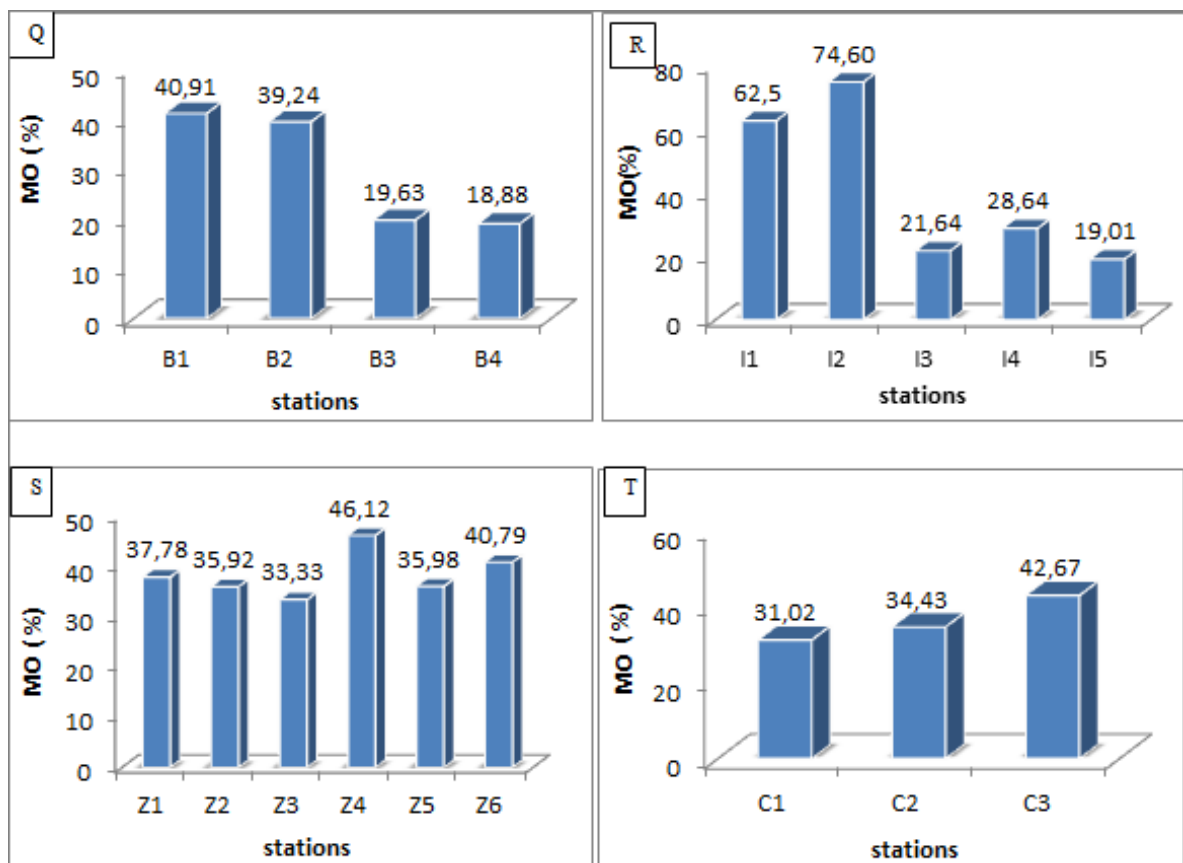
Les teneurs en MES observées au niveau des ports, elles sont trop élevées et dépasses les normes, peuvent être causées par les activités et le trafic portuaires, ainsi que les déchets urbains des différents visiteurs des ports.

La teneur a été moins élevée au niveau de la passe du port de cap Djinet, due au contact des eaux portuaire avec les eaux océaniques ce qui a favorisé le phénomène de la dilution. Par contre, celle de la passe du port de Zemmouri est plus élevée, et ceci est dû à l'activité du dragage qui est effectuée au niveau de ce dernier.

Cependant, les teneurs en MES pour les oueds ainsi que pour les ports ont des valeurs non satisfaisantes comparées à la valeur des normes algériennes limites de rejets qui est de 35 mg/l. Ces résultats peuvent être la conséquence d'une absence de traitement et d'épuration des eaux rejetées dans les oueds.

### I.5. Matières organiques

Les résultats des charges organiques (MO) obtenus au niveau des différentes stations sont représentés dans les figures ci-dessous.



**Figure 21:** Variations des teneurs en MO (%) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet (Q, R, S et T respectivement).

Les valeurs extrêmes minimales et maximales des teneurs en matières organiques ont été de 18.88 et 40.91 % au niveau d'oued Boudouaou, de 19.01 et 74.60 % au niveau d'oued Isser, de 33.33 et 46.12 % au niveau du port de Zemmouri et de 31.02 et 42.67 % au niveau du port de cap Djinet.

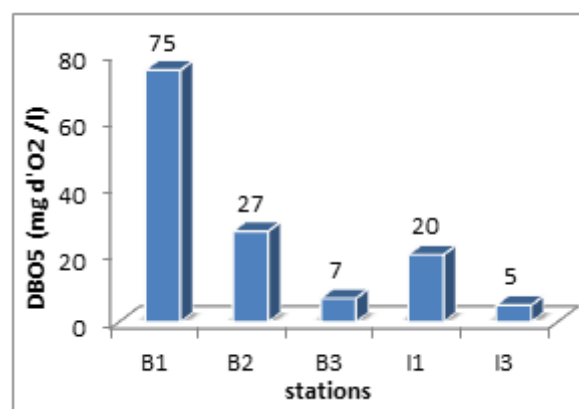
L'augmentation des charges organiques dans les stations I1, I2, B1 et B2 (en amont des oueds) pourrait être due au lessivage des débris des plantes proviennent des sols agricoles. Elle pourrait être également due à la présence d'égouts d'origines domestiques et des rejets solides dans les rives des oueds. Le taux de ces charges varie en fonction des micro-organismes présents dans le milieu.

Les faibles teneurs enregistrées dans les stations B3, B4, I3, I4 et I5 pourraient être expliquées par l'action des houles qui favorise la présence des particules et poussières d'origine minérale, aussi le contact avec la mer favorise la dilution et la dispersion des MO transportés par les eaux d'oueds (Aminot et Kérrouel, 2004).

Les valeurs observées au niveau des ports peuvent être dues aux dégradations des déchets issus des pêcheurs et des visiteurs des ports, à la dégradation des chairs de poissons morts, et les nutriments utilisés sur des hameçons pour la pêche. En outre, l'augmentation de la fraction minérale par rapport à la fraction organique indique une baisse de la qualité trophique des eaux (Guerrouahen et Haya, 2009). Ce qui explique le cas ici (max < à 50%).

### I.6. Demande biologique en oxygène

Quelques stations ont fait objet d'analyse de la  $DBO_5$ . Les résultats figurent dans la figure ci-dessous.



**Figure 22:** Variation de la  $DBO_5$  au niveau des embouchures d'oueds Boudouaou et Isser.

La demande biochimique en oxygène (DBO) permet l'évaluation des matières organiques biodégradables (Keddari, 2015).

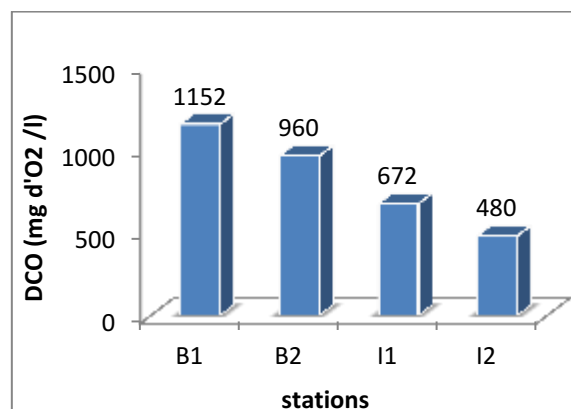
La valeur la plus élevée est enregistrée à la station B1 au niveau d'oued Boudouaou, avec 75 mg/l, issue des rejets d'eaux usées, domestiques, et industrielles. Ce qui provoque un accroissement considérable de la charge organique des eaux superficielles. Il est à noter que cette valeur est beaucoup plus élevée à celle enregistré à la station I1 d'oued Isser. Cette différence pourrait être en relation avec la superficie des bassins versants (oued Isser : 3515 km<sup>2</sup> > oued Boudouaou : 296Km<sup>2</sup>) (CNERAU, 2012), ainsi la différence de potentialité (oued Isser : 38 Hm<sup>3</sup> > oued Boudouaou : 03.91 Hm<sup>3</sup>) (DRE, 2013), ce qui favorise la dilution des eaux.

Tandis que les valeurs minimale sont enregistrée à la station B3 au niveau d'oued Boudouaou et la station I3 au niveau d'oued Isser, qui est influencées par le phénomène d'autoépuration des eaux (Bremond et Perrodon, 1979).

En fonction de la DBO<sub>5</sub>, les stations B1, B2 et I1 ont été considérées de mauvaise qualité donc polluées, du fait les taux dépassent les valeurs normes de 2 à 20 mg/l (CPEPESC, 2017). Alors que les stations B3, et I3 comme moyennement polluées.

### I.7. Demande chimique en oxygène

Pour les eaux estuariennes ou océaniques, la mesure de la DCO n'est pas directement applicable. La présence de chlorures facilement oxydables, en quantité importante, enlève toute signification aux mesures. C'est pourquoi, nous avons choisir que les stations B1, B2, I1 et I2 situées en amont des oueds ou la salinité est faible pour effectuer la mesure.



**Figure 23 :** Variation de la DCO (mg d'O<sub>2</sub> / l) au niveau des embouchures des oueds Boudouaou et Isser.

La DCO est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures, chlorures) (Makhouk *et al.*, 2011).

Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre une valeur maximale de 1152 mg/l (B1) et une valeur minimale de 480 mg/l (I2).

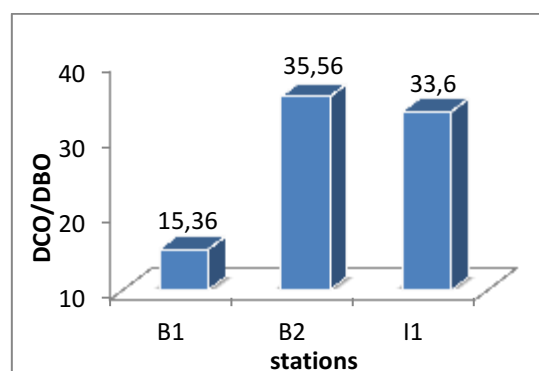
D'après nos résultats, les teneurs en DCO sont toutes élevées comparées avec la valeur guide française déterminée par le **laboratoire départemental d'analyses du Conseil Général des Yvelines** pour la qualité de l'eau qui est de 30 mg d'O<sub>2</sub> /L, ainsi sont supérieurs à la valeur limite fixée par la législation algérienne sur les rejets d'effluents liquides qui est de 120 mg/l.

Les teneurs élevées de la DCO peuvent être expliquées par le lessivage des résidus d'agricultures chargées en pesticides, ainsi que les différents effluents non traités et non épurés chargés de polluants microbiologiques et organiques caractérisés par leur température probablement élevée (pollution thermique) conduisant à l'épuisement de l'oxygène dissous (milieu anaérobie) et qui proviennent des agglomérations et des industries avoisinantes qui utilisent des produits et d'éléments organiques et inorganiques tel que **LFBONALait**.

Cette désoxygénation du milieu peut provoquer le développement de certaines bactéries anaérobiques qui se multiplient et provoquent la fermentation de toute la matière organique accumulée, libérant des gaz nauséabonds (hydrogène sulfuré et ammoniac) et du méthane, ce qui donne aux oueds les caractéristiques d'un marais, et devient un risque pour toute vie aquatique (*in* Guitoun, 2015).

#### I.8. Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub>

Quelques stations ont fait objet de calcul du rapport DCO/ DBO<sub>5</sub>. Les résultats figurent dans la figure ci-dessous.



**Figure 24:** Variation du rapport DCO/DBO de quelques stations au niveau des embouchures de oueds Boudouaou et Isser.

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné ; on convient généralement les limites suivantes :

DCO/DBO<sub>5</sub> < 2 : l'effluent est facilement biodégradable.

2 < DCO/DBO<sub>5</sub> < 3 : l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées.

DCO/DBO<sub>5</sub> > 3 : l'effluent n'est pas biodégradable (*in Metahri, 2012*).

Les résultats représentés dans la figure 24 montrent que pour toutes les stations (B1, B2 et I1) le rapport DCO/ DBO<sub>5</sub> est supérieur à 3 (15.36 ; 35.56 et 33.6 respectivement), cela signifie que les matières oxydables sont non biodégradables. Cette valeur est très élevée, est cela traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tels que les sels métalliques, les détergents et les phénols... (*in Metahri, 2012*). Ce résultat nous confirme que les eaux acheminées par les oueds (Boudouaou et Isser) sont des eaux d'origine industrielle provient des industries et des usines installés juste à coté.

## II. Résultats d'analyse des métaux lourds

Les données des teneurs du chrome, plomb et cadmium dans le sédiment sont représentées dans les figures 25, 26 et 27.

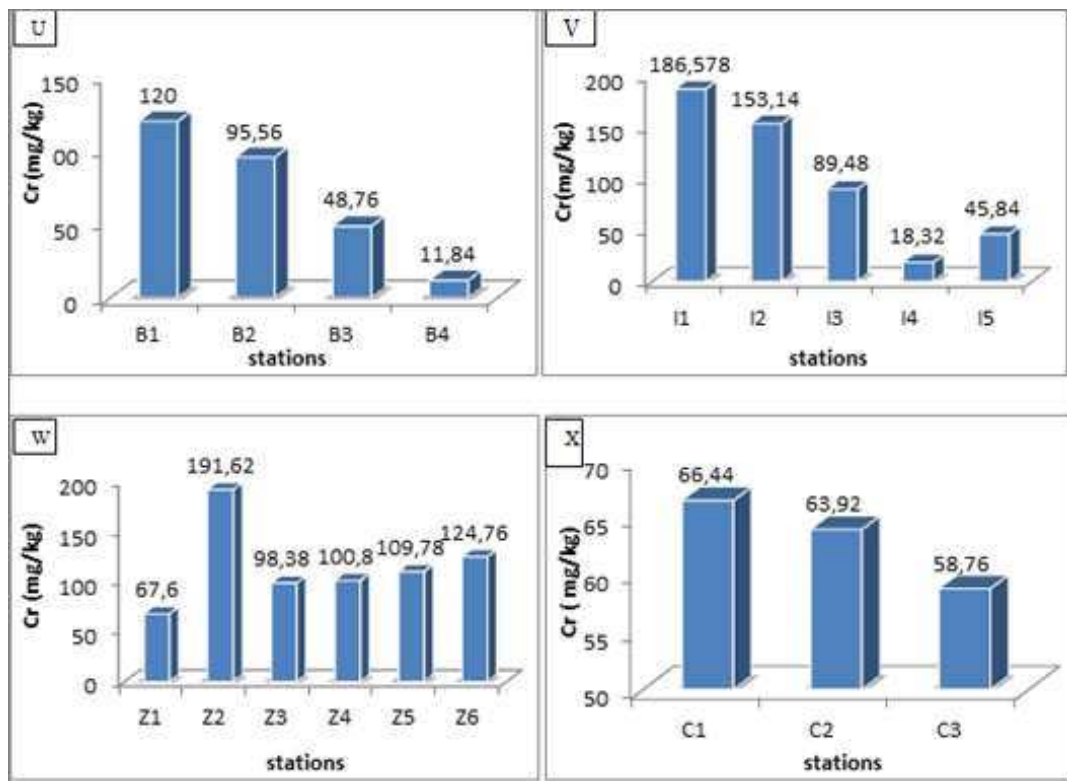


Figure 25: Teneurs du Chrome (mg/Kg) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet respectivement.

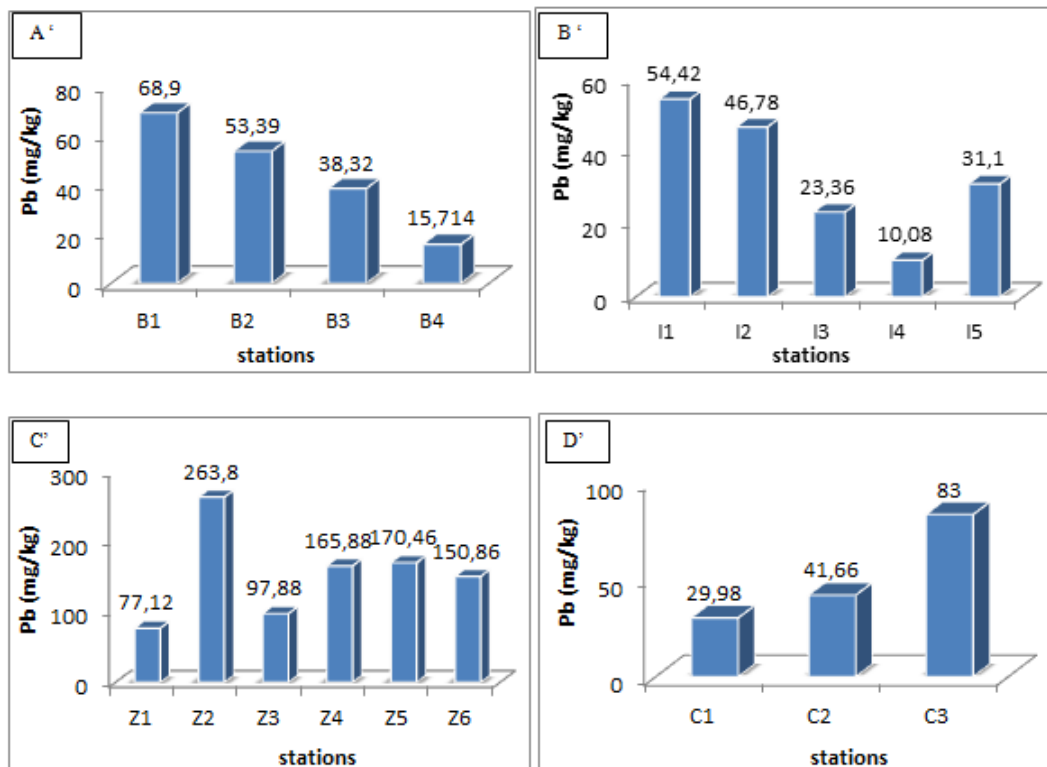
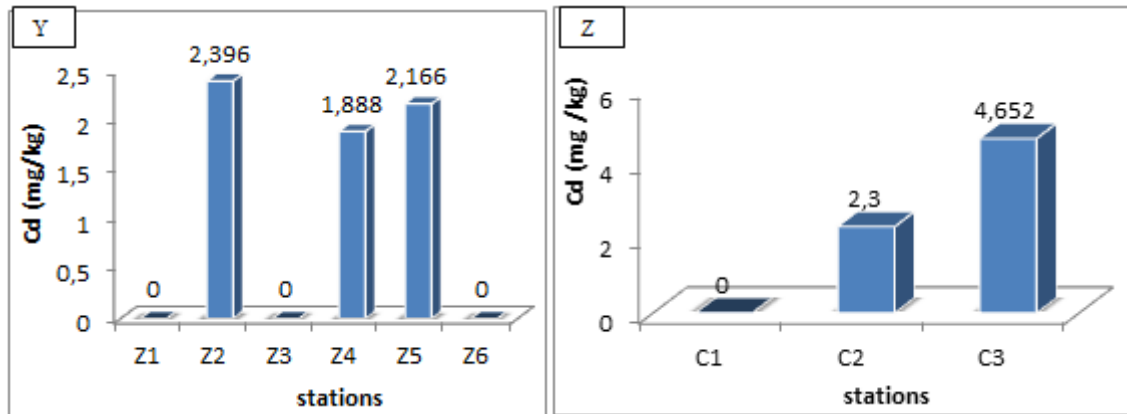


Figure 26: Teneurs du Plomb (mg/Kg) au niveau des oueds Boudouaou et Isser et des Ports Zemmouri El Bahri et ca Djinet respectivement.



**Figure 27:** Teneurs du Cadmium (mg/Kg) au niveau des ports Zemmouri El Bahri et cap Djinet respectivement.

En plus des indices de contamination/pollution, on a jugé utile le calcul des indicateurs statistiques suivants : minimum, maximum, moyenne, 1er quartile, médiane et 3ème quartile. Ces données sont récapitulées dans les tableaux 08 et 14 (Annexe X).

Les résultats des teneurs en métaux lourds révèlent la présence du Cr et Pb dans tous les échantillons.

Les sédiments du oued Boudouaou, Isser, port de Zemmouri et cap Djinet sont caractérisés par des concentrations en Chrome qui s'échelonnent respectivement de :

- 11.84 mg/kg à 120 mg/kg avec une moyenne de 69.04 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 101.67mg/kg (Q<sub>3</sub>) ;
- 18.32 mg/kg à 186.578 mg/kg avec une moyenne de 98.67 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 153.14 mg/kg (Q<sub>3</sub>) ;
- 67.6 mg/kg à 191.62 mg/kg avec une moyenne de 115.49 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 121.015 mg/kg (Q<sub>3</sub>).
- 58.76 mg/kg à 66.44 mg/kg avec une moyenne de 63.04 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 65.18mg/kg (Q<sub>3</sub>).

Les résultats du Plomb obtenus sont situés dans des intervalles comme suit :

- [15.714 mg/kg, 68.9 mg/kg], avec une moyenne de 44.081mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 57.27 mg/kg (Q<sub>3</sub>) ;

- [10.08 mg/kg, 54.42mg/kg], avec une moyenne de 31.1 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 46.78 mg/kg (Q<sub>3</sub>) ;
- [77.12 mg/kg, 263.8 mg/kg], avec une moyenne de 170.64 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 169.32 mg/kg (Q<sub>3</sub>) ;
- [29.98 mg/kg, 83 mg/kg] Avec une moyenne de 51.55 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 62.33 mg/kg (Q<sub>3</sub>).

Dans ces échantillons, les résultats montrent l'absence du cadmium au niveau de la majorité des stations, où les valeurs sont inférieures à la limite de détection de l'appareil (SAA). A l'exception des (Z2, Z4, Z5, C2 et C3) au niveau du port de Zemmouri et cap Djinet, où les concentrations ont été enregistrés entre :

- 1.888 mg/kg et 2.396 mg/kg, avec une moyenne de 0.92 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 2.1 mg/kg (Q<sub>3</sub>) ;
- 2.3 mg/kg et 4.652 mg/kg, avec une moyenne de 2.32 mg/kg et 75 % de valeurs inférieurs à 3.5 mg/kg (Q<sub>3</sub>).

Il est a noté que, pour les trois éléments étudiés, les moyennes sont proches des médianes ; il y a donc, à l'échelle de la zone d'étude, peu de dispersion dans les concentrations. Ainsi, les moyennes peuvent être considérées comme peu influencées par les valeurs atypiques, à savoir suspects et extrêmes (Thomas et Meybeck, 1992 ; Sahli et al., 2014).

### III. Indices caractéristiques des teneurs des métaux lourd dans le sédiment

Les valeurs des indices calculés à savoir l'indice de géo-accumulation (Igeo), le facteur de contamination (FC), le degré de contamination (DC) et l'indice de pollution sédimentaire (IPS) sont données dans le tableau 04.

**Tableau 4:** Valeur des différents indices calculés pour l'évaluation du degré de contamination des sédiments par les métaux lourds.

INDICE	Igeo			FC			DC	IPS
	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd		
Station							/	/
<b>Oued Boudouaou</b>								
<b>B1</b>	-0,58	0,2	0	1	1,72	0	2,72	1,60
<b>B2</b>	-0,91	-0,17	0	0,8	1,33	0	2,13	1,25

<b>B3</b>	-1,88	-0,65	0	0,41	0,96	0	1,36	0,87
<b>B4</b>	-3,93	-1,93	0	0,099	0,39	0	0,49	0,34
<b>Oued Isser</b>								
<b>I1</b>	0,052	-0,14	0	1,55	0,45	0	2,01	0,64
<b>I2</b>	-0,23	-0,23	0	1,28	0,39	0	1,67	0,54
<b>I3</b>	-1,0	-1,0	0	0,75	0,19	0	0,94	0,29
<b>I4</b>	-3,3	-3,3	0	0,15	0,08	0	0,24	0,10
<b>I5</b>	-1,97	-1,97	0	0,38	0,26	0	0,64	0,28
<b>Port de Zemmouri el Bahri</b>								
<b>Z1</b>	-1,41	0,36	0	0,56	1,93	0	2,49	0,03
<b>Z2</b>	0,09	2,14	2,41	1,60	6,60	7,99	16,18	7,94
<b>Z3</b>	-0,87	0,71	0	0,82	2,45	0	3,27	0,04
<b>Z4</b>	-0,84	1,47	2,07	0,84	4,15	6,29	11,28	6,24
<b>Z5</b>	-0,71	1,51	2,27	0,91	4,26	7,22	12,40	7,15
<b>Z6</b>	-0,53	1,33	0	1,04	3,77	0	3,77	0,07
<b>Port de cap Djenet</b>								
<b>C1</b>	-1,44	-1,0	0	0,55	0,75	0	0,65	0,01
<b>C2</b>	-1,49	-0,53	2,35	0,53	1,04	7,67	3,08	7,54
<b>C3</b>	-1,61	0,47	3,37	0,49	2,08	15,51	6,02	15,24

#### a. Indice de géo-accumulation

Müller (1981) a défini une échelle avec six classes d'indice de géo-accumulation résumé dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5:** Classes de contamination de l'indice géo-accumulation (*I<sub>geo</sub>*).

Classe	Critique
<b><math>I_{geo} &lt; 0</math></b>	Background
<b><math>0 \leq I_{geo} &lt; 1</math></b>	non pollué à légèrement pollué
<b><math>1 \leq I_{geo} &lt; 2</math></b>	légèrement à moyennement pollué
<b><math>2 \leq I_{geo} &lt; 3</math></b>	moyennement pollué
<b><math>3 \leq I_{geo} &lt; 4</math></b>	moyennement à fortement pollué
<b><math>4 \leq I_{geo} &lt; 5</math></b>	fortement pollué

$5 \leq I_{geo}$	extrêmement pollué
------------------	--------------------

Les  $I_{geo}$  calculés pour le plomb ne reflètent aucune pollution pour les stations d'oued Boudouaou et Isser, ainsi que pour le port de cap Djinet. B1 et C3 ont fait exception avec une très faible contamination avec un sédiment de type pollués à légèrement pollués. Ceci a été remarqué aussi pour les stations Z1 et Z3 au niveau du port de Zemmouri.

Alors que, les stations Z4, Z5 et Z6, au niveau du port de Zemmouri, ont montré une pollution par le plomb. Les sédiments sont légèrement à moyennement pollués. En ce qui concerne la station Z2, le  $I_{geo}$  est supérieur à 2 et donc y'a une contamination avec classement du sédiment en catégorie moyennement pollué.

L'indice  $I_{geo}$  a permis d'établir un classement des sédiments en fonction des concentrations en contaminants métalliques. Néanmoins, le coefficient 1,5 qui à priori tient compte de l'hétérogénéité du sédiment ne représente pas toujours la réalité (**Hakanson, 1980 ; Förstner et al., 1981 ; Rubio et al., 2000**).

En effet, les métaux sont principalement associés aux particules des sédiments (argiles, carbonates, oxydes et hydroxydes de fer, matière organique), et il serait donc nécessaire d'exprimer les concentrations des métaux en fonction d'un paramètre lié à la nature du sédiment. Ce dernier est le facteur de contamination.

#### **b. Facteur de contamination**

De même que pour l' $I_{geo}$ , des classes de contamination sont définies pour le FC dans le tableau 5 (**Hakanson, 1980 ; Förstner et al., 1981 ; Rubio et al., 2000**).

**Tableau 6:** Classes de contamination de (FC) (**Hakanson, 1980; Förstner et al., 1981; Rubio et al., 2000**).

Classe	Critique
$FC < 1$	contamination absente à faible
$1 \leq FC < 3$	contamination modérée
$3 \leq FC < 6$	contamination considérable
$6 \leq FC$	contamination très forte

Les sédiments des stations de prélèvements (I1, I2, B1, Z2 et Z6) ont des FC en Chrome supérieurs à 1, reflétant un enrichissement voir une contamination considérée comme modéré. Pour les autres stations, la contamination est absente à faible (FC <1).

Les FC en plomb pour les stations B1, B2, Z1, Z3, C2 et C3 ont reflété une contamination modérée. Par contre, les stations (Z4, Z5 et Z6) ont montrées une contamination considérée comme extrêmement toxiques pour les populations benthiques. La contamination est très forte pour la station Z2. Le FC des stations restantes n'a pas dépassé le seuil de la première classe (FC < 1), indiquant ainsi une contamination faible voir absente.

Pour le cadmium, cinq stations (Z2, Z4, Z5, C2 et C2) ont été considéré comme très fortement contaminées ( $6 \leq FC$ ), ce qui représente un danger réel pour la population en particulier benthique mais même pélagique et en final l'homme.

### c. Degré de contamination

Cet indice est associé à 4 classes de qualité :

**DC < 6** (contamination faible),  **$6 \leq DC < 12$**  (contamination modérée),  **$12 \leq DC < 24$**  (contamination considérable),  **$24 \leq DC$**  (contamination très élevée) (**Hakanson, 1980**).

L'analyse des résultats de l'indice du degré de contamination (DC) ont révélé une contamination polymétallique modérée pour les stations C3 et Z4, ou le degré de contamination est respectivement d'ordre de 6.023 et 11.28, ainsi qu'une contamination polymétallique considérable d'ordre de 12.39 et 16.17 pour les stations Z5 et Z2 respectivement.

### d. Indice de pollution sédimentaire

L'IPS s'accompagne de cinq classes renseignant sur le niveau de pollution des sédiments. Ces dernières s'échelonnent entre un ( $0 \leq IPS < 2$ ) caractérisant un sédiment sain et un ( $IPS \geq 20$ ) caractérisant un sédiment dangereux (tab. 06).

**Tableau 7:** Classe de contamination de l'IPS (Singh et al., 2002).

Classes	Gamme des valeurs de l'IPS	Qualité du sédiment
<b>0</b>	$0 \leq IPS < 2$	Sédiment sain
<b>1</b>	$2 \leq IPS < 5$	Sédiment faiblement pollué
<b>2</b>	$5 \leq IPS < 10$	Sédiment moyennement pollué

<b>3</b>	$10 \leq \text{IPS} < 20$	Sédiment très pollué
<b>4</b>	$20 \leq \text{IPS}$	Sédiment dangereux

La valeur des indices de pollution sédimentaire (IPS) présente un maximum de 15.23 enregistré au niveau de la station C3 et un minimum de 0.014 enregistré au niveau de C1.

En se basant sur les classes de qualité du sédiment, il apparaît que 72 % des échantillons peuvent être considérés comme étant sains (celui des stations des deux oueds Z1, Z3, Z6 et C1).

Les autres échantillons se répartissent entre la classe 2 (moyennement pollués) et la classe 3 (très pollués). En effet, 22 % des échantillons ont des IPS compris entre 5 et 10 caractérisant des sédiments moyennement pollués (Z2, Z4, Z5 et C2) et 5 % ont des IPS compris entre 10 et 20 caractérisant des sédiments très pollués.

Cette dernière catégorie concerne les sédiments prélevés au niveau de la station C3. Cette valeur critique est principalement due au cadmium qui représente 67 %. Notons qu'aucun sédiment n'est dangereux ; tous les IPS étant inférieurs à 20 (classe 4).

D'une manière générale, les concentrations en métaux diminuent de l'intérieur des ports (sédiments vaseux) vers la passe d'entrée (sédiments sableux), cette diminution peut être due à la nature du sédiment. En effet, **Arnoux et al. (1980)** ont noté que l'augmentation de la concentration en métaux est beaucoup plus fréquente dans un faciès vaseux.

Les teneurs élevées en métaux étudiés remarquées dans les bassins des ports, surtout pour le plomb et le cadmium, pourrait être dû essentiellement à la dissolution des pigments de peintures et les alliages en acier inoxydable des embarcations, au différent trafic portuaire varié et intense qui s'effectue dans chaque bassin, ainsi qu'aux huiles des moteurs d'embarcations.

La station Z2 au niveau du port de Zemmouri a présenté une pollution importante qui est dû aux activités du carénage effectuées au niveau de ce bassin.

Les contaminations du plomb et du Chrome détectées au niveau des oueds Boudouaou et Isser, peuvent être causées par les apports urbains et industriels de la région, déversés au niveau des oueds sans traitement préalable et qui peuvent être chargées directement par cet élément, de ce fait, **Zhang et al. (2007)** a montré qu'avec l'industrialisation rapide et le développement économique des régions côtières, les métaux lourds continuent d'être introduits aux estuaires des zones côtières, dans les rivières et les cours d'eau.

Le plomb est rapidement assimilé par le phytoplancton qui est brouté par le zooplancton herbivore est en grande partie transféré au sédiment. Le trafic routier et le lessivage des terres agricoles chargées en pesticides (utilisation d'engrais qui sont très remarquable dans la région) alimentent le sédiment avec une quantité importante du plomb sans oublier les apports atmosphériques (**Ramade, 2005**).

Outre, la différence entre les concentrations remarquées au niveau des embouchures d'oueds Boudouaou et Isser, ou nous observons une diminution des concentrations de l'amont vers l'aval, peut être due au phénomène de dilution et à l'augmentation de la salinité. Ainsi, **Degroot et al. (1976)** ont montré que la désorption du plomb du sédiment est facilitée par l'augmentation de la salinité.

En effet, **Martin et al. (1976)** ont montré que, dans les estuaires, la décroissance des concentrations au fur et à mesure que nous approchons de l'embouchure est due à plusieurs processus hydrodynamiques : dissolution, dispersions, destruction, et réactivité des polluants.

La différence des concentrations en métaux au niveau des ports peut être due à l'ancienneté du port de Zemmouri (1950) par rapport à celui de cap Djinet (2007), ainsi que l'intensité des activités dans chaque port.

# Conclusion

Le but de ce travail, consiste à estimer le degré de la pollution au niveau de la baie de Zemmouri, plus particulièrement au niveau de l'embouchure de oueds Boudouaou et Isser, et des ports Zemmouri El bahri et cap Djinet.

Cette étude nous permettons de maîtriser la technique de la SAA utilisée pour l'analyse des ETM dans le sédiment superficiels, et les techniques de mesure de certains paramètres (MES, DCO, et DBO). Il ressort de nos résultats sur les eaux de surface de différentes stations étudiées que, les valeurs de paramètres physico-chimiques ne représentent pas des anomalies importantes, la plupart d'entre eux sont caractéristiques des eaux côtières méditerranéennes.

Ces facteurs reflètent la période saisonnière (printemps), et semblent être gouvernés par les facteurs météorologiques et hydrodynamiques de la zone d'étude, à l'exception des stations B1, B2, I1 et I2 au niveau des oueds qui peuvent être influencées par les apports anthropiques et les eaux d'irrigations intenses de la région.

Les résultats de MES au niveau de toutes les stations, apparaitre trop élevés, dans les teneurs sont supérieures aux normes algériennes limités de rejets qui est de 35 mg/l, et celle définies par le **LDACGY (France)** pour une bonne qualité de l'eau qui est de 1 mg/l.

Les teneurs en MO dans les différentes stations sont élevées, avec un max enregistrés au niveau de la station I2 (oued Isser), leur augmentation est favorisée par les apports urbains et agricoles (utilisation d'engrais) au niveau des oueds, et les activités portuaires en particulier la pêche au niveau des ports.

Les résultats de la DBO<sub>5</sub>, signalent des teneurs élevées au niveau des stations B1, B2 et I1 qui dépassent la valeur fixée par le **CPEPESC en 2017** caractérisée les eaux non polluées qui est de 2 à 20 mg /l et la norme fixée par le **LDACGY** qui est de 10 mg/l pour les eaux de bonnes qualités.

Les valeurs de la DCO enregistrées dans les différentes stations sont trop élevées et dépassent les normes fixées par le **LDACGY** pour une eau de bonne qualité qui est de 30 mg /l et même dépassent les normes algériennes pour les rejets d'effluents liquides qui est de 120 mg dO<sub>2</sub> / l.

Les valeurs du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> des trois stations B1, B2 et I1 est trop élevé, ces dernières montrent que les eaux circulées au niveau des cours d'eaux sont d'origine industrielle. Cela nécessite un traitement physico-chimique des eaux au niveau stations d'épurations, ce qui n'est pas le cas pour les stations installées à coté des oueds Boudouaou et Isser qui appliquent un traitement biologique.

Ces paramètres nous permettent de considérer les eaux de surfaces de ces zones comme de mauvaises qualités surtout au niveau des embouchures. De ce fait, l'interdiction de la baignade dans les eaux à proximité de ces zones qui ont une destination préférée pour les citoyens de la région apparaît nécessaire.

L'analyse des métaux lourds dans la matrice sédimentaire relève un enrichissement par le Chrome et le Plomb au niveau de toutes les stations, et la présence du Cadmium que pour les stations Z2, Z3, Z4, C2 et C3. Ces résultats reflètent l'influence directe des apports anthropiques et agricoles de la région qui ont véhiculés par les oueds, ainsi les activités portuaires (relève, carénage..), et la dissolution des peintures des embarcations.

Les différents indices de contamination, ne signalent aucune pollution par le Chrome dans la majorité des stations, à l'exception des stations B1, I1, I2, Z2 et Z6 qui présentent une faible contamination.

Ces derniers relèvent une pollution très forte par le Plomb pour la station Z2, considérable pour les stations Z4, Z5, et Z6, et une pollution modérée pour les stations B1, B2, Z1, Z3, C2, et C3.

Les résultats du cadmium présentent une pollution considérable et très forte au niveau des stations Z2, Z4, Z6, C2 et C3. Cette pollution représente un véritable danger pour les organismes benthiques et surtout pour l'homme le consommateur final des produits de pêche.

Les résultats sur le degré de contamination polymétallique montrent une pollution considérable pour les stations Z2 et Z5, et modérée pour les stations C3 et C4.

En se basant sur les résultats de l'IPS, 72% des stations peuvent être considérées comme saines. Les autres stations se répartissent entre la classe 2 (moyennement polluée), et la classe 3 (fortement polluée).

En comparant nos résultats avec les normes représentées par SEQ-Eau sur la qualité de sédiment, nous pouvons noter que : pour le Chrome, le Plomb le Cadmium, respectivement, 61%, 50% et 28% des stations ont des sédiments de qualités moyennes, et respectivement 28% et 22% sont de mauvaises qualités. Les autres stations sont considérées comme de bonne qualité.

D'une manière globale et en se basant sur les résultats obtenus, nous pouvons conclure que, la pollution métallique dans notre zone d'étude se manifeste plus important surtout pour les ports qu'embouchures.

En outre, l'évaluation du degré de contamination métallique dans le sédiment pour un seul métal ne donne pas les mêmes résultats pour une évaluation de degré de la pollution de plusieurs éléments à la fois (contamination polymétallique), cette différence peut être due à l'influence de d'autres EM et d'autres facteurs sur le comportement, la toxicité et l'impact du métal étudié.

Ainsi, ces indices se révèlent aussi d'une efficacité limitée lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact réel de la contamination métallique des écosystèmes aquatiques, car les effets dépendent davantage de la forme chimique (spéciation) des ML plutôt que de leurs concentrations totales. C'est pourquoi, il est important que ces derniers soient complétés de surveillance biologique sur la matrice solide (sédiments) afin de s'assurer de la toxicité ou l'innocuité de cette dernière.

*Références*  
*bibliographiques*

### « A »

- **AFNOUR. (1983).** Echantillonnage, précaution à prendre pour effectuer, conserver et traiter les prélèvements. NF- T- 90 – 100.
- **ALAIN et GUEZENNEC, Lois. (2008).** *Contextes climatique, morphologique et hydro-sédimentaire : dynamique des matériaux fins dans l'estuaire de la Seine.* Système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine. France : GIP Seine Aval.
- **AMINOT et HAUSSEPIED. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* Paris : CNEXO. 19-28, 73-75, 53-169p.
- **AMINOT et KEROUL. (2004).** *Hydrologie des écosystèmes marins paramètres et analyses.* France : Ifremer. 28, 137p.
- **ARNOUX, A., MONOD, J.L., TATOSSIAN, J., BLANC, A. et OPPETIL, F. (1980).** *La pollution chimique des fonds du Golfe de Fos.* V<sup>ème</sup> journées Etudes. Pollutions, Cagliari. C.I.E.S.M. 447- 458p.
- **AUBERT, H. et PINTA, M. (1971).** *Les éléments traces dans les sols.* Tav. Doc. Paris : ORSTOM, 11, 97p.
- **AUDIGIE et al. (1995).** *Principes des méthodes d'analyse biochimique.* Paris : Doin. 111p.

### « B »

- **BACHOUICHE, Samir. (2010).** *Les ports d'Alger et de Bouharoun : étude des paramètres granulométriques, biologiques et de la pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage.* Thèse de magister. Alger : ENSSMAL, 127p.
- **BELABED, Bourhan- eddine. (2010).** *La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « source de contamination des écosystèmes aquatique ».* Thèse de doctorat. Science de la mer. Annaba : université Badji Mokhtar, 6, 15-19, 22, 74p.
- **BELADJINE, Sihem et GUERFI, Houda. (2015).** *Evaluation des teneurs en métaux lourds dans l'environnement marin du littoral Algérois chez Patella sp et les moules.* Mémoire d'ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, 18, 50-55p.
- **BELANGER, David. (2009).** *Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier.* Canada. 67p.
- **BELLAIR, P. et POMEROL, C. (1977).** *Eléments de géologie.* Paris : Armand Colin, 528p.

## Références bibliographiques

---

- **BINEY, C., AMUZU, A.T., CALAMANI, D., KABA, N., MBOME, I.L., NAEVE, H., OCHUMBA, O., OSIBANJO, O., REDEGONDE, V. et SAAD, M.A.H. (1994).** *Review of heavy metals in the African aquatic environment.* Ecotoxicol environ. Saf 28, 134-159p.
- **BLIEFERT, C. et PERRAUT, R. (2003).** *Chimie de l'environnement Air, Eau, Sol.* France : De Boeck. 220p.
- **BREMOND, R., PERRODON, C. (1979).** *Paramètres de la qualité des eaux.* Ministère de l'environnement et cadre de vie. Prévention des pollutions. 2<sup>ème</sup> édition. 259p.
- **BROWN, B.F. (1971).** *Les matériaux et la corrosion en milieu marin - Matériaux et Techniques,* 22-27 ; 39-42p.
- **BONNET, C. (2000).** *Développement de bio-essais sur sédiments et applications à l'étude, en laboratoire, de la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés.* Thèse de doctorat. Toxicologie de l'Environnement. Université Paul Verlaine-Metz, 326p.
- **BORCHARDT, T. (1985).** *Relation ship between carbon and cadmium uptake in Mytilus edulis.* Mar. Biol. 85, 233-244p.
- **BOUHMADOUCHE, Mohamed. (2012).** *Géologie de la baie de Zemmouri.* Thèse de doctorat. Géo-environnement. Boumerdes : FSTGAT/ USTHB, P34, 51p.
- **BURTON, G. A. (1992).** *Sediment toxicity assessment.* London : Lewis Publishers, 211p.

### « C »

- **CALMANO, W., FORSTNER, U. et HONG, J. (1994).** *Mobilization and scavenging of heavy metals following resuspension of anoxic sediments from the Elbe River, American Chemical Society.* Washington : D.C.ACS Symp. Ser. 550,298-321p.
- **CAMPBELL, P. G. C. (1995).** *Interactions between trace metals and organisms: critique of the free-ion activity model. Metal speciation and bioavailability.* In aquatic systems. TESSIER, A., TURNER, D. R., WILEY. J. et CHICHESTER. UK. 45-97p.
- **CAMPY, M. et MEYBECK, M. (1995).** *Les sédiments lacustres.* Limnologie générale. Paris : Masson. 185-226p.
- **CARLOS, J. et CLAVIER, Jacques. (2000).** *Space-time variations of suspended material in the Sinnamary estuary, French Guiana. Influence of Petit Saut electric dam.* Rev. Bras. Oceanogr. 48(I), 29-39p.

## Références bibliographiques

---

- **CASAS, S. (2005).** *Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, Mytilus galloprovincialis, en milieu méditerranéen.* Thèse de doctorat : France : Université du Sud-Toulon-Var, 314 p.
- **CAULET, J. (1972).** Les sédiments organogènes du précontinent algérien. Thèse d'Etat. Univ de Paris. *Mem. Mus. Paris*, P 97:100. **COSSA, D., ET LASSUS, P. (1989).** *Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie.* France : Ifremer. 16, 111p.
- **CHIFFOLEAU, J.F., AUGER, D., CHARTIER, E., MICHEL, P., TRUQUET, I., FICHT, A., GONZALEZ, J. L. et ROMANA, L. A. (2001).** *Spatiotemporal changes in Cadmium contamination in the Seine estuary (France).* *Estuaries*. 24 (6B), 1029-1040p.
- **CREPA :** Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement a faible cout (centre collaborant de l'OMS). **(2007).** Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées – protocole de détermination des paramètres physico-chimique et bactériologiques -guide-. Document public. France, P 21. [Consulté le : 02/06/2017]. Adress URL :<https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/TFYECHE-Lyes.pdf?idmemoire=4589>.Html.
- **COSSA, D. (1989).** *Cadmium in Mytilus sp: Worldwide Survey and Relationship between seawater and Mussel Content.* *Mar. Environ.* 26, 265-284p.
- **Cote bleue. (2017).** L'impact des caractéristiques de l'eau de mer sur la vie marine. [Consulté le : 20/06/2017]. Adresse URL : <http://www.cotebleue.org/eau1.html>.

### « D »

- **DEGROOT, A., SALMONS, W. et ALLERSMA, E. (1976).** *Processes affecting heavy metals.* In: *estuarine sediments.* BURTON, J.D., LISS, P. S. *estuarine chimestry.* New york : Academic press. 131- 157p.
- **DIDANE, M. (2011).** *Convention des notions unies sur le droit de la mer.* Alger : Belkeise. 387p.
- **Direction de la programmation et du suivi budgétaire. (2012).** Plan d'aménagement du territoire de la wilaye de Boumerdes : évaluation territoriale et diagnostic. Document non publié. Alger : centre national d'étude de recherches appliquées en urbanisme.
- **Di TORO, Kavvados, D.M., MATHEU, C.D., PAQUIN, R. et WINFIELD, R.P. (2001).** *The persistence and availability of metals in aquatic environnements.* ICME (International Council on Metal and the Environnement). 67p.

## Références bibliographiques

---

- **DUPONT, J.P., GUEZENZC, L., LAFITE, R., LE HIR, P. et LESUEUR, P. (2001).** *Matériaux fins : le cheminement des particules en suspension.* Programme Scientifique Seine-Aval. France (Plouzané) : Ifremer. Fascicule n°4 ISBN 2-84433-055-X, 39p.

### « E »

- **EL BLIDI, S., FEKHAOUI, M. (2003).** *Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc).* Bulletin de l'Institut Scientifique. Rabat. 25, 57–65p.
- **EZZAOUAQ, M. (1991).** *Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé.* Thèse D.E.S. fac. Sci. Rabat, 140p.

### « F »

- **FAO (1975).** *Manual of methods of analysis for heavy metals in aquatic environment reseach,* PartI: method for detection, measurement and monitoring of water pollution. FAO Fisheries Technical Paper N 137. United Nation.
- **FÖRSTNER, U. et WITTMANN, G.T.W. (1981).** *Metal pollution in the aquatic environment.* Springer-Verlag . New York : Belin Heidelberg. 486p.

### « G »

- **GAUJAOUS. (1995).** *La pollution des milieux aquatiques : aide- mémoire.* 2<sup>ème</sup> édition. Paris : TEC et DOC. 15-19, 104-105p.
- **GHOUMRASSI, Sofia. (2017).** *Séminaire sur la spectroscopie d'absorption atomique.* Du 04 au 09 mars 2017. Boumerdes. Centre de recherche et développement : division technologie et développement, 11-31p.
- **Guide technique d'évaluation de l'état des eaux douce. (2008).** *Les différents paramètres physico-chimiques des eaux et commentaires.* France : CPEPESC. [Consulté le : 14/06/2017]. Adresse URL : <http://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html>.
- **GUITOUN, Wafa. (2015).** *Etude sur la bio-méthanisation des déchets organiques. Contribution expérimentale.* Mémoire de master académique. Science de la technologie. Ouargla : UNIVERSITE KASDI MERBAH, 6p.

## Références bibliographiques

---

- **GONZALEZ, J.L., CHIFFOLEAU, J.F., MIRAMAND, P. et THOUVENIN, B. (1999).** *Le cadmium: comportement d'un contaminant métallique en estuaire*. Programme scientifique Seine Aval. France : Ifremer. 31p.
- **GUERROUAHEN, Lyacine. et HAYA, Salim. (2009).** *Contribution à l'étude de la baie d'El Djamila : étude des caractéristiques physico-chimique et chimique de l'eau*. Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, 31p.

### « H »

- **HAKANSON, L. (1980).** *Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach*. Water Research. 14, 5, 975-1001p.
- **HIMMI, N., FEKHAOUI, M., FOUTLANE, A., BOURCHIC, H., EL MAROUFY, M., BENZAZZOUT, T. et HASNAOUI, M. (2003).** *Relazione plankton-parametri fisico-chimici in un bacino di maturazione (laguna di Tabenis, Marocco)*. Rivista di idrobiologia. Università degli studi di Perugia. Dipartimento di biologia animale ed ecologia laboratorio di idrobiologia. G.B. Grassi, 110– 111p.

### « I »

- **ISO. (1996).** Qualité des sols sédiments : mise en solution totale par attaque acide. NF X 31-146.

### « J »

- **JIKA., METET., ONNED. (2008).** Compte rendu du séminaire conjoint Algérie, Japon pour une gestion efficace de l'environnement. Au 21 au 22 avril. Alger, 102p.
- **JOHN, Lynch. (2001).** *Analyse physico-chimique des catalyseurs industriels*. France : TECHNIP. [Consulté le : 03/06/201]. Adresse URL : <https://books.google.dz/books?absorption+atomique.html>.

### « K »

- **KANKOU, M. (2004).** *Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides*. Thèse de doctorat. France : université de Limoges, 159p.

## Références bibliographiques

---

- **KEDDARI, Dounia. (2015).** *Mise au point des techniques de mesure de la DBO<sub>5</sub> des formes azotées et des paramètres physiques des eaux superficielles.* Mémoire de master. Science de la nature et de la vie. Constantine : université des frères Mentouri, 3-5 ; 21-24p.
- **KORTE, N.E., SKOPP, J., FULLER, W.H., NIEBLA, E.E. et ALESIL, B.A. (1976).** *Trace element movement in soils: influence of soil physical and chemical properties.* Soils Sciences. 122, 6, 350-359p.

### « L »

- **LABARTHE, Lacoue. (2007).** *Incorporation des métaux dans les œufs de la seiche comme *Sepia officinalis* et effets potentiels sur les fonctions digestives et immunitaires.* Thèse de doctorat. Océanologie, biologie et environnement, 200p.
- **LANE, T. W., et MOREL, F.M.M. (2000).** *A biological function for cadmium in marine diatoms.* *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 97,9, 4627- 4631p.
- **LEROY. (1986).** *La pollution des eaux.* 4<sup>ème</sup> édition. France : PUF. 10-12, 25-40p.
- **LEYNAUD, G. et VERREL, J. L. (1980).** *Modification du milieu aquatique sous l'influence des pollutions.* In: PESSON. P. la pollution des eaux continentales. Paris: Gauthier - Villars.
- **LISK, D.J. (1972).** *Trace metals in soils, plants and animals.* Adv. Agron. 24, 267-325p.
- **Loi Canadienne sur la Protection de l'Environnement (LCPE) (1994).** Liste des substances d'intérêt prioritaire- rapport d'évaluation, le nickel et ses composés. IS BN D- 662- 99255- 5, national printers, Ottawa.

### « M »

- **MAKHOUKH, M., SBAA, M., BERRAHOU, A et VAN. Clooster, M. (2011).** *Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental).* Larhyss journal, ISSN 1112- 3680, N° 09, 149 – 169p.
- **MARCHAND, M. et KANTIN, R. (1997).** *Les métaux traces en milieu aquatique.* Océanis. 23(4), 595-629p.
- **MARTIN, J.M., MEYBECK, M., SALVADORI, F. et THOMAS, A.J. (1979).** *Pollution chimique des estuaires : Etat actuel des connaissances.* Rapport scientifique et technique, N° 22, C. E. X. O, 286p.

## Références bibliographiques

---

- **MESSAI, Karima. (2014).** *Etude de la pollution maritime par les métaux lourds (Pb, Zn) dans la cote de Jijel.* Mémoire de master. Ecologie et environnement. université de Costantine. Costantine, 05p.
- **METAHRI, Mohamed. S. (2012).** *Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-ouzzou.* Thèse de doctorat. Génie de procédés. Tizi-ouzzou : Université Mouloud Mammeri, 09p.
- **MIQUEL, M. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Rapport Sénat N° 261, 360p.
- **MOUCHEL, J.M. (1998).** *Pourquoi tant de métaux ?*, 11.1- 11.44p. In : MEYBECK, M., FUSTEC, E.G. La Seine en son bassin, Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Paris : Elsevier, 749p.
- **MÜLLER, G. (1981).** *The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary: a stock taking.* Chemical Zeitung.105, 157-164p.
- **MÜLLER, G. (1969).** *Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River.* Geology Journal. 2, 109-118p.

### « N »

- **NAKHLE, Khaled Farès. (2003).** *Le Mercure, le Cadmium et le Plomb dans les eaux littorales Libanaises : apports et suivi au moyen de bio-indicateurs quantitatifs (Eponges, Bivalves et Gastéropodes).* Thèse de doctorat. Interactions toxiques dans les écosystèmes. France : université Paris, 7, P 2-4, 44-51p.

### « O »

- **Olivier le Calvé. (2002).** *Propriété physique du milieu marin. Cours d'introduction à l'océanographie physique.* Institut des sciences de l'ingénieur de Toulon et du Var. France.avenue. G. Pompidou – Bp 56 83 162.
- **Organisation mondiale de la santé. (2006).** Norme de l'OMS sur l'eau potable. [Consultée le : 20/06/2017]. Adresse URL : <http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/.htm>.

### « P »

- **PICOT, A. (2014).** *Les métaux, entre bénéfiques et risques : quels dilemmes ?*. paris : association toxicologie-chimie, 22 p. <http://atctoxicologie.fr>.

- **PRICE, N. M. et MOREL, F.M.M. (1990).** *Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom.* Nature 344, 6267, 658-660p.
- **POWER, E.A. et CHAPMAN, P.M. (1992).** *Assessing sediment quality.* In BURTON, G.A.J. Sediment Toxicity Assessment. Lewis. Chelsea.MI, USA, 1-18p.

### « R »

- **RAMADE, François. (2005).** *Eléments d'écologie.* 6<sup>ème</sup> édition. Paris : DUNOD. 301-313p.
- **RAMADE, François. (2000).** *Les polluants, de l'environnement à l'homme.* In : *Dictionnaire encyclopédique des polluants.* 427p.
- **RAMADE, François. (1998).** *Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales.* In : *dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau.* Paris : EDISCIENCE. 591p.
- **RAMADE, François. (1992).** *Précis d'écotoxicologie.* Paris : Mosson. 304p.
- **République Algérienne. (2006).** Décret exécutif n° 06-141 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal officiel N° 26. Annexe I.
- **REGGAM, A., BOUCHELACHEM, H., HOUHAMDI, M. (2015).** Qualité physicochimique des eaux de l'oued Seybouse Est de (Nord-l'Algérie): Caractérisation et analyse en composantes principales. J mater environ Sci.N°6, p.1417-1425.
- **RENHOLDT, R. (1976).** *Distribution of selected metals in tissue samples of carp, cyprinus carpio.* Bulletin of environmental contamination and toxicology. vol.15, n° 3, 374-377p.
- **République Algérienne. (2003).** Loi n° 03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable. Journal officiel N°43, article 4.
- **REUTER, J.H. (1981).** *Chemical interactions involving the biosphere and fluxes of organic material in estuaries.* In: River input to ocean systems. Edited by MARTIN, J.M., BURTON, J. D et EISMA D. UNEP et UNESCO. 239-242p.
- **RODIER. (2009).** *L'analyse de l'eau.* 9<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod. 555-557p.
- **RODIER. (2005).** *L'analyse de l'eau.* 8<sup>ème</sup> édition. Paris : Dunod. 3-10, 45-66p.
- **RUBIO, B., NOMBELA, M.A. et VILAS, F. (2000).** *Geochemistry of major and trace elements.* In sediments of the Ría de Vigo (NW Spain): An assessment of metal pollution. Marine Pollution Bulletin. 40, 968-980p.

### « S »

## Références bibliographiques

---

- **SAHLI, Leila., EL OKKI, Mohamed el HadeF. et AFRI- MEHENNAOUI, Fatima-Zohra. (2014).** *Utilisation d'indices pour l'évaluation de la qualité des sédiments : cas du bassin Boumerzoug (Algérie).* Europeenscientific journal. 35, 336-346p.
- **SAKER, H. (2007).** *Analyse et dosage des hydrocarbures présents dans les eaux de mer littoral de Skikda.* Thèse de magister. Skikda : université du 20 aout 1995, 929p.
- **SANTSCHI, P.M., GUO, L., MEANS, J.C. et RAVICHANDRAN, M. (1999).** *Natural organic matter binding of traces metals and traces organic contaminants in estuaries.* In BIANCHI, T.S., PENNOCK, J.R. et TWILLEY, R.R. *Biochemistry of gulf of Mexico Estuaries.* John Wiley et Sons, Ltd. USA, 347-380p.
- **SIGG, L., STUMM, W. et BEHRA, P. (1992).** *Chimie des milieux aquatiques : Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement.* Eds. Masson.391p.
- **SINGH, M., MüLLER, G. et SINGH, I.B. (2002).** *Heavy Metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanisation of the Ganga Plain, India.* *Water Air and Soil Pollution.* 141, 35-54p.
- **SITTING, M. (1976).** *Toxic metals: pollution control and worker protection.* Noyes Data corporation. 350p.
- **STANKOVIC, S., KALABA, P., STANKOVIC, R. (2014).** *Biota as toxic metal indicators.* Berlin.22 p.

### « T »

- **THEVENOT, D., MEYBECK, M., CHESTERIKOF, A., CHEVREUIL, M., HUANG, W.W., ESTEBE, A., IDLAFKIH, Z., JAIRY, A., BUSSY, A.L., GARNAUD, S. et MAKHOUKH, M., SABBA, M., BERRAHOU, M. et VAN. CLOOSTER, M. (2011).** *Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental).* Larhyss journal, ISSN 1112\_ 3680. 09, 149-169p.
- **THIBAUD, Y. (1983).** *Dosage de métaux (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd) dans les organismes marins par absorption atomique.* In manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest : CNEXO. 263-273p.
- **THOMAS, L. L. (2007).** *Incorporation des métaux dans les oeufs de la seiche commune *Sepia officinalis* et fonctions digestives et immunitaires.* École Doctorale de La Rochelle, 175 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00339245>.
- **THOMAS, R. et MEYBECK, M. (1992).** *The use of particulate material.* In CHAPMAN, D. *Water Quality Assessments. A guide to the use of Biota sediments and Water in environmental monitoring.* Chapman & Hall Ltd. London. 121-170p.

### « U »

- **USEPA:** U.S.Environmental Protection Agency. Update of ambient water quality criteria for cadmium. Washington : U.S.EPA-822-R-01-001, D.C.

### « V »

- **VERNEY, R. (2006).** *Processus de contrôle de la dynamique des sédiments cohésifs – Mesure in situ, mesures expérimentales et modélisation – Application à l’estuaire de Seine.* Thèse de doctorat. Rouen : Université de Rouen, 323p.

### « W »

- **WATER. QUALITY. CRITERIA (1963).** The resources agency of california- state water quality contrôle board, 550p.
- **W.H.O. (1987).** *Global pollution and health results of related environmental monitoring.* Global environment monitoring system. WHO. UNEP
- **WILLIAM, P.J. (1981).** *Primary productivity and heterotrophic activity in estuaries.* In: River inputs to ocean systems. Edited by MARTIN, J.M., BURTON, J. D. et EISMA, D. UNEP et UNESCO. 243- 258p.

### « Z »

- **ZHANG, L., YE, X., FENG, H., JING, Y., OUYANG, T., YU, X., LIANG, R., GAO, C. et CHEN, W. (2007).** *Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity.* China : Marine Pollution Bulletin. 54, n°7, 974–982p.

### • Références des images et cartes

- **HANNA instruments.** Multi-paramètre HI9829 en mallette, sonde pH, EC, OD, °C. [Image en ligne]. Adresse URL : <http://www.hanna-shop.com/>.html.

## Références bibliographiques

---

- Découpage administratif de l'Algérie et monographie. Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Boumerdes. [Carte en ligne]. Adresse URL : <http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/2015/01/reseau-hydrographique-BOUMERDES.html>.
- Google earth. Port de cap Djenet. [Consulté le : 17/06/2017].
- Google earth. Port de Zemmouri el Bahri. [Consulté le : 17/06/2017].

# *Annexes*

I)



**Figure 28:** *Etapes de la filtration des échantillons pour la mesure de MES.*

II)

• **Les solutions préparées pour l'analyse de la DCO**

➤ ***Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique***

Dissoudre 2.5 g de sulfate d'argent dans 10 ml d'ED, ajouter avec précaution 240 ml d'acide sulfurique.

➤ ***Solution de sulfate de fer et d'ammonium à 0.12 mol/L***

Dissoudre 11.75g de sulfate de fer et d'ammonium dans de l'eau, ajouter 5 ml d'acide sulfurique avec précaution. Après refroidissement, ajuster le volume à 250 L avec l'ED.

➤ ***Solution de dichromate de potassium à 0.04 mol/L contenue du sulfate de mercure***

Dissoudre 8g de sulfate de mercure dans environ 80 ml d'ED. Ajouter avec précaution 10 ml d'acide sulfurique. Après refroidissement, ajouter 1.1767g de dichromate de potassium

(préalablement séché à 105°C pendant 2heures). Transvaser la solution quantitativement dans une fiole jaugée de 100ml et compléter au volume.



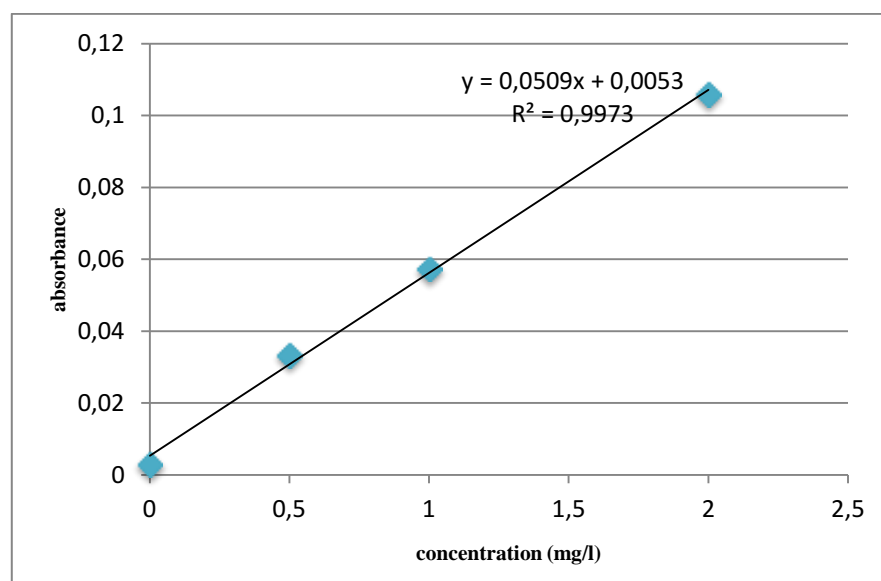
**Figure 29:** *Quelques étapes lors de la manipulation de la DCO.*

III)

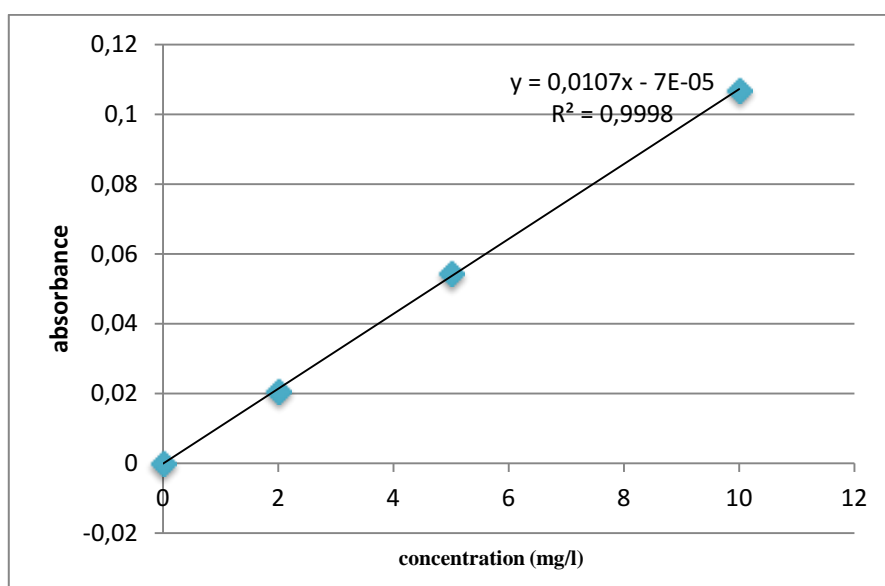


**Figure 30:** *Minéralisation d'échantillons de sédiments.*

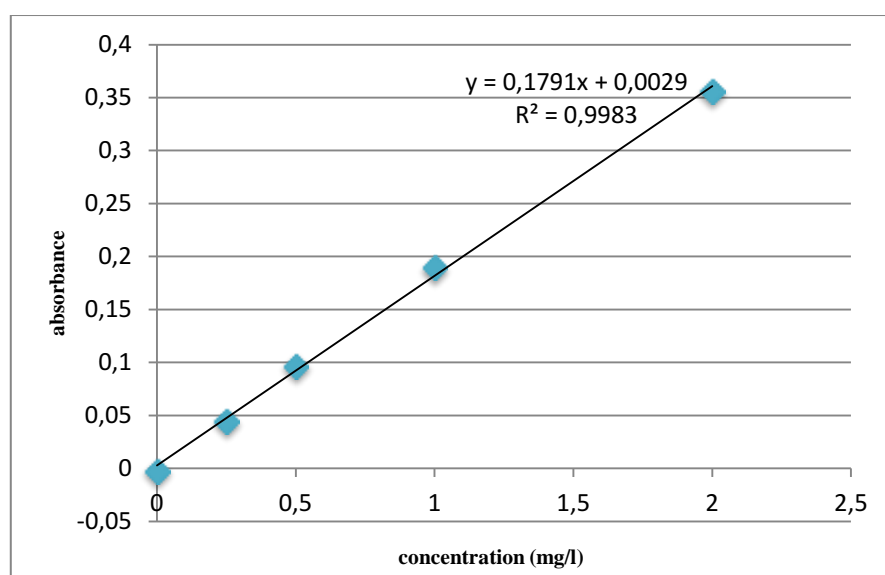
IV)



**Figure 31:** *Courbe d'étalonnage du Chrome(Cr).*



**Figure 32:** *Courbe d'étalonnage du Plomb (Pb).*



**Figure 33:** *Courbe d'étalonnage du Cadmium (Cd).*

V)

**Tableau 3:** *Données sur les EM étudiés pour leur analyse par la SAA.*

Paramètre	Cr	Pb	Cd
Linéarité	5	20	2
Sensibilité (ppm)	0,08	0,2	0,03
Longueur d'onde $\lambda$	357,9	270	228,8

## VI)

Tableau 4: Résultats des paramètres physico-chimiques des stations étudiées.

Stations	Température (°C)	Salinité (‰)	pH
<b>Oued Boudouaou</b>			
<b>B1</b>	24,52	1,04	7,36
<b>B2</b>	22,6	1,42	7,46
<b>B3</b>	20,02	35,44	7,86
<b>B4</b>	18,94	36,53	8
<b>Oued Isser</b>			
<b>I1</b>	24,3	1,66	7,99
<b>I2</b>	20,7	1,84	8,03
<b>I3</b>	20	36	8,09
<b>I4</b>	19,8	36,44	8,12
<b>I5</b>	19,87	36,46	8,1
<b>Port de Zemmouri el Bahri</b>			
<b>Z1</b>	18,31	36,85	8,06
<b>Z2</b>	18,76	37,02	8,1
<b>Z3</b>	18,73	37	8,15
<b>Z4</b>	18,95	36,98	8,14
<b>Z5</b>	18,75	36,94	8,15
<b>Z6</b>	19,01	36,78	8,08
<b>Port de cap Djent</b>			
<b>C1</b>	17,79	36,67	8,35
<b>C2</b>	18,3	36,66	8,28
<b>C3</b>	18,13	36,8	8,27

## VII

Tableau 5: Résultats des teneurs en MES et la MO des stations étudiées.

Stations	MES (mg/l)	MO (%)
<b>Oued Boudouaou</b>		
<b>B1</b>	66	40,91
<b>B2</b>	79	39,24
<b>B3</b>	214	19,63
<b>B4</b>	241	18,88
<b>Oued Isser</b>		
<b>I1</b>	44	62,5
<b>I2</b>	126	74,60
<b>I3</b>	275	21,64
<b>I4</b>	103	28,64
<b>I5</b>	213	19,01
<b>Port de Zemmouri el Bahri</b>		
<b>Z1</b>	225	37,78
<b>Z2</b>	206	35,92

<b>Z3</b>	222	33,33
<b>Z4</b>	232	46,12
<b>Z5</b>	239	35,98
<b>Z6</b>	228	40,79
<b>Port de cap Djent</b>		
<b>C1</b>	216	31,02
<b>C2</b>	244	34,43
<b>C3</b>	232	42,67

## VIII

Tableau 6: Résultats de la DBO et la DCO des stations étudiées.

stations	DBO <sub>5</sub> (mg d'O <sub>2</sub> /l)	stations	DCO (mg d'O <sub>2</sub> /l)
B1	75	B1	1152
B2	27	B2	960
B3	7	I1	672
I1	20	I2	480
I3	5	/	/

## X)

Tableau 7: Résultats de quelques paramètres statistiques sur les ETM étudiés.

Site étudié	Oued Boudouaou			Oued Isser			Port de Zemmouri			Port de cap Djenet		
	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb	Cd
<b>Max</b>	120	68.9	0	186.5 8	54.42	0	191.6 2	263. 8	2.39	66.44	83	4.65
<b>Min</b>	11.8 4	15.71	0	18.32	10.08	0	67.6	77.1 2	0	58.76	29.98	0
<b>Moyenne</b>	69.0 4	44.08	0	98.67	33,15	0	115,49	154, 33	0,92	63,04	51,55	2,32
<b>1<sup>er</sup> Quartile</b>	39.5 3	32.67	0	45,84	46,78	0	98,99	111, 13	0	61,34	35,82	1,15
<b>Médiane</b>	72.1 6	45.86	0	89,48	31,1	0	105,29	158, 37	0,94	63,92	41,66	2,3
<b>3<sup>eme</sup> quartile</b>	101. 67	57.27	0	153,14	23,36	0	121,02	169, 32	2,09	65,18	62,33	3,48
<b>Ecartype</b>	48.2 5	22.66	0	70,76	17,82	0	41,75	65,6 3	1,19	3,91	27,86	2,33