

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf :.....

## Centre Universitaire

Abdelhafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et de la Technologie  
Département de Science de la Nature et de la Vie

**Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de Master**  
**en : Filière : Sciences biologiques**

**Spécialité : Biologie Appliqué et Environnement : Gestion et Fonctionnement des Écosystèmes**  
**Aquatiques et Forestiers**

# Thème

## Evaluation de la pollution métallique par le cadmium des sédiments de l'Oued Rhumel

**Préparé par :**

 **CHEMAME Salima**  
 **NEHILA Iméne**

**Soutenue devant le jury :**

- **Président : Harrieche Ouahiba**  
- **Examineur : Kherief N Saliha**  
- **Promoteur : Djeddi Hamssa**

**Grade : Maître assistant A**  
**Grade : Maître assistant A**  
**Grade : Maître assistant A**

**Année universitaire : 2014/2015**

## *Remerciements*

*Nous remercions dieu tout puissant de nous avoir donné santé, courage, volonté et patience pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos très grandes gratitude à Mm Djeddi Hamssa. Pour nous avoir accepté de le diriger du début à la fin. Nous la remercions sincèrement pour ses précieux conseils.*

*Ses encouragements, disponibilité, sa patience, qu'elle nous a consacrés, la correction minutieuse et tous les efforts qu'elle a fournis pour le bon aboutissement de ce travail.*

*Nous tenons à remercier la Présidente du jury, Madame HARRICHE Ouahiba, pour l'honneur qu'il nous a fait en présidant le jury. KHERIEF N Salihia, pour avoir accepté d'examiner, et qui tout au long de ces années a été d'une très grande disponibilité. Nous la remercions pour son suivi, les idées scientifiques et les précieux conseils.*

*Tout le personnel pédagogique et administratif de l'université de Mila, en particulier : BOUZEGAG A et Mr BOULBANDIR A, Mr KALAB R BOUAROUDJ S, Mr BOUNAMOUSSE A et tous les enseignants de sciences de la nature et de la vie*

*Nos remerciements vont aussi à tous les personnels du laboratoire pédagogique du département de biologie de l'université Constantine et de Mila, qui dans ses meilleures conditions ont mis à notre disposition tous le matériel nécessaire.*

*Nos remerciements vont également à NEHILA Med S, NAMOUSE N, BOUDRAA Net le Pharmacien BOUAROUGJ M pour ces aides précieuses.*

*Nos remerciements à tous ceux qui ont contribué techniquement ou moralement à l'aboutissement de ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail*

*À ma très chère mère ; YAKOUTA pour sa compréhension et sa patience, pour tous ce qu'elle fait pour moi, je la remercie beaucoup très sincèrement pour ses encouragements, ses conseils, son écoute, sa patiente et son soutien, ainsi que pour toute sa grande compagnie ;*

*A mon fière père : MED SALAH pour enseigné de reconnaissance de l'immense bien que vous avez fait pour moi concernant mon éducation qui aboutit aujourd'hui a la réalisation de cette étude. Recevez à travers ce travail, toute ma gratitude et mes profonds sentiments ;*

*A Mon très cher mari, NOURADINE BOUDRAA pour son aide précieuse et sa persévérance tout longue de mon projet, pour ma donnée l'amour et le courage, ma gratitude et mes profondes sentiments; et sa grande Famille ; (sa mère DALOULA et son père FODIL) ;*

*À mes proches de mes frères IMEDE, HAMZA et ses epouses, et surtout bien HOUCINE et INAS ;*

*A mes sœurs SELMA, MERIEM, AHLEM, LINA et ses enfants ANIS, RETADJ, ELHASSAN et ELHOUCIENE, ARIDJ, KATRE ELNADA, SIRRINE et NOUR ELHOUDA ;*

*À toute la famille mes tontes et mes oncles, mes cousin Belkisse, Manar, Asma, Amani, et chacun son nom ;*

*À tous mes amis, Salima, Yassmina, Yakota, Widad, Noura, Souad, Ahlem, ChAhinez, à tous mes collègues ;*

*À tous mes chers enseignants qui ont enseigné moi.*

*A tous ceux qui me sont chers.*

**IMENE**

*Je dédie ce travail*

*A la mémoire de ma très chère mère, HASSINA pour tous ce qu'elle fait pour moi, je la remercie beaucoup très sincèrement pour m'avoir donné la vie et la joie de vivre, sa patience et sa soutien et ses conseils. Que dieu le tous puissant t'accord son paradis éternel, je t'aime maman, tu ma manque ;*

*A mon cher père MOHAMED qui a été toujours là pour moi, et qui mon donné un immense soutien au cours de mes années d'études et son épouse ;*

*A mon chère marie NINO pour ma donner l'amoure et le courage pour son aide et son soutien, pour tous ce qu'il fait pour moi, recevez à travers ce travail, toute mes remerciements, ma gratitude et mes profonds sentiments. et Pour tous son familles ;*

*A mes chers sœurs MERIEM et DOUNIA pour m'encouragé et m'aidé pour terminer ce travail et YASSMINE ;*

*A mes chères frères OMAR et YUCEF;*

*A toute ma famille, surtout ma chère grands mère, à la mémoire de mes grands-pères, tente Aïsha, Houria, Fouzia, Nadjet, Meriem, Farah Ghada et surtout oncle Sebtí et s'épouse tente Naïma ;*

*A mes proches amies d'enfance Hassna et Fatíha ;*

*A mes amies Iméne, Samia, Khoukha, Rokia, Rima, Nadjet, Ibtissem, Ahlem Chahinez, Hanan et Asma;*

*A mes colléges surtout Hindé et Lynda ;*

*Et à tous ce qui ont enseigné moi au long de ma vie scolaire;*

*A tous ceux qui m'aiment.*

**SALIMA**



*Illustration*

**ANOVA:** Analyse de la variance a un critère de classification

**ACP:** Teste de l'analyse en composantes principale.

**µm:** micromètre.

**µs/cm:** micro-sémince par centimètres.

**CaCO<sub>3</sub>:** Carbonate.

**Cd:** Cadmium.

**CE :** Conductivité électrique.

**Cm:** Centimeter.

**Cm<sup>2</sup>:** Centimeter carries.

**CO<sub>2</sub>:** Dioxyde de Carbone.

**Cr:** Crome.

**CT :** Calcaire total.

**Cu :** Cuivre.

**DBO<sub>5</sub> :** Demande biochimique en oxygène.

**DCO :** Demande chimique en oxygène.

**ETM :** Eléments traces métallique.

**g/l :** Gramme par litre.

**h:** Hectare.

**H:** Hydrogène.

**H<sub>2</sub>O:** Molécule d'eau.

**H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> :** Ions hydroniums.

**HCl:** Acide chlorhydrique.

**Hg :** Le mercure.

**Hm:** Hectomètre.

**IB :** Indice biotique selon Verneaux et Tuffery (1967).

**IBD :** Indice biologique diatomique.

**IBGN :** Indice biologique global normalisé.

**IBMR** : Indice biologique macrophytique en rivière.

**IOBS** : Indice oligochète de bioindication des sédiments.

**IPR** : Indice poissons rivière.

**K<sup>+</sup>** : Potassium

**Km**: kilomètre

**MES** : Matières en suspension.

**Mg** : Magnésium.

**ml**: millilitre

**mm** : millimètre.

**Mn** : Le manganèse.

**MO**: Matières organiques.

**Na<sup>+</sup>** : Sodium

**Ni** : Le nickel.

**O<sub>2</sub>**: Oxygène dissous.

**OMS** : Organisation mondiale de la santé.

**P** : Probabilité.

**Pb** : Le plomb.

**pH**: Potentiel hydrogène.

**PPB** : poids par billion.

**PPM** : poids par million.

**T**: Température.

**Zn** : Zinc.

<b>Tableau 1 :</b> Conséquence et effets des différentes pollutions.	5
<b>Tableau 2 :</b> l'augmentation des métaux des années 1980 à celle des années 1990.	8
<b>Tableau 3 :</b> Classes d'aptitude à la biologie de cour d'eau et autres usage hors la production d'eau potable.	20
<b>Tableau 4 :</b> Les principaux indices biologiques utilisés.	25
<b>Tableau 5 :</b> Niveau trophique de l'eau selon l'IBMR.	26
<b>Tableau 6 :</b> Les valeurs de l'indice biologique Global Normalisé (IBGN).	30
<b>Tableau 7 :</b> Stations pluviométriques sur le bassin du kébir-Rhumel.	39
<b>Tableau 8 :</b> Données pluviométriques de la région de Constantine.	41
<b>Tableau 9:</b> Température moyenne mensuelle en °C.	41
<b>Tableau 10 :</b> Assainissement des eaux usées urbaines dans le bassin du Kébir-Rhumel	44
<b>Tableau 11:</b> Calendrier des prélèvements.	54
<b>Tableau 12:</b> Etapes et conditions d'extraction des éléments traces métalliques.	55
<b>Tableau 13:</b> Les teneurs certifiées en ETM dans les sédiments du lac Canadien.	55
<b>Tableau 14:</b> Gammes d'étalonnages de cadmium.	56
<b>Tableau 15:</b> Limites de détermination des unités systématiques.	59
<b>Tableau 16 :</b> Tableau standard de Tuffery et Verneaux (1982).	61
<b>Tableau 17 :</b> Valeurs de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique des invertébrés aquatiques.	63
<b>Tableau 18 :</b> Résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau.	64
<b>Tableau 19:</b> Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température.	66
<b>Tableau 20:</b> Aptitude à la biologie en fonction du pH.	68

<b>Tableau 21:</b> Aptitude à la biologie en fonction de l'oxygène dissous.	71
<b>Tableau 22 :</b> Résultats des paramètres physico-chimiques des sédiments.	71
<b>Tableau 23:</b> La grille de qualité pour les sédiments (IFREMER, (pour le COT).	76
<b>Tableau 24:</b> Limites à ne pas dépasser pour le cadmium suivant les normes.	79
<b>Tableau 25 :</b> Micropolluants minéraux sur les sédiments (unité : $\mu\text{g/g} = \text{mg/kg}$ ).	79
<b>Tableau 25:</b> Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, des sédiments et de cadmium.	79
<b>Tableau 26:</b> Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, des sédiments et de cadmium.	80
<b>Tableau 27:</b> Liste des macro-invertébrées récoltées et calcul de l'indice biotiques de l'oued Rhumel.	87

<b>Figure 1 :</b> Schéma conceptuel des principales interactions d'un métal avec les constituants d'un écosystème aquatique.	7
<b>Figure 2 :</b> voies de transfert des métaux résultant des activités humaines.	15
<b>Figure 3 :</b> Diagramme de transfert des métaux.	18
<b>Figure 4 :</b> Quelques exemples de diatomées.	26
<b>Figure 5 :</b> Quelques exemples de macro-invertébrés benthiques.	29
<b>Figure 6 :</b> Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kébir.	33
<b>Figure 7:</b> Les grands domaines hydrogéologiques du Kébir-Rhumel.	35
<b>Figure 8 :</b> Principaux oueds du bassin versant Kebir-Rhumel (longueur > 10 km).	36
<b>Figure 9 :</b> Profil en long de l'oued Kébir-Rhumel.	37
<b>Figure 10 :</b> Stations pluviométriques sur le bassin du kébir - Rhumel.	40
<b>Figure 11:</b> Carte des principales agglomérations dans le bassin du Kébir- Rhumel.	42
<b>Figure 12 :</b> Carte des principaux barrages du bassin du Kébir-Rhumel.	43
<b>Figure 13 :</b> carte des rejets industriels dans le bassin versant kébir – Rhumel.	46
<b>Figure 14:</b> Site d'étude et localisation des stations de prélèvement.	47
<b>Figure 15:</b> La première station (RH1) en amont de l'oued Rhumel.	48
<b>Figure 16:</b> La deuxième station (RH2) en aval de l'oued Rhumel	48
<b>Figure 17:</b> Schéma représentant la stratégie de prélèvement.	51
<b>Figure 18:</b> photo de calcimètre de Bernard.	53
<b>Figure 19:</b> Schéma conceptuel du protocole d'extraction des ETM dans les sédiments.	56
<b>Figure 20:</b> Variations spatiotemporelle thermiques de l'oued Rhumel.	65
<b>Figure 21:</b> Variations spatiotemporelle du pH de l'oued Rhumel.	67
<b>Figure 22:</b> Variations spatiotemporelle de la conductivité électrique de l'oued Rhumel.	68

<b>Figure 23:</b> Variations spatiotemporelle de l'oxygène dissous de l'oued Rhumel.	70
<b>Figure 24:</b> Variations spatiotemporelle de pH des sédiments de l'oued Rhumel.	72
<b>Figure 25:</b> Variations spatiotemporelle de la conductivité des sédiments de l'oued-Rh.	74
<b>Figure 26:</b> Variations spatiotemporelle de CT des sédiments de l'oued Rhumel.	75
<b>Figure 27:</b> variation spatiotemporelle de la matière organique des sédiments.	77
<b>Figure 28:</b> Teneur en cadmium des sédiments (ppm).	78
<b>Figure 29:</b> ACP des caractéristiques physico-chimiques (Eau, sédiments et cadmium)	
Cercle de corrélations et projection des variables.	82
<b>Figure 30:</b> Variation spatiotemporelle de l'IB et l'IBGN d'oued Rhumel.	86

**Remerciements**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Introduction**

**Chapitre I : Généralités sur la pollution et les éléments traces métalliques**

I.1. Introduction	3
I.2. Origine de la pollution	4
I.2.1. Pollution organique	4
I.2.2. Pollution chimique	4
I.3. Le compartiment sédiments	6
I.3.1. Origine des sédiments	6
I.3.2. Composition des sédiments	7
I.4. Pollution des milieux aquatiques par les éléments traces métalliques	8
I.4.1. Les éléments traces métalliques et leurs caractéristiques physico-chimiques	9
I.4.1.1. Définition générale des éléments traces métalliques	9
I.4.2. Origine des ETM dans les écosystèmes aquatiques	14
I.4.3. Toxicité des ETM vis-à-vis de la vie aquatique	16

**Chapitre II. L'évaluation de la qualité de l'eau**

II.1. L'évaluation de l'état écologique des eaux	19
II.2. Les Paramètres physico-chimique	20
II.2.1. Température (T°C)	21
II.2.2. Potentiel hydrogène (pH)	21

II.2.3. Conductivité électrique (CE)	22
II.2.4. Matières en suspension (MES)	22
II.2.5. Oxygène dissous (O <sub>2</sub> )	23
II.2.6. Charge en matière organique(MO)	23
II.3. Les Paramètres biologiques	24
II.3.1. Les principaux types d'indices biologiques	24
II.3.1.1. Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)	25
II.3.1.2. Indice biologique diatomique (IBD)	26
II.3.1.3. Indice poissons rivière (IPR)	27
II.3.1.4. Indice biologique macro invertébrés	27
II.3.1.4.1. Les macro invertébrés benthiques en tant qu'indicateurs	28
II.3.1.4.2. Indice oligochète de bioindication des sédiments (IOBS)	29
II.3.1.4.3. Indice biologique global normalisé (IBGN)	30
II.3.1.4.4. L'indice biotique selon Verneaux et Tuffery (1967) (IB)	31

### **Chapitre III : Présentation de la zone d'étude**

III.1. Présentation de la zone d'étude	32
III.2. Situation géographique	32
III.3. Géologie et lithologie	33
III.4. Réseau hydrographique	34
III.5. Climatologie	38
III.5.1. Pluviométrie	39
III.5.2. Température	41
III.5.3. Vents	41
III.6. Socio économie	41

III.6.1. Population	42
III.6.2. Alimentation en eau potable des agglomérations	42
III.6.3. Barrages	42
III.6.4. Assainissement	43
III.6.5. Agriculture	44
III.6.5.1. Engrais	45
III.6.5.2. Pesticides	45
III.6.6. Industrie	45

#### **Chapitre IV: Matériel et méthodes**

IV.1. Choix et localisation des stations de prélèvements	47
IV.2. Calendrier des prélèvements	49
IV.3. Compartiments eaux	49
IV.3.1. Mesures physico – chimiques	49
IV.3.1.1. Température	49
IV.3.1.2. Potentiel hydrogène	49
IV.3.1.3. Conductivité électrique	50
IV.3.1.4. Oxygène dissous	50
IV.4. Compartiments sédiments	51
IV.4.1. Stratégie de prélèvement	51
IV.4.2. Mode de prélèvement et traitement des sédiments	51
IV.4.3. Préparation des échantillons	52
IV.4.4. Paramètres physico-chimiques	52
IV.4.4.1. Potentiel hydrogène (pH)	52
IV.4.4.2. Conductivité électrique (CE)	53

IV.4.4.3. Calcaire total (CT)	53
IV.4.4.4. Matière organique (MO)	54
IV.4.5. Analyses des métaux lourds	54
IV.4.5.1. Extraction des ETM	54
IV.4.5.2. Dosage de cadmium	55
IV.4.5.3. Principe de la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique	56
IV.5. Traitement des résultats	56
IV.5.1. L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA)	57
IV.5.2 ACP	57
IV.6. Analyse Biologique	57
IV.6.1. Mode de prélèvement	57
IV.6.2. Traitement et conservation des échantillons	58
IV.6.3. Détermination des organismes	59
IV.6.4. Détermination de l'indice biotique (IB)	60
IV.6.5. Détermination de l'indice biotique (IBGN)	62

## **Chapitre V : résultats et discussions**

V.1. Mesures physico-chimiques	64
V.1.1. Compartiment «eau»	64
V.1.1.1. La température	65
V.1.1.2. Potentiel hydrogène (PH)	66
V.1.1.3. Conductivité électrique (CE)	68
V.1.1.4. Oxygène dissous O <sub>2</sub> .d	69
V.1.2. Compartiments «sédiment»	71
V.1.2.1. pH	71

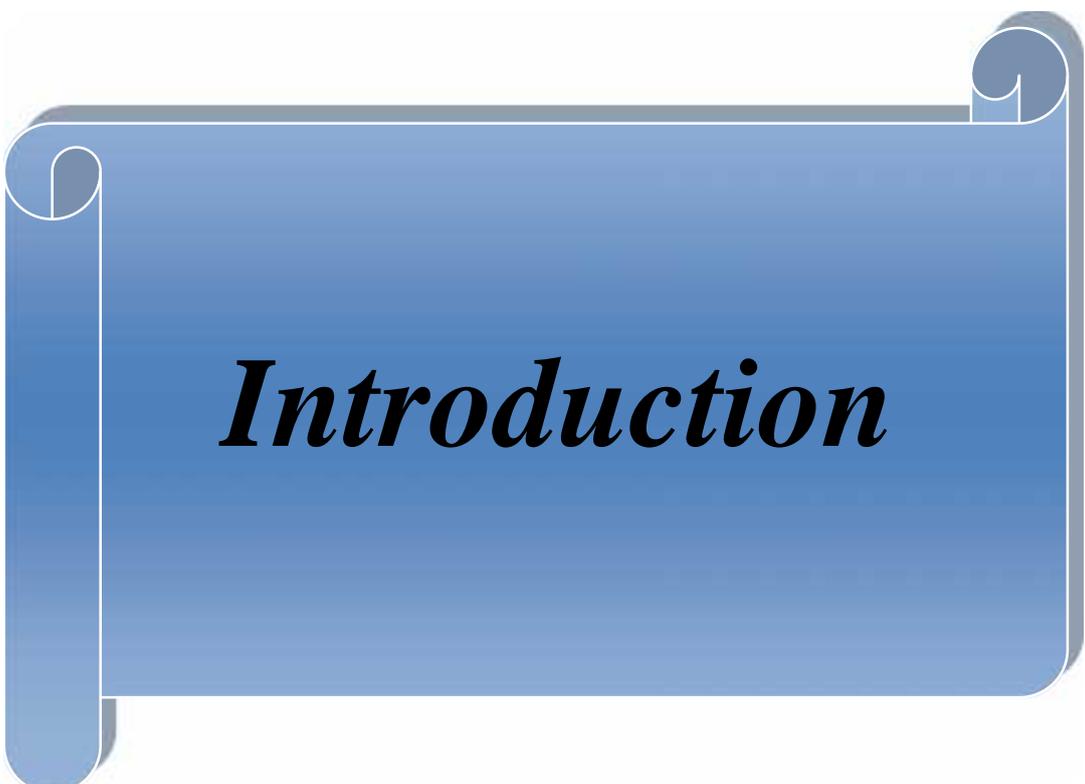
V.1.2.2. Conductivité électrique (CE)	73
V.1.2.3. Calcaire totale	74
V.1.2.4. Matière organique	76
V.1.2.5. Le cadmium	76
V.1.3. Résultats de l'ACP	80
V.2. Analyse biologique	83
V.2.1. L'indice biotique selon Verneaux et Tuffery (1967) (IB) et IBGN	85

**Conclusion**

**Références bibliographiques**

**Annexes**

**Résumé**



# *Introduction*

L'eau est une ressource naturelle dont la quelle se maintient la vie néanmoins, l'accroissement de la demande en eau dans le monde et les risques de pollution, mettent cette source en péril.

La pollution est une modification défavorable de l'équilibre naturel, elle est due à l'introduction de substances polluantes susceptibles de mettre en danger la vie des organismes vivants aussi bien aquatiques que terrestres.

Les sédiments réduisent la concentration des polluants dans l'eau de surface en faisant office de piège (Wang 1987) et constituent ainsi de précieux témoins de pollution récente et ancienne de l'eau de surface.

Les éléments traces métalliques, appelés communément métaux lourds, sont en réalité des constituants naturels de la croûte terrestre, qui peuvent se disséminer, notamment dans le milieu aquatique par divers phénomènes tels que l'érosion et les volcanismes. Certains écosystèmes sont naturellement riches en éléments traces métalliques. Cependant, d'autres peuvent être affectés suite à une contamination diffuse ou permanente.

Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le chrome, le plomb, le mercure, le zinc et le cadmium qui est l'élément de notre étude, très toxique sous toutes ses formes le cadmium est l'un des rares éléments n'ayant aucune fonction connue dans le corps humain ou chez l'animal. Dans les cours ces polluant se trouve notamment attacher aux particules des sédiments qui sont capable d'enregistrées toute forme de pollution d'une part et d'autre part jouent un rôle primordiale comme habitat de la faune aquatique dite macro-invertébrées.

La structure des communautés de macro-invertébrés benthiques sont souvent utilisées comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes des cours d'eau, pour fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail dont l'objectif principal est l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux et des sédiments superficiels ainsi que la contamination de ces derniers par le cadmium et d'autre part sur l'évaluation de la qualité biologique des eaux par le calcul de l'indice biotique.

Le présent travail va porter sur un cours d'eau très important dans le Constantinois « Oued-Rhumel » qui alimente le barrage Beni Haroun, dont les eaux sont destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie.

Hormis l'introduction et la conclusion, nous allons rendre compte du protocole expérimental réalisé. Notre investigation est consignée dans quatre chapitres : le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur des généralités de la pollution et les éléments traces métalliques.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude : localisation et description de la zone d'étude, situation géologique et climatologique. Le troisième chapitre présente le matériel utilisé, les méthodes d'analyses physico-chimiques, analyses des métaux lourds (le dosage du Cd) et d'analyse biologique qui sont parmi les outils qui peuvent être développés pour évaluer la qualité des eaux car les macro-invertébrés sont les plus utilisés puisqu'ils intègrent de façon continue à la diversité des processus physiques et chimiques.

Et en fin, avant de conclure ce travail, un dernier chapitre, est consacré à la présentation des résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés et déterminés avec une interprétation statistique approfondie, afin de mieux discuter les résultats et identifier les différentes corrélations entre les différentes variables étudiées.



***Chapitre I :***  
***Généralité sur la pollution***  
***et les éléments traces***  
***métalliques***

## **I.Généralités sur la pollution et les éléments traces métalliques**

### **I.1.Introduction**

L'organisation mondiale de santé(OMS) donne la définition suivante pour la pollution des milieux aquatiques : c'est«toute modification des propriétés chimique ,ou physique, ou biologique, ou tous rejet de substances liquides, gazeux, ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable de point de vue, soit de la santé, de la sécurité du bien être publique, soit de ses usages destinés a des fins domestiques, commerciales, industrielles, agricole, récréative et autre soit de la faune sauvage et aquatique»(Tirech, 2006).

Elle peut être défini également, comme la surexploitation des capacités d'autoépuration dumilieu naturel (Khaled,1995). En effet, pendant longtemps, les eaux souterraines étaient pures carle passage dans les roches poreuses joue un rôle de filtre et elles s'auto nettoient grâce aux bactériesaérobies et anaérobies. Mais, depuis quelques années, ces nappes sont touchées par la pollution carles bactéries ne parviennent plus à l'enrayer assez rapidement. Dans le cas des fleuves, des rivièreset des cours d'eau, si la source polluante est maitrisée, l'eau en mouvement se renouvelle et peutdonc se nettoyer (Khamar et al,2000).

La pollution résulte de l'introduction dans un milieu desubstances conduisant à son altération (Gaujous, 1995).

Actuellement, la pollution des eaux est devenue un phénomène universel qui menacegravement l'environnement et qui nécessite une lutte soutenue, car de nombreux produits agricoleset industriels sont de plus en plus responsables de l'apparition de cette forme de pollution.

Nous présenterons dans ce qui est ci-dessous les sources de cette forme de pollution enrelation avec sa nature (matière organique ou minérale) et ses effets sur les écosystèmes aquatiques.

## **I.2.Origine de la pollution**

### **I.2.1. Pollution organique**

La pollution organique de l'eau provenant des eaux domestiques et des industries agroalimentaires provoque une surconsommation de l'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique et peut entraîner par conséquent la mort de la vie aquatique (Chow-Toun, in Veyret,1997).

Cette forme de pollution constitue la fraction la plus importante. En effet, elle résulte de l'introduction dans le milieu de substances organiques provenant de diverses activités : industrielles(hydrocarbures), agricoles (engrais azotés et phosphatés) et domestiques (phosphates, matières fermentescibles) (Khaled, 1995).

Les matières organiques présentes dans les cours d'eau, ne sont pas des poisons.Cependant, les micro-organismes se nourrissent de ces substances et ils consommentl'oxygène dissous contenu dans l'eau. C'est ainsi qu'un excès de matières organiquesimplique une désoxygénation de l'eau et provoque la mort de poissons par asphyxie. Lamatière organique peut être à l'état libre ou en association plus ou moins étroite avec lesconstituants minéraux (Neto, 2007).

De ces faits, il s'en suit que la pollution organique au sein des écosystèmes aquatiques estimportante du point de vue impact, en fait, les effets de cette forme de pollution se prolongent plus en aval avec l'apparition des algues filamenteuses fixées pour les eaux vives, et un plancton trèsabondant dans les eaux lentes (Rodolph, 1990).

### **I.2.2.Pollution chimique**

La pollution minérale des eaux résulte de la libération dans ces dernières de divers métaux toxiques et de substances inorganiques telles les nitrates, les phosphates et autres sels minéraux nutritifs utilisés en agriculture comme fertilisant, enfin de divers résidus rejetés par la métallurgie et d'autres activités(Amira et al, 2012).

Elle peut être chronique, accidentelle ou diffuse. Elle a des origines diverses dues à :

- L'insuffisance de certaines stations d'épuration.
- L'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones.
- Le lessivage des sols, mais aussi des chaussés et des toits par les pluies.
- Le rejet d'effluents par les industries(Raven et al, 2009).

Le tableau suivant présente les conséquences et les effets de pollution :

**Tableau1** : Conséquence et effets des différentes pollutions (Boeglin, 2001).

Type de pollution	Conséquences sur la santé et l'environnement
<b>Pollution physique</b> Débris grossiers Matières non colloïdales Matières colloïdales Pollution thermique	Nuisances esthétiques Dépôt de sédiments Diminution de la photosynthèse Diminution de transferts d'oxygène
<b>Pollution chimique</b> Acidité ou basicité Oxydants ou séducteurs (Chromates, Cyanures, sulfures) Sels toxiques (Métaux lourds Cu, Zn, Pb...) Formes minérales de l'azote (Amonium, Nitrate, Nitrite) et du phosphore (phosphate)	Toxicité aigue entraînant une mortalité rapide Toxicité différée par la bioaccumulation (troubles du métabolisme des espèces) Eutrophisation surabondante d'algues, toxicité
<b>Pollution biologique</b> <b>Pollution de nature organique</b> Biodégradables Non biodégradables Formes organiques de l'azote (urée) et de phosphore Substances toxiques (phytosanitaire, hydrocarbures polycycliques aromatiques, composées phénolés)	Consommation de l'oxygène dissous (mortalité des poissons par asphyxie) Contamination des chaines trophiques. Eutrophisation (déséquilibre de l'écosystème, altération de la qualité de l'eau) Toxicité à long terme (troubles de la reproduction des espèces)
<b>Pollution Microbiologiques</b>	Présence de germes pathogènes et de virus dangereux pour l'homme et les animaux (épidémies)

### **I.3.Le compartiment sédiments**

Les sédiments plus que l'air ou l'eau, sont capables d'accumuler les polluants organiques et inorganiques. Les sources sont principalement agricoles, industrielles, minières ou urbaines. Dispersés par voie atmosphérique ou apportés sous forme d'engrais, de résidus ou de déchets solides ou liquides, les polluants peuvent être immobilisés dans le sédiment ou bien transiter vers les nappes phréatiques, les eaux superficielles, les plantes, les animaux et les hommes(Dali et al, 2005).

Il est important de rappeler que les polluants se repartissent entre les différents compartiments des sédiments :

On distingue deux phases principales qui sont l'eau interstitielle et les particules. Les liaisons entre micropolluants et particules sont de nature assez variée ou se forment des résidus non extractibles.

Les effets toxiques et donc les risques pour l'écosystème découlent d'une manière ou d'une autre de cette répartition des micropolluants entre les phases du sédiment (Bahut etAlzieu, 2003).

Le sédiment, compartiment important de l'écosystème aquatique, sert d'habitat et de source de nourriture pour de nombreuses espèces écologiquement et économiquement importantes. Les dépôts sédimentaires littoraux se forment à l'interface des zones continentales et marines. Ils constituent les réservoirs ultimes pour de nombreux composés chimiques (Chapman et al, 1998).

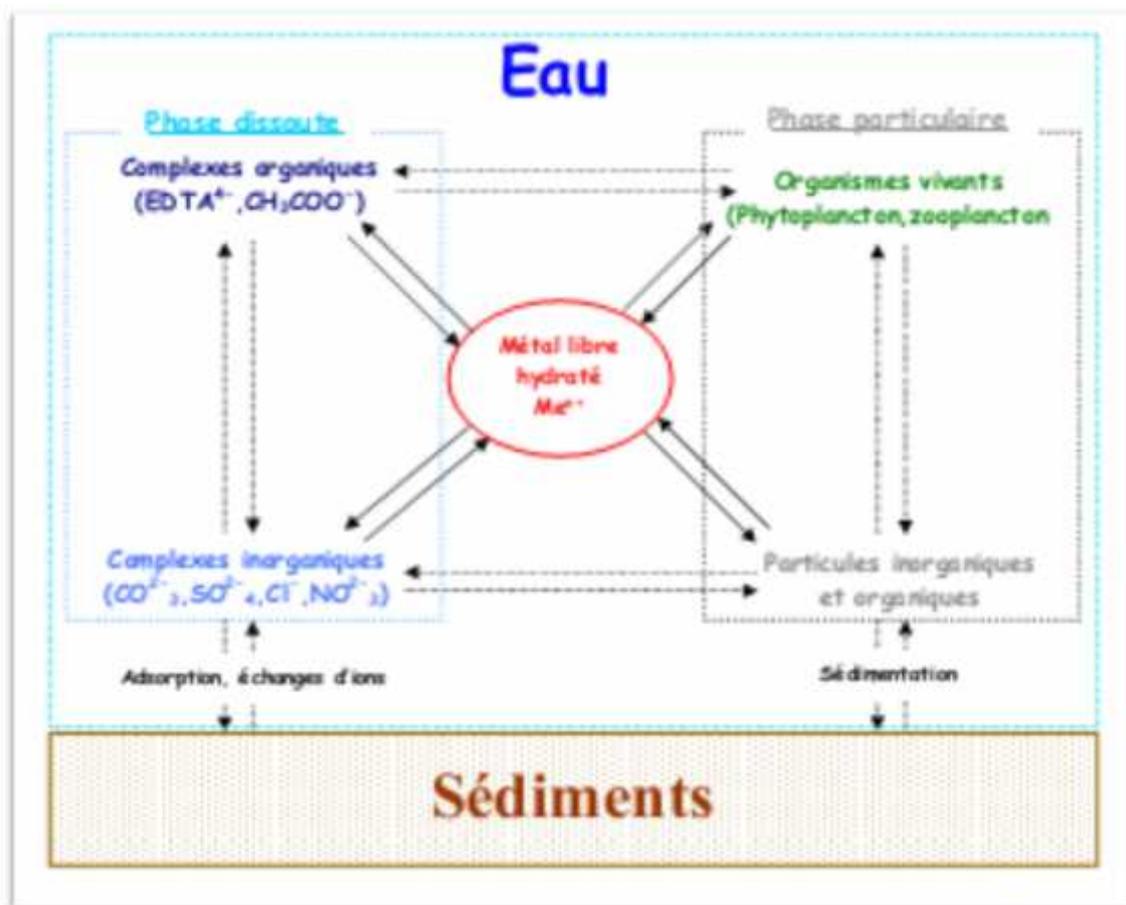
#### **I.3.1.Origine des sédiments**

Les sédiments ont principalement deux origines: endogène et exogène. L'origine endogène de la sédimentation provient de la production autochtone du milieu. Cette production primaire engendre des débris de macrophytes tels que les plantes aquatiques et les cadavres de microphytes et d'animaux. Dans le cas de l'origine exogène, les sédiments sont issus du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère. Cet apport peut être d'origine naturelle ou anthropique (Ramaroson,2008).

### I.3.2. Composition des sédiments

Le sédiment présente principalement 3 composantes :

- **Eau interstitielle** : correspond à l'eau qui occupe l'espace entre les particules sédimentaires et représente une fraction importante du sédiment (Forstner et al,1986).
- **Phase inorganique** : Elle est formée de minéraux provenant de l'érosion de l'écorce terrestre et de débris coquilliers. Composée principalement d'argiles, de carbonates et de silicates.
- **Phase organique** : Elle n'occupe qu'un faible volume du sédiment (quelques %) et régule la biodisponibilité d'un grand nombre de contaminants (Rahal,2012).



**Figure 1** : Schéma conceptuel des principales interactions d'un métal avec les constituants d'un écosystème aquatique (Buffle,1988).

#### I.4. Pollution des milieux aquatiques par les éléments traces métalliques

Les métaux lourds sont présents naturellement dans l'environnement et sont utilisés industriellement. Cependant, à des concentrations plus élevées que la normale, ils peuvent entraîner des nuisances plus ou moins graves pour l'être humain, la faune et la flore (CAPM, 2014).

Les organismes vivants exercent une sélectivité à l'égard de la charge métallique de leur corps. Les éléments Na, K, Mg et Ca sont présents en grande quantité car ils ont un rôle essentiel dans les fonctions métaboliques (éléments majeurs) alors que d'autres métaux sont présents en beaucoup plus faibles concentrations (oligo-éléments) (Rahal, 2012).

La problématique même des métaux et des métaux lourds en particulier repose sur le fait qu'ils sont très utiles, voire indispensables à l'homme. En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d'une grande variété de produits, et se retrouvent à de nombreux niveaux: métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc. Il semble donc assez difficile de s'en passer et de les substituer.

D'ailleurs, comme le montre le tableau suivant, leur production est en augmentation par rapport à celle des années 1980 (SPIN, 1997).

**Tableau 2** : l'augmentation des métaux des années 1980 à celle des années 1990.

<b>Production mondiale (en milliers de tonnes)</b>	<b>Arsenic</b>	<b>Cadmium</b>	<b>Chrome</b>	<b>Mercure</b>	<b>Plomb</b>
<b>dans les années 80</b>	–	16	4000	7	3400
<b>dans les années 90</b>	50.1	18.882	12393	1984	8013

### I.4.1. Les éléments traces métalliques et leurs caractéristiques physico-chimiques

#### I.4.1.1. Définition générale des éléments traces métalliques

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

- tout métal ayant une densité supérieure à 5,
- tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ( $Z=11$ ),
- tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds sont associés aux notions de pollution et de toxicité. Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et/ou pour l'homme.

Dès lors que l'on aborde la problématique des métaux lourds, il faut avoir présent à l'esprit que ces éléments se retrouvent dans notre environnement quotidien sous des formes chimiques très diverses, pouvant chacune conférer une propriété particulière (solubilité, toxicité...) au métal étudié. En effet, à côté des formes minérales les plus simples (exemple :  $Pb^{2+}$ ), les métaux lourds peuvent aussi exister sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le plomb tétraéthyl des essences) mais aussi sous forme de complexes (exemple : le salicylate de plomb, provenant de la complexation du plomb avec une substance humique des sols) ou encore sous forme de chélates (exemple : complexe de plomb-EDTA) (SPIN, 1997).

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal, dotée d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie, l'orfèvrerie...etc. On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par  $cm^3$  (Senat, 2009).

Les éléments traces sont les 80 éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0.1 % (Baize, 1997).

Certains des éléments traces sont des métaux (ETM) (Cd, Cr, Zn, Cu, Pb...), présents en très faibles quantités dans le sol, l'eau, l'air et les êtres vivants. C'est pour cela qu'on les qualifie parfois de métaux à l'état de traces ou d'oligo-éléments. Certains de ces éléments métalliques sont essentiels à l'homme en quantité infime, notamment le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc, le cobalt, l'iode, le molybdène, le sélénium, le chrome et l'étain.

Pendant, tous sont toxiques et quelques uns sont même cancérigènes à hautes concentrations. La contamination des eaux de surface et des sols par les métaux lourds croit de plus en plus avec le temps. Les métaux lourds ne sont pas biodégradables et la pollution de ces milieux est essentiellement liée à l'activité humaine. Ils sont toxiques même à faible concentration et ont la capacité de s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire. La majorité de ces éléments est toxique à forte concentration, mais certains d'entre eux sont très toxiques même lorsqu'ils sont en traces comme les ions  $Pb^{2+}$  et  $Cr^{6+}$ . Par conséquent, il est recommandé de réduire ou d'éliminer totalement ces polluants des écosystèmes (Zerki, 2013).

### **1. Le Zinc (Zn)**

Le zinc, dernier élément de la première série de transition de la classification périodique des éléments, de masse atomique 65,37 g/mol. Son numéro atomique est de l'ordre de 30. Le zinc est présent sous l'état d'oxydation (+2) dans le milieu naturel (Sahli, 2012).

Les sources naturelles de zinc dans l'environnement sont l'altération de roches (56%), le volcanisme (22%) et la végétation (Phelan et al, 1982).

Cependant, (Nriagu, 1996) a calculé que ces sources naturelles ne représentent qu'environ 7% des émissions totales de cet élément dans l'environnement, étant donné que la production et le traitement de minerai et les activités industrielles représenteraient 75% et 18% respectivement, des émissions du Zn dans le milieu naturel.

Il est assez présent dans la croûte terrestre, on ne le trouve pas à l'état libre dans lanature, mais sous forme d'oxyde de zinc (ZnO), de silicates (2ZnO, SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O), de carbonates de zinc (ZnCO<sub>3</sub>)...etc. A l'état pur le zinc est un métal cristallin, insoluble dans l'eau. Son origine artificiel ne peut être qu'industrielle.

Il est principalement utilisé comme revêtement protecteur anti-corrosif des aciers, on le trouve également dans les plaques des piles électriques sèches et il est utilisé dans le traitement des eaux industrielles(Belabed, 2006).

Il est aussi utilisé en agriculture, comme apport d'oligo-élément, essentiellement en zone de sols fortement calcaires. La culture la plus sensible à la carence ou l'insuffisance en zinc est probablement le maïs. Des symptômes d'insuffisance apparaissent aussi sur la plupart des arbres fruitiers. Les apports, préventifs ou curatifs, se font sur le sol ou par pulvérisation foliaire. Pour exemple, les besoins annuels pour le maïs se situent autour de 300 à 500 grammes de zinc par hectare (Salvarredy, 2008).

## **2. Le Cadmium (Cd)**

Le cadmium est un élément chimique de symbole Cd et de numéro atomique 48 (Mahan,1987). C'est un métal blanc, mou et malléable. Il ternit au contact de l'air (Callender, 2003). Il n'existe pas à l'état natif. Son minerai, la greenockite, est très rare et inexploité (Hurlbut etKlein, 1982).

Il est un métal de transition, sa masse atomique est de 112,4 g/mol. Dans la nature, le cadmium se trouve sous la forme oxydée (+2) de manière stable. La forme la plus fréquente est le sulfure de cadmium (Cds), mais on le trouve également sous forme d'hydroxydes ou formant des complexes avec les ions ammonium et cyanides(Adriano, 2001).

Le cadmium a été abondamment utilisé dans des utilisations diffuses pour protéger l'acier contre la corrosion (cadmiage), ou comme stabilisant pour les plastiques et les pigments(Miquel,2001).

Sa toxicité est connue depuis les années 50. Très toxique sous toutes ses formes (métal, vapeur, sels, composés organiques), le cadmium est l'un des rares éléments n'ayant aucune fonction connue dans le corps humain ou chez l'animal. Il faut éviter son contact avec des aliments. Chez l'Homme, il provoque notamment des problèmes rénaux et l'augmentation de la tension (Plumlee et Ziegler, 2003).

Les effets toxiques du Cd ne le sont pas seulement pour l'homme, mais aussi pour les végétaux et les animaux (Benito et al, 1999).

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

Le chrome, métal de transition est le septième élément le plus abondant sur terre. Avec une masse atomique de 51,99 g/mol et un numéro atomique de l'ordre de 24. Presque tout le chrome trouvé dans les roches formant la croûte terrestre est trivalent bien que le chrome puisse prendre neuf états d'oxydation différents. Le minerai le plus important est la chromite ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ )(Sahli, 2012).

On le trouve également sous la forme de ferrochrome, utilisé pour la production d'aciers inoxydables et d'alliages divers. Le chrome est également employé comme pigment pour la peinture, le caoutchouc, le papier, l'encre d'imprimerie, ou encore pour le tannage des peaux. Réalisé industriellement depuis 1920, le chromage est utilisé pour donner un aspect décoratif et assurer une bonne résistance à la corrosion atmosphérique (Tirech, 2006).

### **4. Le cuivre (Cu)**

Le Cuivre a une masse atomique de 63,55 g/mol et un numéro atomique de 29. Dans la nature, il se trouve sous deux états d'oxydation : le cuivre (+1) et le cuivre (+2). Il existe également une forme instable de cuivre (+3)(Sahli, 2012).

La toxicité vis-à-vis des organismes marins dépend de la forme chimique du cuivre et de son état d'oxydation. Cet élément trace entre dans la composition de nombreux produits phytosanitaires, il se retrouve par conséquent dans le milieu marin et est à l'origine de perturbations au niveau des espèces (Nakhlé, 2005).

Le cuivre dans les écosystèmes côtiers provient essentiellement du rejet des eaux usées urbaines et industrielles (métallurgie, chimie) et du lessivage des sols agricoles. Le cuivre est bio disponible pour les organismes sous le degré d'oxydation (I) ou (II), à partir de sels inorganiques ou de complexes organiques (Rahal, 2012).

### **5. Le mercure (Hg)**

Le mercure est un élément chalcophile de la troisième série de transition. Il possède trois degrés d'oxydation : 0, +I et +II et dans l'environnement, il est présent sous forme dissoute dans les eaux minérales et gazeuses. Dans la croûte terrestre, la concentration en Hg est de l'ordre de 50-150  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Wedepohl, 1995).

Principalement sous forme de minerai de sulfure de mercure  $\text{HgS}$  (cinabre). Il est souvent rencontré dans les zones supérieures des gisements de soufre, où il est le plus souvent associé à la marcassite ( $\text{FeS}_2$ ). Dans les sols et les sédiments, l'Hg se concentre principalement dans la fraction fine en se liant avec les argiles, les hydroxydes de Fe ou la matière organique (Zerki, 2013).

### **6. Le manganèse (Mn)**

Le manganèse a un numéro atomique de l'ordre de 25 et une masse atomique de 54,93 g/mol. Le manganèse est souvent associé à des minerais de fer. La pyrolusite ( $\text{MnO}_2$ ), Psilomélane ( $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), Hausmannite ( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ), Rhodochrosite ( $\text{MnCO}_3$ ), Rhodonite ( $\text{MnSiO}_3$ ) sont les principaux minerais de manganèse (Sahli, 2012).

Le manganèse est connu depuis la préhistoire. Des peintures de plus de 17000 ans utilisent l'oxyde de manganèse comme pigment. Les Égyptiens et les Romains utilisaient des composés de manganèse dans la fabrication du verre pour le colorer. Vers le début du XIXe siècle, des scientifiques commencèrent à étudier l'utilisation du manganèse dans la fabrication de l'acier. Étant donné que c'est un micronutrient il est souvent trouvé dans la composition des engrais (Salvarredy, 2008).

### **7. Le nickel (Ni)**

Le nickel a une masse atomique de l'ordre de 58,69 g/mol et un numéro atomique de l'ordre de 28. Le nickel est présent sous les états d'oxydation -1, 0, +1, +2, +3 et +4, mais son état de valence le plus courant dans l'environnement est Ni (+2) (INERIS, 2004).

Il trouve une large gamme d'utilisation dans le domaine industriel. Une grande partie de la consommation de Ni sert à la production d'alliages avec le cuivre, le fer, le manganèse, le zinc, le chrome, le molybdène. L'acier inoxydable contient de 3 à 35 % de Ni et les alliages cuivre-nickel contiennent environ 70% de Ni (Belabed, 2010).

### **8. Le plomb (Pb)**

Le plomb a une masse atomique de 207,2 g/mol et un numéro atomique de 82. Dans la nature, il se trouve sous les degrés d'oxydation (+2) et (+4). Les espèces inorganiques sont le plus souvent sous l'état (+2), alors que le degré d'oxydation (+4) se rencontre dans les composés organiques (Adriano, 2001).

Pendant la première moitié du siècle, le plomb a été utilisé dans l'industrie, l'imprimerie et les peintures. Dans la seconde moitié du siècle, l'utilisation dominante était liée aux carburants automobiles, le plomb étant ajouté à l'essence comme antidétonant. Cette utilisation est aujourd'hui prohibée(Miquel,2001).

#### **I.4.2.Origine des ETM dans les écosystèmes aquatiques**

##### **I.4.2.1.Apports telluriques naturels**

Tous les métaux lourds sont une part constituante naturelle de la croûte terrestre et sont donc toujours présents dans le sol, dans l'eau souterraine et dans l'eau de surface. Les concentrations naturelles dans le sol se situent généralement dans une plage de 1 à 100 mg/kg, mais des valeurs inférieures ou supérieures sont possibles pour certains métaux(Steketee,2010).

L'érosion de l'écorce terrestre est susceptible d'enrichir les cours d'eau en éléments traces métalliques. En tête des bassins, les roches sont altérées et désagrégées par l'action mécanique de l'érosion (agents météoriques) et par l'attaque des acides formés dans l'atmosphère (acide carbonique) ou issus de la décomposition de la matière organique (acides humiques). Les éléments traces métalliques fixés dans les roches sous forme d'oxydes ou de silicates sont peu altérables chimiquement contrairement à ceux qui sont présents sous forme de sulfures et carbonates qui sont attaqués chimiquement et sont très facilement dissous dans l'eau (INERIS, 2004).

##### **I.4.2.2.Apports anthropiques**

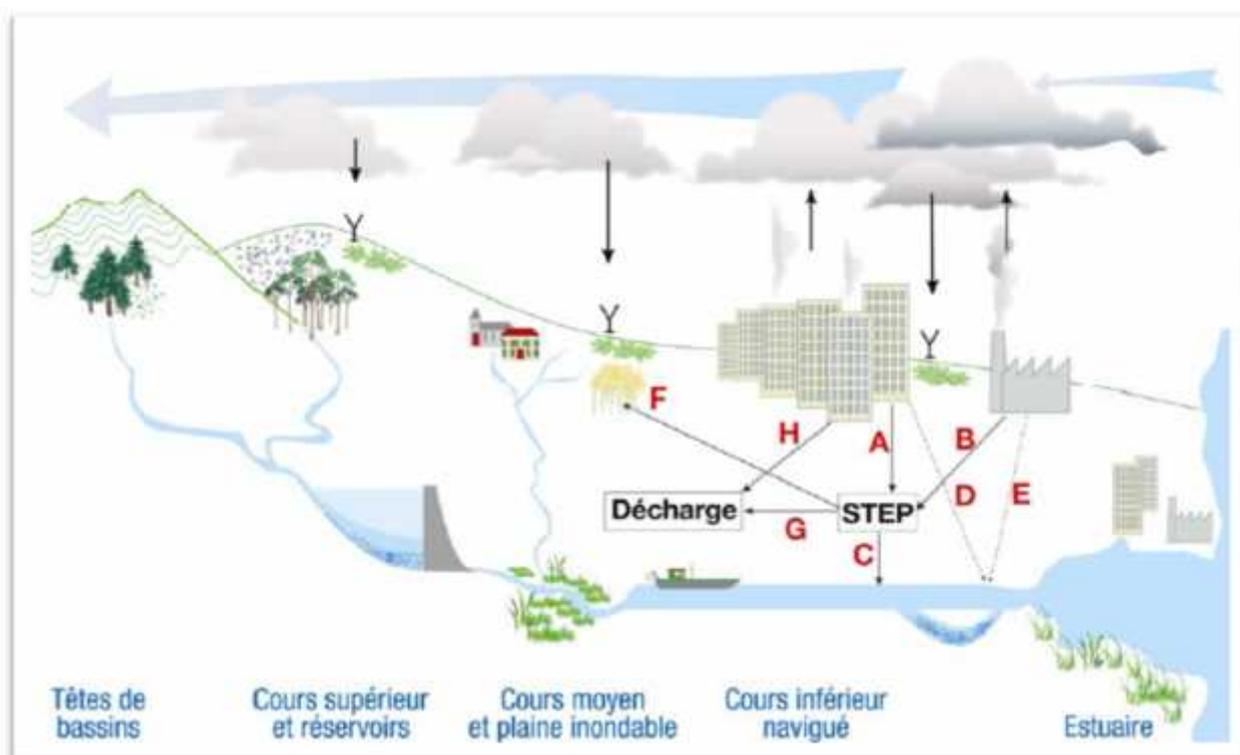
Du fait de leurs propriétés physiques intéressantes. Les métaux sont largement utilisés par l'homme. Cette utilisation modifie très significativement leur répartition et les formes chimiques sous lesquelles ils sont présents dans l'environnement(Miquel, 2001).

En raison de leurs propriétés physiques et chimiques telles que leur ductilité, leur malléabilité et leurs bonnes conductivités thermique et électrique, les métaux ont été et sont encore largement présents dans un grand nombre d'activités industrielles et domestiques. Par exemple, c'est pour sa ductilité que le plomb a été utilisé pour fabriquer des canalisations. En conséquence, les zones urbaines et industrielles sont des sources importantes d'ETM, pour l'environnement en général et pour les systèmes aquatiques en particulier. Ces ETM peuvent contaminer les milieux récepteurs aquatiques et terrestres selon différentes voies de transfert.(Thévenot et al,2009).

Certains engrais, fabriqués à partir de minerais riches en phosphates, peuvent aussi avoir de fortes concentrations en cadmium présent en impureté.

Les boues des stations d'épuration et les composés d'ordures ménagères utilisés pour amender les surfaces agricoles sont également susceptibles d'être contaminés par les métaux. D'autres activités agricoles sont également à l'origine d'une contamination de l'environnement. Le sulfate de cuivre est utilisé pour traiter les arbres fruitiers (Le Goff et Bonnomet, 2004).

Les principales sources anthropiques et leurs voies de transfert sont explicitées par la Figure ci-après.



**Figure 2:** voies de transfert des métaux résultant des activités humaines : eaux usées domestiques (A), industrielles (B), rejets d'eaux traitées par les stations d'épuration – STEP – (C), rejets directs d'eaux de ruissellement pluvial (D) et d'eaux usées industrielles (E), épandage agricole (F), ou mise en décharge des boues produites par les stations d'épuration (G) et des ordures ménagères (H) d'après (Thévenot et al, 2009).

### **I.4.3. Toxicité des ETM vis-à-vis de la vie aquatique**

Généralement, les formes les plus toxiques des métaux sont les formes dissoutes, et en particulier l'ion libre qui est souvent considéré comme la forme la plus biodisponible (Chagner, 2013).

Les éléments traces, présents sous une forme particulière dans les sols apparaissent sous l'effet de l'érosion. Le ruissellement sur les surfaces imperméables (sols, chaussée) ainsi que les sources anthropiques s'ajoutent à ces sources naturelles liées à l'érosion. L'eau est évidemment un élément particulièrement important pour les polluants en général et les métaux lourds en particulier car l'eau va entraîner des réactions chimiques liées à l'acidité, l'alcalinité, la température, l'oxygénation...etc. Les milieux aquatiques sont très sensibles aux éléments en traces par la coexistence de deux phénomènes de bioaccumulation et de biomagnification : les éléments en traces se concentrent au fur et à mesure des absorptions dans la chaîne alimentaire (eau → plancton → poisson → herbivore → poisson → homme...)(Brunet, 1993).

Les métaux lourds sont des micropolluants de nature à entraîner les nuisances même quand ils sont rejetés en quantités très faibles (leur toxicité se développe par bioaccumulation). D'ailleurs, de petites quantités en proportion (mesurées en microgrammes par litre) sont souvent compensées par un effet volume compte tenu de l'importance des débits d'eau. L'industrie est responsable de la quasi totalité des rejets de métaux lourds dans l'eau. La nécessité de réduire ces rejets n'est plus discutée (Miquel, 2001).

Généralement le comportement d'un métal dans un écosystème aquatique dépend des conditions physico-chimiques du milieu (Gilbin, 2001). Chez les algues, comme chez les autres organismes, on distingue deux types d'accumulation : l'adsorption et l'internalisation. Le premier phénomène s'exprime par la fixation du métal sur les parois des membranes cellulaires (polysaccharides, peptidoglycanes, etc.) alors que le second fait intervenir des protéines facilitant le transport membranaire (Le Goff et Bonnomet, 2004).

L'adsorption des métaux sur les parois cellulaires des algues peut intervenir par attraction électrostatique. Avec une augmentation du pH, les parois cellulaires des algues, constituées de groupements donneurs de protons (acide polygalacturonique ou pectine, polyacétylglucosamine - chitine, cellulose, polysaccharides, etc.) peuvent se charger négativement et ainsi fixer les ions métalliques et des complexes métalliques chargés positivement (Chaguer, 2013).

(Crist et al, 1990) ont identifié deux processus de protonation des parois cellulaires des algues lors d'une diminution de pH: l'un rapide correspondant à la neutralisation des sites anioniques tels que les carboxylates et l'autre, plus lent, correspondant au relargage du métal et son remplacement par les ions hydronium.

Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance. Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : chlorose foliaire, importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage (Esteban, 2006).

Les poissons sont des capteurs de polluants en général et de mercure en particulier. Les poissons sont la source principale de méthylmercure pour l'homme. 80 % du méthylmercure se trouvent dans les poissons, 10 % dans l'eau et 10 % dans les autres éléments. Enfin, les intoxications les plus importantes et les plus graves ont souvent été liées à la consommation de poisson (Miquel, 2001).

Les métaux lourds, dans les eaux de surface subissent des cycles de transformations, de complexation, de précipitation et peuvent expliquer le comportement de ces métaux dans le milieu aquatique (Belabed, 2006).

La Figure 3, illustre le rôle des différents processus physico-chimiques dans le transfert et le devenir d'un élément chimique depuis sa libération d'une roche ou d'un déchet jusqu'à sa mise à la disposition des organismes végétaux ou animaux avec un éventuel effet néfaste sur ces organismes (Calmano et al, 1993).

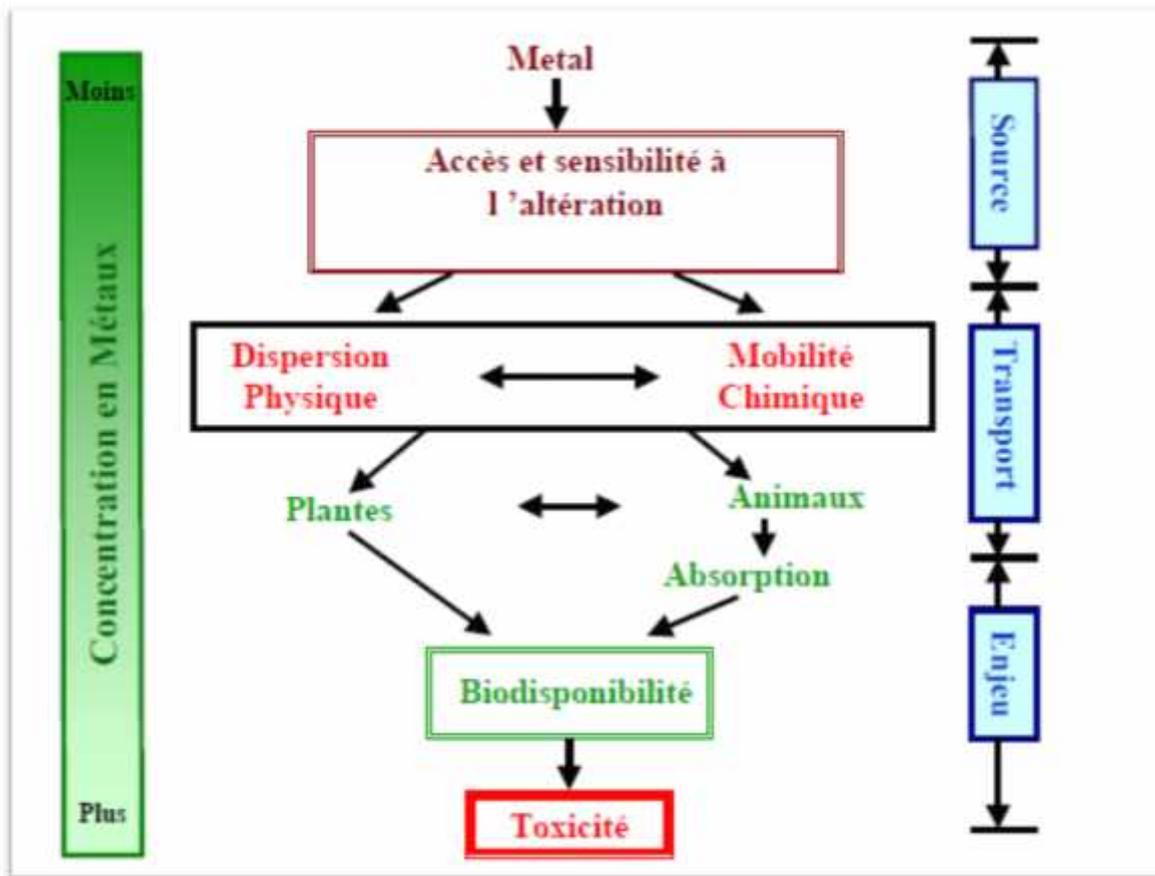


Figure3 : Diagramme de transfert des métaux (Calmano et al,1993).

# *Chapitre II*

*L'évaluation de la  
qualité de l'eau*

## II. L'évaluation de la qualité de l'eau

### II.1. Évaluation de l'état écologique des eaux

Parallèlement aux paramètres physico-chimiques et chimiques classiques, le programme de surveillance de la qualité des eaux prend en compte des paramètres biologiques, destinés à évaluer la qualité du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Le diagnostic de l'état écologique se fonde principalement sur des éléments de qualité biologique. Il a pour objectif de relier un effet biologique à une cause (pollution industrielle, urbaine, agricole) et d'évaluer l'impact de cette pollution sur le milieu (Rodier, 2009). L'état écologique est définie comme «l'expression de la qualité, de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques». Les critères retenus concernant les conditions physico-chimiques, l'hydromorphologie, la flore et la faune (Faurie et al, 2012).

Ainsi, la surveillance biologique et la surveillance physico-chimique des cours d'eau sont considérées comme des outils complémentaires. En général, la surveillance biologique mesure les effets des perturbations sur les communautés biologiques en place. La surveillance physico-chimique mesure les agents stressants, en d'autres mots la contamination environnementale. La surveillance de la qualité de l'eau basée exclusivement sur la mesure de la concentration de polluants dans l'eau ne permet pas de tirer des conclusions sur la santé de l'écosystème (Moisan et Pelletier, 2013).

La qualité des eaux est évaluée à l'aide de classes d'aptitudes à ses différents usages caractérisés par une couleur par un indice de qualité variant de 0 à 100.

Pour la production de l'eau potable, il est défini quatre classes d'aptitudes.

- Bleu clair : eau de très bonne qualité pouvant être consommée.
- Bleu foncé : eau de qualité acceptable mais pouvant faire l'objet d'un traitement de désinfection.
- Jaune : eau non potable devant être traitée.
- Rouge : eau inerte à la production d'eau potable.

Pour les autres usages et l'aptitude à la biologie dans les cours d'eau, il a été défini cinq classes de qualité allant du bleu (très bonne aptitude) au rouge (inapte à l'usage) comme résumé tableau 3.

**Tableau 3 :** Classes d'aptitude à la biologie de cour d'eau et autres usage hors la production d'eau potable (Schriver, 2012).

Classe	Indice de qualité	Aptitude à la biologie	qualité
<b>Bleu</b>	80 à 100	Eau de qualité optimale, eau exempte de pollution	Très bonne
<b>Vert</b>	60 à 80	Eau de bonne qualité, propice à la vie des poissons et satisfaisant à tous les usages	Bonne
<b>Jaune</b>	40 à 60	Eau de qualité passable permettant la vie des poissons mais rendant leur reproduction aléatoire	Utilisation pour l'irrigation et les usages industriels
<b>Orange</b>	20 à 60	Eau de qualité médiocre ou la vie piscicole est aléatoire	Médiocre
<b>Rouge</b>	0 à 20	Eau de qualité très mauvaise, inapte à la biologie et à tous les usages pouvant être dangereuse pour la santé publique et l'environnement	inapte à l'usage

## II.2. Les paramètres physico-chimiques

La mesure de certaines variables de qualité de l'eau peut fournir des informations concernant les types de polluants et leurs impacts sur le cours d'eau (Moisan et al, 2008). Les propriétés physico chimiques les plus intéressantes pour l'évaluation de la qualité de l'eau sont les suivantes :

### II.2.1. Température (T)

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Chapmanet *al*, 1996). Certes, toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique (Derwich et al, 2010).

L'analyse de ce paramètre est très importante, car elle conditionne de nombreux paramètres, tels que la conductivité électrique, l'oxygène dissous et le pH, ainsi que les réactions de dégradation et minéralisation de la matière organique (Rodier et al 2005).

Une élévation de la Température peut perturber fortement le milieu (pollution thermique) mais peut aussi être un facteur d'accroissement de la productivité biologique (Lehtimet et Abdelaziz, 2006). La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux quelle soient souterraines ou superficielles (Laouar et Khoubache, 2006).

### II.2.2. Potentiel hydrique (PH)

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H<sup>+</sup> contenus dans l'eau (Makhoukh et al, 2011).

L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (IBGE, 2005).

L'eau acide est en effet agressive (corrosive) et peut libérer les métaux constitutifs des canalisations (en particulier intérieures aux habitations), à savoir le fer, le cuivre, le plomb, le nickel, le chrome et le zinc (Hanon et Rouelle, 2011).

### II.2.3. Conductivité électrique(EC)

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution aqueuse à conduire un courant électrique. Cette capacité dépend de la présence des ions, de leurs concentrations et de la température des mesures, le test étant une mesure d'un courant électrique créé par des substances ionisées (Csuros, 1994).

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité.

Toutefois, la minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité, car, lors de l'évaporation, il y a transformation de la structure de certains sels: hydrogénocarbonates dissociés donnant des carbonates, cristallisation des sulfates avec un certain nombre de molécule d'eau. D'autre part, la mesure de la conductivité est influencée par le pH de la solution, en particulier pour des pH inférieurs à 6 ou supérieurs à 9 (Rejsek, 2002).

### II.2.4. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...)(Villerset al, 2005).

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. (Rodier, 1984). Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide (Hébert et Légare, 2000).

### II.2.5. Oxygène dissous (O<sub>2</sub>)

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (Makhoukh et al, 2011).

Globalement, plus la concentration en oxygène dissous est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution (processus d'autoépuration) est grande :

- une valeur inférieure à 1 mg d'O<sub>2</sub> par litre indique un état proche de l'anaérobie.

Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments (IBGE, 2005).

### II.2.6. Charge en matières organiques (MO)

Deux méthodes permettent tant d'évaluer la quantité en matière organique présente dans l'eau sont généralement utilisées : la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Ces deux méthodes se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique présente dans un échantillon d'eau.

#### II.2.6.1. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La demande biochimique en oxygène (DBO), représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries, pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentes dans l'eau (Merabat, 2010).

Par convention la DBO est la valeur obtenue après cinq jours d'incubation, DBO<sub>5</sub> (Martin, 1982).

L'analyse de la DBO<sub>5</sub> est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes (Bremond et Vuichard, 1973).

### **II.2.6.2. Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène, est une mesure de la quasi-totalité des matières organiques contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient oxydables ou non.

Elles constituent un paramètre important, et un test rapide utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels. La valeur de la demande chimique en oxygène est exprimée en (mg/l) (Kerdoud, 2006).

Soit donc à la fois les matières oxydables par les processus purement chimique et celles oxydables par les processus biochimiques Bousseboua, 2005 in(Atrouz et Lfeilef,2014).

Ce test est particulièrement utile pour l'appréciation du fonctionnement des stations de traitement. La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation, etc...(Rodier ,2009).

## **II.3. Les Paramètres biologiques**

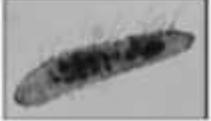
### **II.3.1. Les principaux types d'indices biologiques**

Les animaux et les végétaux qui colonisent les milieux aquatiques possèdent des exigences diverses vis-à-vis de ce milieu. Certains organismes vivants pourront ainsi être sensibles à des variations de pH, de température, à des modifications du contexte nutritionnel (composés minéraux ou matière organique, éventuellement présents à l'état de traces).

Ces organismes sont donc susceptibles de réagir aux modifications du milieu aquatique et peuvent alors servir d'indicateur de la perturbation existante (pollution).

Ces indicateurs biologiques sont à l'origine de l'émergence de méthodes standardisées basées sur l'étude de la présence de certaines espèces indicatrices ou de la richesse du milieu (nombre d'espèces) en certains organismes spécifiques(Rodier,2009).

**Tableau 4** : Les principaux indices biologiques utilisés.

Indice	Groupe faunistique ou floristique étudié	Notation	exemple d'organisme
<b>IBGN</b> Indice Biologique Global Normalisé	Macroinvertébrés	Note de 0 à 20 <i>Une note supérieure ou égale à 17 représente une eau très bonne qualité</i>	
<b>IBGA</b> Indice Biologique Global Adapté aux grands cours d'eau		Listes faunistiques par substrat ou par groupe de substrat	
<b>IBD</b> Indice Biologique Diatomées	Diatomées	Note de 0 à 20 <i>une note supérieure ou égale à 17 représente une très bonne qualité</i>	
<b>IOBS</b> Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments	Oligochètes	Note de 0 à 10 <i>une note supérieure à 6 représente une très bonne qualité</i>	
<b>IBMR</b> Indice Biologique Macrophytique en Rivière	Flore aquatique	Note de 0 à 14 (ou plus) <i>une note supérieure à 14 représente une très bonne qualité (eutrophisation très faible)</i>	
<b>IPR</b> Indice Poisson Rivière	Poissons	Note de 0 à 36 (ou plus) <i>Plus la valeur de l'indice est élevé plus la qualité est dégradée</i>	

### II.3.1.1. Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)

Les macrophytes aquatiques représentent une composante du compartiment végétal de cet hydrosystème. Ils désignent les grands végétaux aquatiques (bryophytes, ptéridophytes et spermatophytes) et les algues filamenteuses (par exemple *Cladophora* sp., Characées), visibles et le plus souvent identifiables à l'œil nu sur le terrain (Holmes et Whitton, 1977).

L'IBMR est fondé sur l'examen des macro-végétaux aquatiques pour évaluer le statut trophique des rivières. Cet indice traduit le degré de trophie des rivières lié à leur teneur en ammonium (forme réduite des nitrates) et orthophosphates, ainsi qu'aux pollutions organiques majeures. La note obtenue peut varier également selon certaines caractéristiques physiques du milieu comme l'intensité de l'éclairement et des écoulements (NF T90-395 2003).

Le domaine d'application de l'IBMR est principalement constitué par les cours d'eau de petites et moyennes dimensions. Dans la plupart des cas, les cours d'eaux très petits (moins de un mètre de largeur) peuvent également être analysés (Chauvin et al, 2008).

**Tableau 5:** Niveau trophique de l'eau selon l'IBMR(Chauvin et al, 2008).

Indice IBMR	IBMR > 14	12 < IBG < 14	10 < IBD < 12	8 < IBD < 10	IBMR < 8
Niveau trophique de l'eau	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très élevé

### II.3.1.2. Indice biologique diatomique (IBD)

Les diatomées sont des algues microscopiques qui sont largement utilisées pour évaluer la qualité écologique des cours d'eau (Bottin, 2012). Il consiste une analyse de la flore diatomique benthique (prélevée surtout sur support immergé).

On peut prélever et identifier des diatomées et calculer un indice diatomique qui tient compte de la sensibilité des espèces vis-à-vis de la pollution (Faurie et al, 2002).

Les diatomées ne dépendent pas du support où elles se trouvent mais seulement de la qualité physico-chimique de l'eau, étant naturellement sensibles à la présence de substances toxiques. Les diatomées sont fortement influencées par : Le pH, les nutriments (surtout l'azote et le phosphore), la présence de matières organiques et une faible oxygénation des eaux (VM,2011).



*Cocconeis Amphora*

**Figure 4 :** Quelques exemples de diatomées (VM ,2011).

### II.3.1.3. Indice poissons rivière (IPR)

La mise au point de l'IPR s'inspire d'outils multiparamétriques (IBI: Index of Biotic Integrity) développés initialement aux Etats Unis. Ces indices consistent à évaluer le niveau d'altération des peuplements de poissons à partir de différentes caractéristiques des peuplements (ou métriques) sensibles à l'intensité des perturbations anthropiques et qui rendent compte notamment de la composition taxonomique, de la structure trophique et de l'abondance des espèces (ONEMA, 2006).

Cet indice prend en compte 13 familles de poissons prélevées dans 7 métriques différentes. Ses valeurs varient de moins de 7 pour les eaux d'excellente qualité à plus de 36 pour les eaux de très mauvaise qualité. Intéressant dans son principe, cet indice est inapplicable par le «citoyen lambda» dans la mesure où l'échantillonnage doit être réalisé par pêche électrique pour laquelle seuls l'ONEMA, le CEMAGREF et les Fédérations départementales de pêche et de protection de milieu aquatique sont habilités (Fauré et al, 2012).

### II.3.1.4. Indice biologique macro invertébrés

Développé dans le cadre du Réseau de Contrôle et de Surveillance (RCS) des eaux de surface de la Directive Cadre Européenne, ce protocole s'applique aux cours d'eau pouvant faire l'objet d'une prospection à pied, en période de basses eaux, de la quasi-totalité des habitats, avec des appareils à main de type filet Surber. Il est mis en place depuis 2007 dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (Rodier, 2009).

Ils sont abondants dans la plupart des rivières et faciles à récolter. De plus, leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résident (Barbour et al, 1999). Le suivi des macro-invertébrés benthiques est utile pour :

- évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques;
- suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau au fil du temps;
- évaluer et vérifier l'effet d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème;
- évaluer les impacts des efforts de restauration (habitat et qualité de l'eau);
- apporter un complément biologique au programme de surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des cours d'eau;

- documenter; la biodiversité des macro-invertébrés benthiques dans les cours d'eau (Moisan et Pelletier ,2011).

Les indices biologiques, calculés à partir de l'examen de ces communautés animales, donnent une vision synthétique de l'état des cours d'eau. Ces méthodes rapides, pratiques et simples d'utilisation sont bien adaptées à la surveillance et au suivi de l'état des rivières. Il ya deux types :

- Indice macro invertébrés applicable aux petits cours d'eau.
- Indice biologique global adapté aux grands cours d'eau (IBGA) (Atrouz et Lefilele, 2014).

#### **II.3.1.4.1. Les macro invertébrés benthiques en tant qu'indicateurs**

Parmi les communautés biologiques, les communautés de macro-invertébrés benthiques sont les plus utilisées pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Hellawell, 1986).

Les méthodes de mesure fondées sur l'évaluation biologique ont recours à des organismes vivants afin de donner un aperçu des conditions et des pressions environnementales. Différents groupes d'espèces ont servi à de telles évaluations, bien que l'un des groupes les plus utiles demeure celui des macro-invertébrés benthiques. Les invertébrés benthiques sont de petits animaux, visibles à l'œil nu, ne possédant pas de colonne vertébrale et habitant le fond des lacs et des cours d'eau.

Ils comprennent des organismes comme les crevettes, les vers, les écrevisses, les escargots d'eau, les moules et le stade aquatique de plusieurs larves d'insectes comme les libellules, les éphéméroptères, les trichoptères ou les diptères(moustique, mouche noire), qui sont sensibles aux modifications de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques (Moisan et al, 2010).

« La structure des communautés de macro invertébrés benthiques est souvent utilisée comme indicateur des effets de l'activité humaine sur les écosystèmes des cours d'eau, et pour fournir une foule d'informations sur la qualité de l'eau et de l'habitat »(Woodcock et Huryn, 2007).

On peut les utiliser pour identifier plusieurs types de pollution, comme la pollution organique, métallique, de même que pour détecter une acidification du milieu (Camargo et al, 2004).

Leur utilisation repose essentiellement sur l'évaluation de données concernant leur façon de se nourrir, de se reproduire et d'exploiter leur habitat (Touzin, 2008).



**Figure 5 :** Quelques exemples de macro-invertébrés benthiques (Leclercq, 2011).

#### II.3.1.4.2. Indice oligochète de bioindication des sédiments (IOBS)

Les oligochètes prélevés sont des vers annelés aquatiques vivant dans des sédiments au fond des cours d'eau et des lacs sensibles à la pollution. Deux familles, *tubificidae* aux soies capillaires, et *tubificidae* sans soies capillaires, sont particulièrement intéressantes du fait de leur résistance à la toxicité des sédiments (Schriver, 2012).

Les caractéristiques écologiques des oligochètes (organismes sédentaires et fousseurs à développement strictement aquatique, fort capacité d'adaptation et de colonisation d'habitats divers, à cycle court ou long, résistance et sensibilité à la pollution) rendent ces communautés vivantes intéressantes pour l'évaluation de la qualité biologique des sédiments aquatiques. L'indice Oligochète de Biodindication des sédiments fins (IOBS), norme NFT 90-390, est basé sur la richesse taxonomique de l'échantillon et le pourcentage des formes les plus tolérantes à la pollution (famille des Tubificidae).

Il permet d'évaluer globalement la qualité biologique des sédiments fins ou sableux, permanents ou stables, donc de manière indirecte la qualité de l'eau qui les baigne, et de cerner l'incidence écologique des micropolluants organiques et métalliques présents (DRE, 2006).

#### II.3.1.4.3. Indice biologique global normalisé (IBGN)

L'IBGN est basé sur l'étude du peuplement des macro-invertébrés benthiques composés de larves, d'insectes, de mollusques, des vers, de crustacés, etc. ; visible à l'œil nu (taille supérieure à 5 µm). L'IBGN n'est pas appliquée qu'au cours d'eau ayant une profondeur inférieure ou égale à 1m, une vitesse de courant permettant l'échantillonnage et une faible turbidité (Schriver, 2012).

La détermination de l'IBGN est basée sur l'appartenance des macro-invertébrés à des unités taxonomiques susceptibles d'être identifiées par des non spécialistes de la faune aquatique. Le plus souvent, l'unité taxonomique retenue est la famille, sinon, pour les macro-invertébrés pour lesquels une détermination plus fine s'avérerait difficile ou peu fiable, c'est l'embranchement ou la classe. 138 taxons sont retenus pour participer à l'évaluation de la diversité totale du cours d'eau (VT ou variété totale). 38 taxons sont retenus comme indicateurs et sont répartis en 9 groupes faunistiques indicateurs (GI). L'IBGN est calculé à partir, d'une part, de la classe de variété et d'autre part, en fonction du rang du groupe faunistique indicateur (Melhaoui, 2010).

L'indice Biologique Global Normalisé (I.B.G.N.) permet de connaître l'aptitude d'un écosystème d'eau courante au développement des invertébrés benthiques et de suivre l'évolution de la qualité biologique d'un site au cours du temps et dans l'espace (AFNORT90 350, 1992).

**Tableau 6 :** Les valeurs de l'indice biologique Global Normalisé (IBGN) selon (Afnor, 1992).

IBGN	20 à 16	16 à 12	12 à 8	8 à 4	4 à 0
Couleur	Bleu	Vert	jaune	orange	Rouge
Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	moyenne	médiocre	mauvaise

#### II.3.1.4.4. L'indice biotique selon Verneaux et Tuffery (1967)

Verneaux et Tuffery ont publié en 1967 un premier indice biocénotique (indice biotique ou IB). Il s'agissait d'un premier essai dont les résultats peu satisfaisants ont poussé Verneaux à publier des modifications importantes (Verneaux et Tuffery, 1967).

L'I.B. permet de mesurer la vie dans l'eau. Ce n'est pas un critère indiquant une pollution éventuelle mais juste une indication. Il conviendrait donc de demander à 2 groupes de faire des analyses chimiques à l'aide d'un kit de terrain (Jongeren, 2014).

C'est une méthode d'appréciation de la qualité biologique des eaux reposant sur l'échantillonnage des invertébrés aquatiques en un point donné. Une note de 1 à 10 est attribuée en fonction des espèces présentes ou absentes et de leur rôle d'indicateurs.

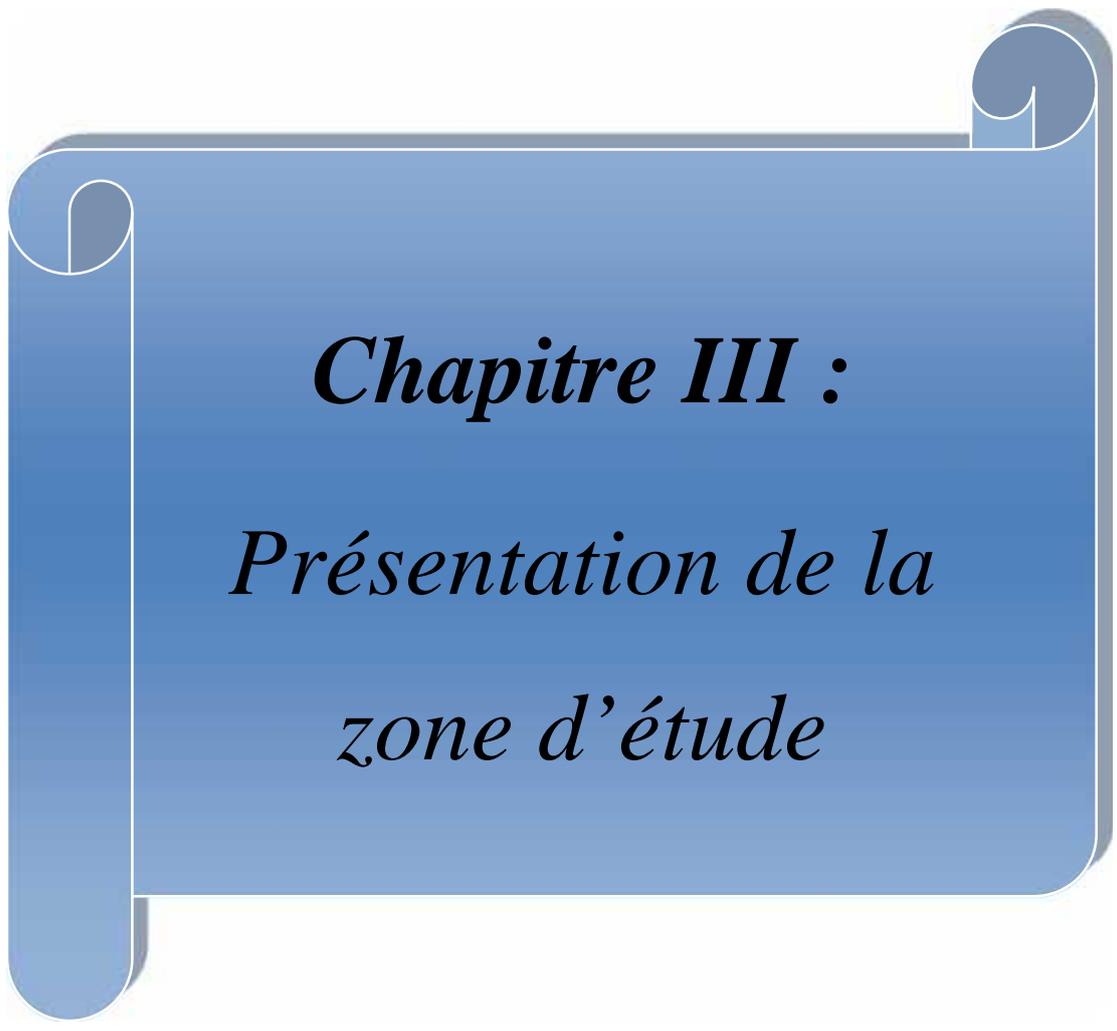
Chaque station étudiée est caractérisée par trois chiffres : indice en faciès lotique (courant), en faciès lentique (calme) et leur différence. Un tableau permet de déterminer les pollutions en fonction des indices biotiques. Ne pas confondre avec la capacité biogénique qui est quantitative alors que l'indice biotique a une valeur qualitative uniquement déterminé à partir de 7 groupes faunistiques, ces groupes faunistiques sont :

Plécoptères et Ecdyonuridés. Trichoptères. Ancyliidés et Éphéméroptères sauf Ecdyonuridés. Gammaridés, Physes, Aphelocheirus (Hémiptères et Odonates), Aselles.

Sphæridés, Sangsues et Hémiptère sauf Aphelocheirus. Tubifex, Chironomies. Eristale II.

Cette manière très simplifiée, l'observation de macro-invertébrés appartenant principalement aux trois premiers groupes indique un cours d'eau de très bonne qualité à qualité moyenne. L'observation de macro-invertébrés appartenant principalement aux quatre derniers groupes suggère un cours d'eau de qualité moyenne, médiocre ou très mauvaise.

Cet indice, comme d'ailleurs l'indice biologique global normalisé qui le remplace maintenant, s'ils permettent une bonne approche de la qualité des eaux dans les cours d'eau (Melhaoui, 2009).



***Chapitre III :***  
*Présentation de la*  
*zone d'étude*

Ce chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude : caractéristiques morpho-structurales, climatiques, lithologiques, hydrologiques et socioéconomiques de la zone d'étude.

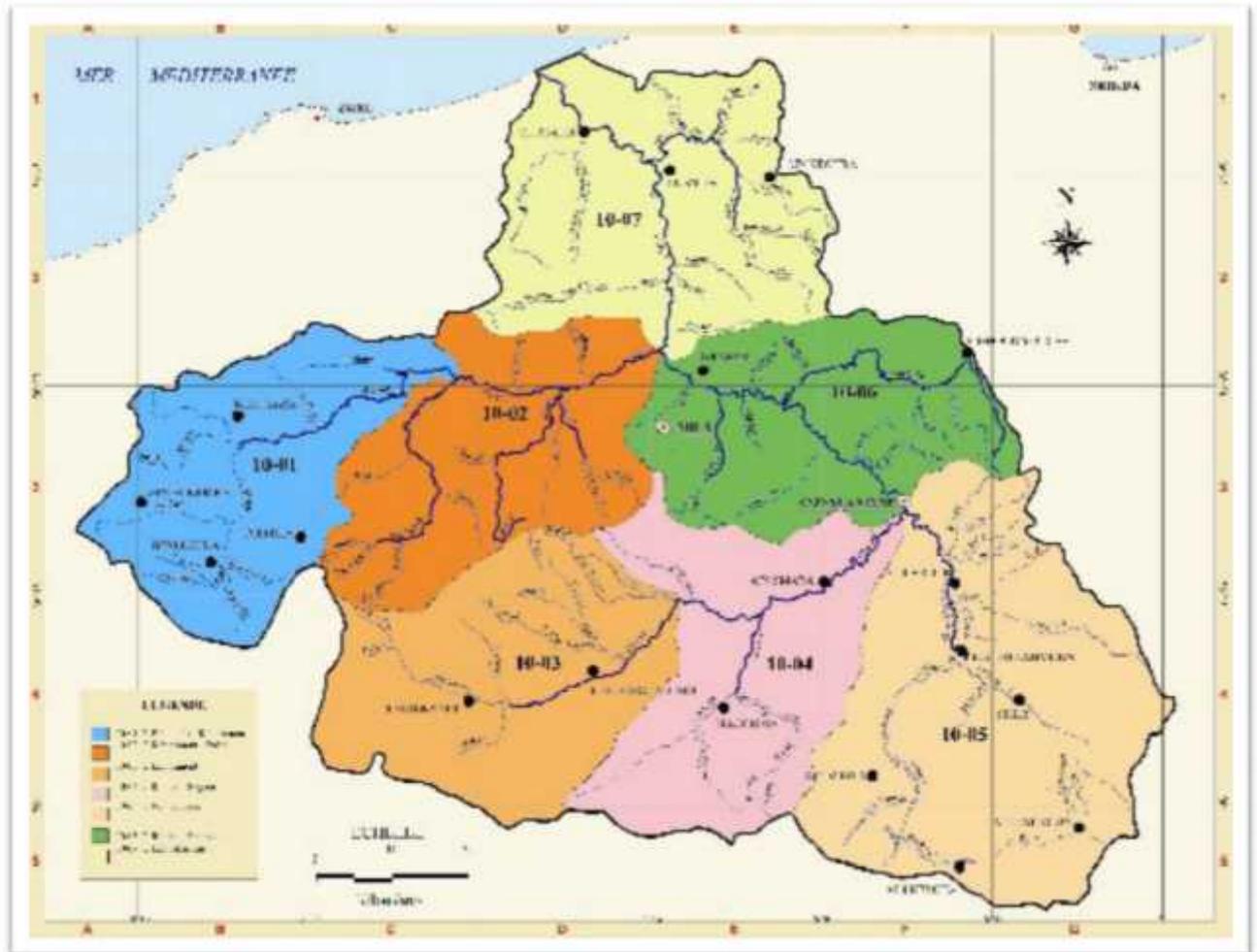
### III.1. Présentation de la zone d'étude

Un bassin est défini comme une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitations essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur. « Les processus de transfert d'eaux s'expriment dans les réseaux hydrographiques, considérés comme des éléments linéaires, par opposition aux bassins versants, éléments de la surface terrestre » (Bravard et Petit, 2000 in Mébarki, 2005). Cette unité de drainage est essentielle en hydrologie, affirme Mébarki (2005): « pas seulement parce qu'elle permet le calcul de bilans mais aussi parce qu'elle représente une unité fonctionnelle, qui rend compte d'une dépendance rigoureuse de l'amont à l'aval.. ».

L'Oued Kébir-Rhumel, est un cours d'eau très important dans l'Est algérien. Il a contribué au façonnement du ravin Constantinois qui est célèbre dans toute l'Algérie par son pittoresque. L'oued Rhumel s'écoule sur une distance d'environ 208 Km.

### III.2. Situation géographique

Avec une superficie de 8815 km<sup>2</sup> environ, le bassin versant Kebir-Rhumel déborde largement les limites géographiques du Constantinois : il s'étend entre la mer Méditerranée au Nord et les marges septentrionales des hautes plaines des sebkhas (lacs salés) au Sud présentant ainsi des caractères physiques nettement contrastés, d'où son originalité. Il est juxtaposé à d'autres unités hydrologiques recouvrant également Tell et hautes plaines, il s'agit du bassin de la Seybouse à l'Est et le bassin de la Soumam à l'Ouest (Mebarki, 1984).



**Figure 6:** Situation géographique du bassin versant Kébir-Rhumel et ses sous bassins versants.(Cahiers de l'ABH-C.S.M, n°02,1999)

### III.3. Géologie et lithologie

Le bassin versant Kebir-Rhumel est composé de domaines géologiques très différents (Mebarki, 1982 et 2005).

- **le domaine des Hautes-Plaines sud-constantinoises (DI)** :constitué de deux grandes unités lithologiques : les massifs carbonatés du néritique constantinois et les plaines plioquaternaires d'une part et d'autre part les massifs de calcaires jurassiques et crétacés.
- **le bassin néogène de Constantine-Mila (DII)** : d'âge mio-pliocène et à dominance argileuse, à l'exception de quelques affleurements de calcaires lacustres.

- **le domaine des nappes tectoniques de Djemila (DIII) :** à l'ouest de Ferjioua, en position occidentale par rapport au domaine DII. Elles sont formées d'une alternance de marnes et de calcaires marneux (Jurassique-Crétacé-Eocène).
- **le domaine de la dorsale kabyle et des massifs gréseux numidiens (DIV) :** au nord de Grarem. Il est constitué essentiellement de grès numidiens sous lesquels apparaissent des calcaires jurassiques très tectonisés de la dorsale kabyle.
- **le domaine du socle granitique et cristallophylien de la petite Kabyle d'El Milia (DV) :** au sud d'El Milia, la vallée du Kébir s'encaisse dans les formations du socle. Large de 1 à 2 km, cette vallée renferme des graviers et sables alluviaux abondants.

#### III.4. Réseau hydrographique

Le bassin Kebir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. Quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km (fig. 7). Ce bassin résulte principalement de la jonction de deux cours d'eau importants : l'oued Rhumel et l'oued Endja, drainant respectivement une superficie de 5315 km<sup>2</sup> et 2160 km<sup>2</sup> et dont la confluence donne naissance à l'oued Kebir-Rhumel (Mebarki, 1982).



**Figure 07 :** Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kébir-Rhumel  
(Cahiers de l'ABH, C.S.M, n°02, 1999).

L'oued Rhumel prend sa source vers 1160 m dans les marges méridionales du Tell, au nord-ouest de Bélaïa. Il draine, suivant une orientation SO-NE, les sous-bassins semi-arides des Hautes Plaines (Tadjenanet, Chelghoum Laid) puis franchissent le Rocher de Constantine en s'encaissant profondément (200 m de dénivellation) dans des gorges calcaires (fig. 8).

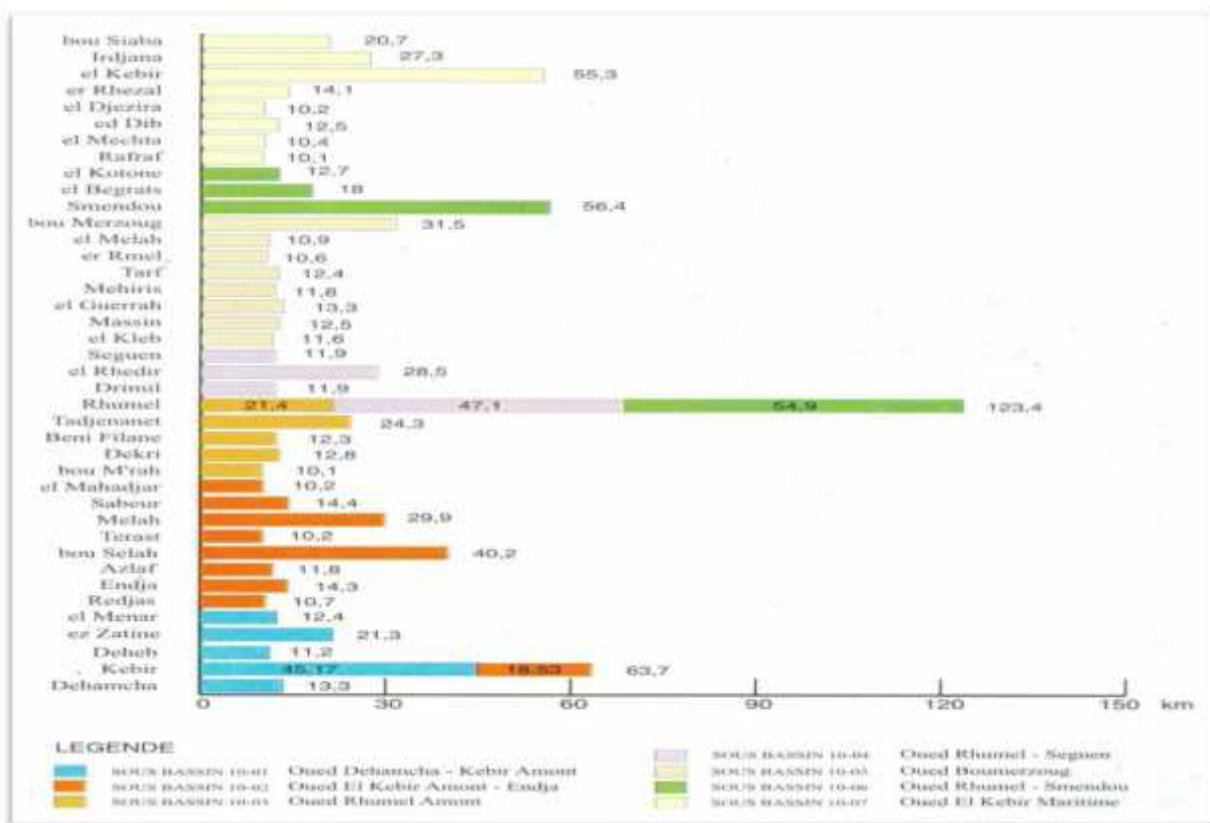


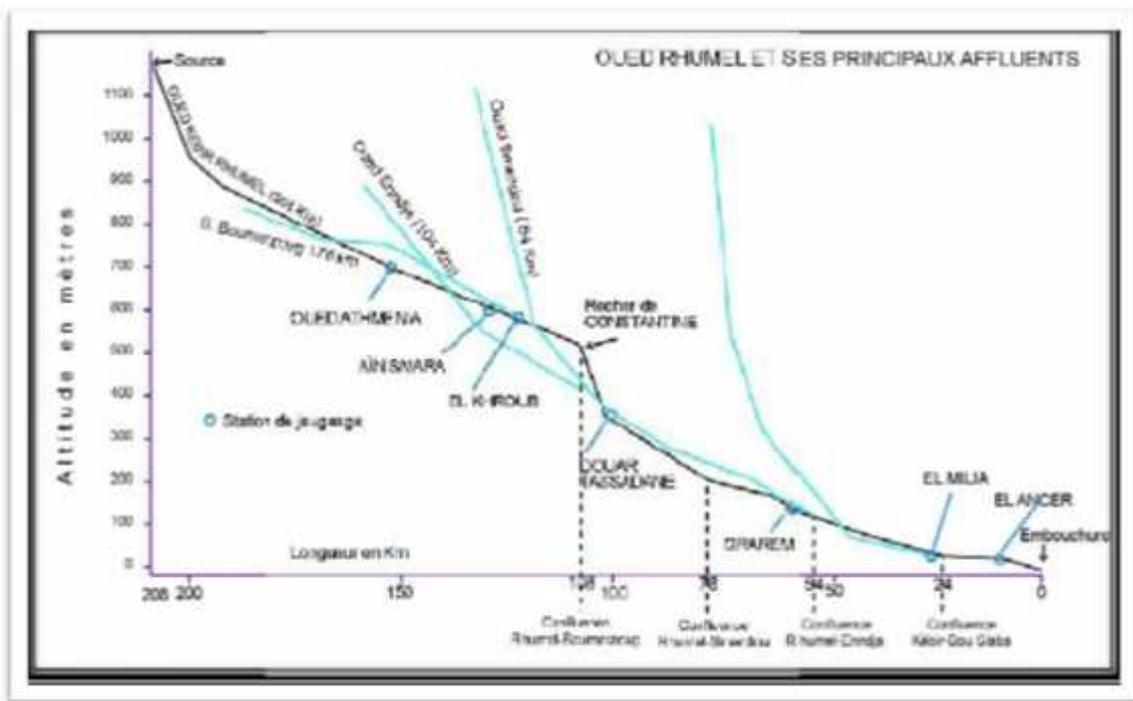
Figure 08 : Principaux oueds du bassin versant Kebir-Rhumel (longueur > 10 km)(ABH, 2004).

Ensuite, il s'écoule en direction Nord-Ouest et plus au Nord, aux environs de Sidi Merouane, il conflue avec l'oued Endja qui draine la partie occidentale du bassin. Durant tout ce parcours, l'oued Rhumel reçoit quelques affluents importants, entre autres les oueds Dekri, Athmania, Seguen, Boumerzoug, Smendou et Ktone (Mebarki, 1982 ; Mebarki et Laborde, 2005). L'oued Endja est formé à l'amont par la confluence de l'oued Dehamcha et de l'oued Menaâ. Le premier prend sa source au seuil des hautes plaines au nord d'El Eulma alors que le second prend sa source aux environs d'Ain El Kebira dans les massifs de la petite Kabylie.

A l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction SO-NE, mais cette fois à travers les reliefs montagneux du Tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord.

Durant son parcours, l'oued Endja ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive gauche, mais sur sa rive droite, il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah (Mebarki, 1982 et 2005).

L'oued Kebir résultant de la jonction des deux grands cours d'eau précédents (Rhumelet Endja), prend d'abord une direction Sud-Nord et franchit vigoureusement la chaîne numidique, bien exposée aux vents pluvieux en provenance de la Méditerranée. Puis en prenant une orientation Sud Est-Nord Ouest, il traverse les massifs très arrosés de la Petite Kabylie d'El Milia, avant de s'écouler dans une large vallée vers la mer. Dans cette partie de son cours, l'oued El Kebir reçoit en rive droite, l'oued Bou Siaba et en rive gauche l'oued Indjana (Mébarki, 1982).



**Figure 09:** Profil en long de l'oued Kébir-Rhumel (Mebarki, 1982).

De cet ensemble, il est possible de délimiter trois grandes parties de bassin s'identifiant plus ou moins aux grands domaines morphostructuraux :

- **Le Bassin supérieur :** qui correspond à l'oued Rhumel et l'oued Boumerzoug jusqu'à leur confluence à l'amont de Constantine,
- **Le Bassin moyen :** formé par les oueds Endja et Rhumel inférieur (à l'aval de Constantine) jusqu'à leur confluence aux environs de Sidi Merouane,
- **Le Bassin inférieur :** correspondant à l'oued El Kebir, à l'aval de la confluence Endja-Rhumel.

Notons par ailleurs, que l'oued Rhumel alimente deux barrages, Hammam Grouz ( $45\text{hm}^3$ ) situé dans la commune de Oued El Athménia et Beni Haroun ( $795\text{hm}^3$ ) dans la commune de Grarem Gouga, respectivement en amont et en aval de Constantine. La mise en eau de ce dernier a été effectuée au mois de Juillet 2003. Le bassin compte aussi un barrage de moindre importance, Berla ( $3,2\text{hm}^3$ ) localisé dans la commune d'Ain-Smara.

### III.5. Climatologie

Le bassin versant Kebir-Rhumel rassemble sur sa toute superficie 22 stations pluviométriques qui se répartissent comme suit :

- 4 au niveau du sous bassin Dehamcha-Kebir amont.
- 1 au niveau du sous bassin Kebir amont-Endja.
- 5 au niveau du sous bassin Kebir amont.
- 3 au niveau du sous bassin Rhumel-Seguen.
- 3 au niveau du sous bassin Boumerzoug.
- 2 au niveau du sous bassin Rhumel-Smendou.
- 4 au niveau du sous bassin Kebir maritime.

Dans le cadre de cette étude, seules les mesures de température et des précipitations de la station climatologique d'Ain El Bey ont été prises en considération. Les données climatiques de cette dernière étant complètes ; la station est ainsi considérée comme représentative du climat régional. D'une manière générale, le climat de la région est continental, semi-aride au Sud et sub-humide notamment au Nord de Constantine (Mebarki, 1982).

Les facteurs climatologiques sont dans l'ensemble des variables aléatoires permettant d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique. Le climat de la région est de type méditerranéen en général à tendance subhumide (semi-aride) marqué par une saison sèche et chaude et une autre humide et froide avec de courtes transitions.

La saison humide s'étalant sur 8 mois avec une pluviométrie annuelle qui varie entre 350mm et 700mm et une température minimale de 3° à 4° C au mois de janvier par contre la saison sèche à enregistrés des températures maximales de l'ordre 42°C au mois de juillet, les vents dominant sont du secteur Nord-Ouest et sont généralement suivi par des pluies, en hiver les vent du Nord et du Est sont peu fréquents cela est du aux obstacles (reliefs) par contre les vents dominants des gelées fréquentes en moyenne 30 jours par ans (Hadissi, 2010).

### III.5.1. Pluviométrie

Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit, les matières en suspension et les phénomènes de dilution. Le bassin versant kébir-Rhumel rassemble sur toute sa superficie vingt-deux stations pluviométriques qui se répartit comme suit (Tabl.07; fig.10) :

**Tableau 7** : Stations pluviométriques sur le bassin du kébir - Rhumel.

(Cahiers de l'ABH, C .S.M, n02, 1999)

Sous – bassins	Nombre de stations pluviométriques
Oued Dehamcha -Kébir Amont	4
Oued Kébir Amont-Endja	1
Oued Kébir Amont	5
Oued Rhumel-Seguen	3
Oued Boumerzoug	3
Oued Rhumel-Smendou	2
Oued Kébir-Maritime	4



**Figure 10** : Stations pluviométriques sur le bassin du kébir - Rhumel  
(Cahiers de l'ABH, C .S.M, n02, 1999)

Le bassin versant kébir – Rhumel présente des pluies d'automne ; d'hiver et de printemps, elles sont à la fois faibles et irrégulières. D'après les données fournies par l'A .N. R. H relatives aux différentes stations pluviométriques localisées au niveau de notre étude au cours de l'année 2009 ; comme le montre le tableau (08), nous remarquons que :

- le taux des précipitations diffère non seulement d'une station à une autre mais aussi d'une saison à l'autre.
- le maximum des précipitations est enregistré généralement au mois de décembre, les tableaux ci-dessous montrent les variations annuelles (Malghite, 2009).

**Tableau 08:** Données pluviométriques de la région de Constantine  
(Melghit, 2009).

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mais	Juin	Juil	Aout	Annuel
2006	47.7	8.6	21.2	148	18.3	40.2	150.3	89.4	22.2	15.1	2.4	13.1	576
2007	53.2	37.6	38.9	131.9	12.6	15.4	102.9	22.6	62.6	20.3	3.9	11.2	513.1
2008	68.2	22.2	47.1	24.6	105.7	59.5	76	133	71.5	0.6	6.1	24.6	639.1
2009	136.5	54.8	24.3	61.1	96.4	43.8							

### III.5.2. Température

Le bassin du Kébir-Rhumel doit à sa position un climat méditerranéen avec des hivers doux, des étés chauds et secs mais loin d'être désertique.

Les températures mensuelles et annuelles ne sont pas disponibles, de ce fait, nous avons mentionné uniquement la température moyenne des années (2004, 2005 et 2006) pour la wilaya de Constantine.

**Tableau 9:** Température moyenne mensuelle en °C (Station météorologique d'Ain El Bey, Constantine).

Année	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2004	7.2	8.8	10.6	11.9	15.1	21.4	25.7	26.9	21.0	19.4	9.9	7.9
2005	4.6	4.7	10.8	13.2	19.2	23.9	26.8	24.7	21.1	17.8	11.8	7.0
2006	5.5	6.9	11.0	15.6	20.1	24.9	26.8	24.4	21.0	19.1	12.5	8.4

### III.5.3. Vents

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force. Les vents soufflant sur le bassin du Kébir-Rhumel sont ceux du Nord-Est qui apportent les pluies et qui sont souvent secs et froids (Malghite, 2009).

### III.6. Socio économie

Le facteur socio-économique de la région d'étude est très important vu son impact sur l'interprétation du phénomène de pollution et ses diverses sources.

### III.6.1. Population

Plus de 2.500.000 habitants selon l'estimation de 2002, répartis en 90 communes et 06 Wilayas. 57 communes sont entièrement incluses dans le bassin et 33 partiellement l'agglomération de Constantine avec 921.893 habitants selon l'estimation de 2008, regroupe 22.5% de la population totale du bassin (ABH, 2009).

### III.6.2. Alimentation en eau potable des agglomérations

Le bassin du Kébir-Rhumel compte cent (100) agglomérations de plus de 2000 habitants en 1998, regroupant une population de 1.432.424 habitants. Sur ces cent agglomérations quatre vingt douze agglomérations sont dotées d'un réseau de distribution qui totalise un linéaire de plus de 2075 km, et disposent d'un potentiel de stockage d'environ 210.000 m<sup>3</sup>(fig. 11).



**Figure 11:** Carte des principales agglomérations dans le bassin du Kébir- Rhumel (ABH, C.S.M, 2012).

### III.6.3. Barrages

Le bassin du Kébir-Rhumel compte actuellement deux barrages en exploitation: OuedAth mania et Beni Haroun, ainsi que plusieurs retenues collinaires (fig.12)



**Figure 12 :** Carte des principaux barrages du bassin du Kébir-Rhumel (ABH, C.S.M, 2012).

#### III.6.4. Assainissement

Parmi les cent agglomérations de plus de 2000 habitants en 1998, quatre vingt onze sont dotées d'un réseau hydrographique d'assainissement, qui totalise près de 1400 km (tab.10). Parmi ces quatre-vingt-onze agglomérations, une seule possède deux stations de relevage : s'agissant de stations d'épuration, deux agglomérations parmi les cent incluses dans le bassin en possèdent. La première localisée à Constantine fonctionnant selon le principe de la boue activée, d'une capacité de 400.000 équivalents habitants, extensible à 800.000 équivalents habitants, dimensionnée pour un débit moyen de 800 l/s et traitant actuellement un débit de 150 l/s. La deuxième à Oued Atmania traitant les eaux usées de Chelghoum Laid fonctionnant selon le principe de la boue activée à faible charge, d'une capacité de 45.000 équivalents/habitants, extensible à 67.500 équivalents/habitants, dimensionnée pour un débit de 46 l/s.

**Tableau 10 :** Assainissement des eaux usées urbaines dans le bassin du Kébir-Rhumel(Melghit,2009).

Sous Bassin	Agglomération	Wilaya	Linéaire ml	Type de réseau	Lieu de rejet
10 01	Tassadane	Mila	3178	Unitaire	O. El kébir
10 01	Toumeselt	Mila	7510	//	O. El kébir
10 02	Tessal Centre	Mila	2400	//	O. El kébir
10 02	Bougherdaine	Mila	2600	//	O. Endja
10 02	Sidi Meroune	Mila	25666	//	O. Endja
10 02	Ras El Bir	Mila	8966	//	O. Endja
10 02	Terai Beinen	Mila	5700	//	O. Endja
10 02	Zouabi	Mila	4840	//	O. Endja
10 02	Rouached	Mila	9800	//	O. Endja
10 03	Chelghoum L	Mila	97827	//	STEP vers O. Rhumel
10 03	Djemaa Lkhdar	Mila	14238	//	STEP vers O. Rhumel
10 04	O Athmania	Mila	18100	//	O Athmania
10 04	Ain Smara	Constantine	26000	//	O. Rhumel
10 05	Constantine	Constantine	234000	//	STEP vers O. Rhumel
10 05	El Khroub	Constantine	59000	//	O. Boumerzoug
10 06	Mila	Mila	42300	//	O. Rhumel
10 06	Ain Tinn	Mila	16300	//	O. Ktone
10 06	Grarem Gouga	Mila	22135	//	O. Rhumel
10 06	Zighoud Y	Constantine	31000	//	O. Smendou
10 06	H. Bouziane	Constantine	16000	//	O. Rhumel
10 06	Beni Hmidène	Constantine	12000	//	O. Smendou
10 07	Hammala	Mila	19984	//	O. Dib
10 07	El milia	Jijel	34849	//	O. El kébir

### III.6.5. Agriculture

Le bassin du Kébir-Rhumel se caractérise par une agriculture mixte, traditionnelle(Irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture.

La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm<sup>3</sup>. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture, afin d'atteindre la production nécessaire, il était important de développer des techniques et des stratégies de culture et d'autoriser l'usage de certains produits chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides pour améliorer les rendements et lutter contre les parasites et les maladies.

#### **III.6.5.1. Engrais**

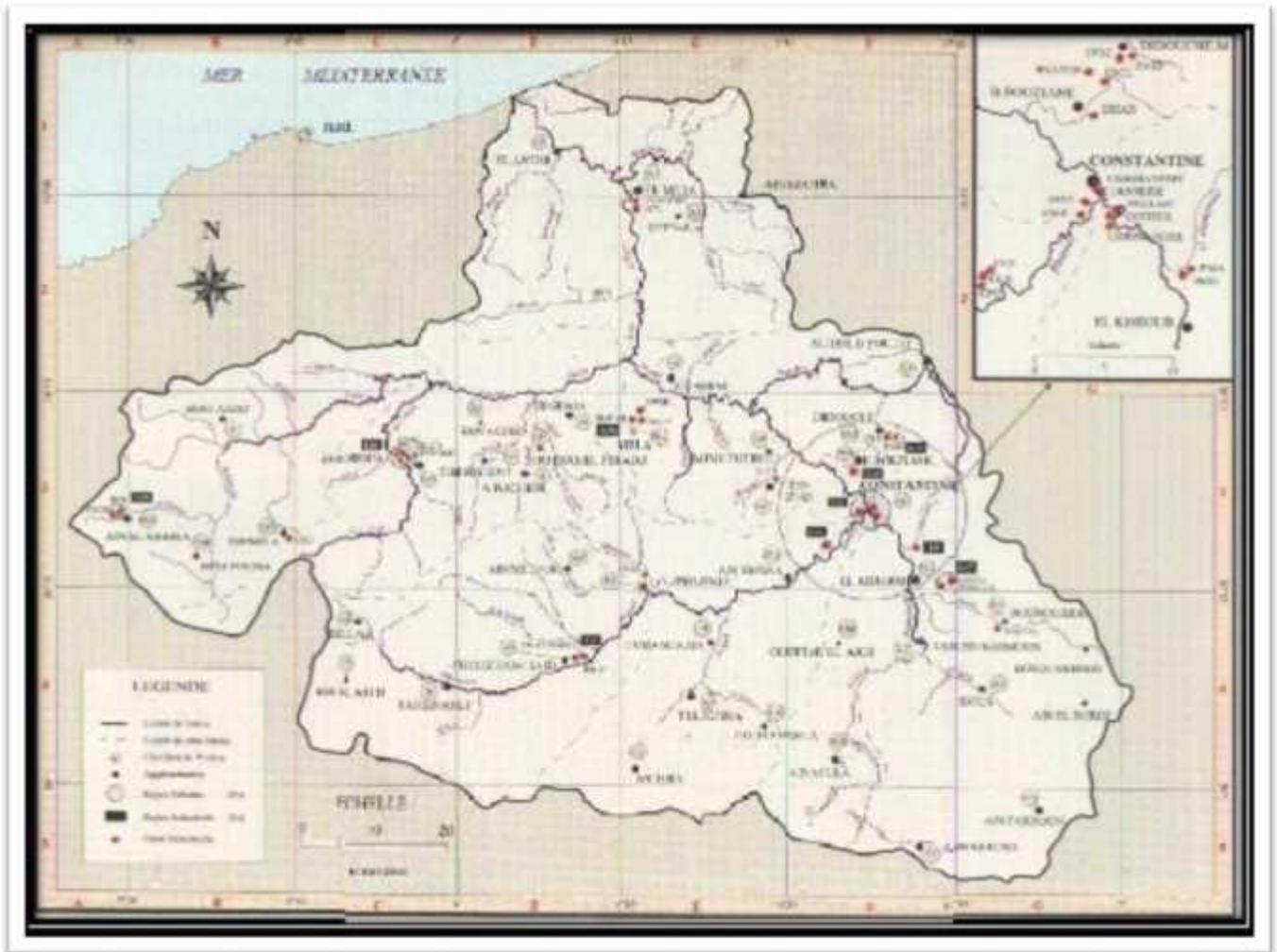
Les engrais les plus utilisés en agriculture au niveau du bassin du Kébir-Rhumel sont les ammonitrates (33%) et les superphosphates (45%). Les engrais augmentent sans doute les rendements, mais contribuent surtout par leur utilisation excessive à la pollution des sols, des sédiments et des cours d'eau où les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés le plus souvent élevées.

#### **III.6.5.2. Pesticides**

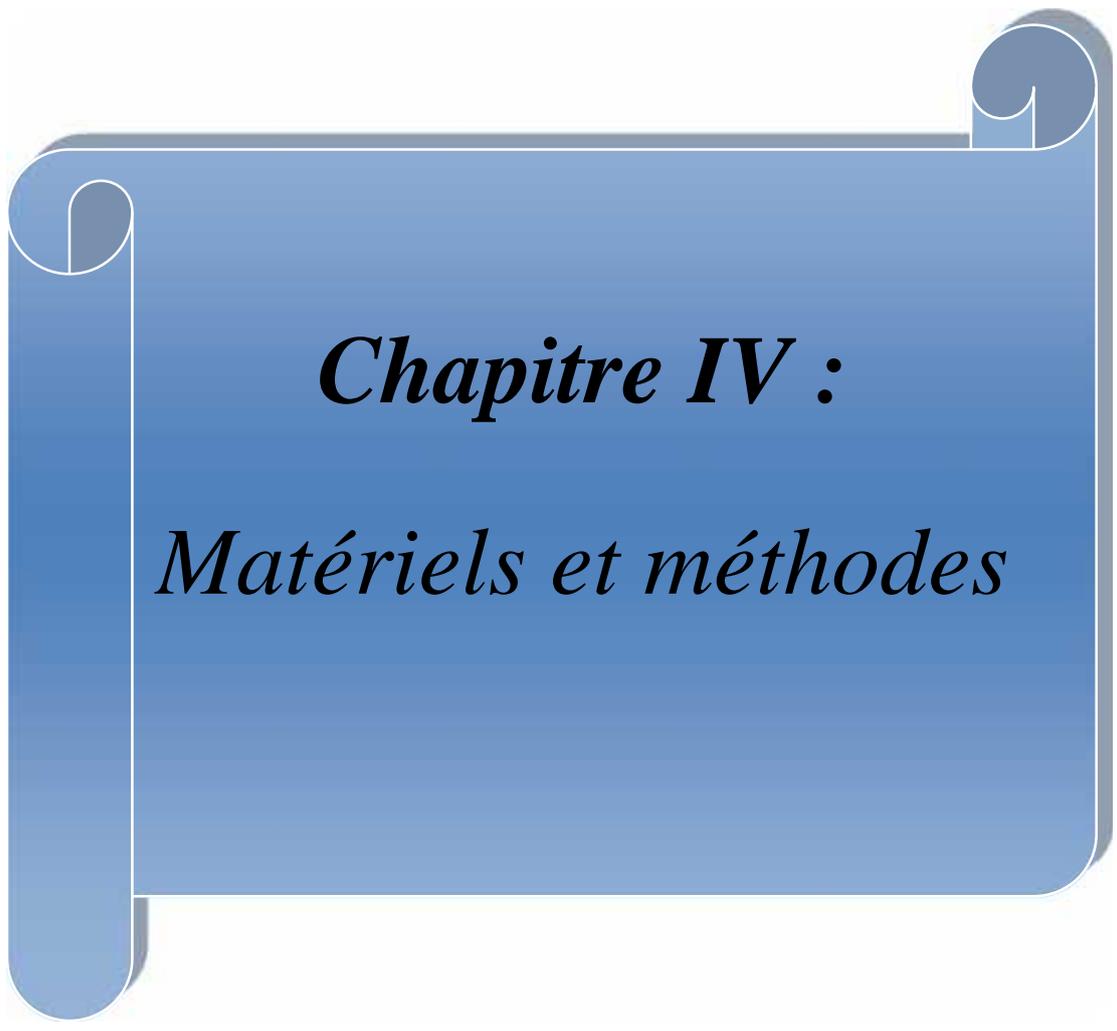
Comme pour les engrais, l'utilisation abusive et intense des pesticides organiques et ou minéraux conduit sans aucun doute à une contamination des sols, des eaux et des sédiments.

#### **III.6.6. Industrie**

Aux alentours du bassin versant Kébir-Rhumel, le tissu industriel est surtout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid, Hamma Bouziane, Mila,...). Plusieurs industries sont alimentées par leurs propres forages, ou leurs propres puits. Il n'a pas été possible d'accéder à toutes les installations, et les renseignements recueillis traduisent un volume global alloué à ces installations de 13.679 m<sup>3</sup>/j soit 4.99 hm<sup>3</sup>/a (fig.13)(ABH-C .S . M, 1999).



**Figure 13** : carte des rejets industriels dans le bassin versant kébir – Rhumel  
(ABH-C .S . M, 1999).



***Chapitre IV :***  
*Matériels et méthodes*

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier lieu les compartiments (eau / sédiments) étudiés (localisation des stations de prélèvement). La nature des prélèvements ainsi que les méthodes analytiques utilisées pour évaluer la qualité de l'eau : les paramètres physico-chimiques et le calcul de l'indice biotique.

#### IV.1. Choix et localisation des stations de prélèvements



**Figure 14** :Site d'étude et localisation des stations de prélèvement

Nous avons choisis deux stations le long de l'oued Rhumel :

##### ➤ **La première station (RH1)**

À environ 25Km de Constantine en amont d'Ain Smara.Elle est située au pied d'une carrière et d'une retenue destinée à l'irrigation près du pont endirection de Teleghma et Oued Seguen. Le choix de cette station de référence traduit laqualité de l'eau avant que l'oued n'atteigne les zones urbaines (Ain Smara, Constantine).



**Figure 15:** La première station (RH1) en amont de l'oued Rhumel.

➤ **La deuxième station(RH2)**

En aval de l'oued Rhumel, située a la sortie de la wilayade Constantine, près de la route nationale N : 27 vers la Wilaya de Mila, juste après la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad. Le choix de cette station est basé sur l'effet de lapollution causée par les rejets de la wilaya de Constantine.



**Figure 16:** La deuxième station (RH2) en aval de l'oued Rhumel.

## IV.2. Calendrier des prélèvements

La saison d'échantillonnage varie selon les objectifs poursuivis par l'étude. Les deux stations ont été sélectionnées sur des lieux stratégiques en fonction des observations faites sur terrain (rejets, sources de pollution, affluent du Rhumel...). Afin de mettre en évidence une éventuelle contamination métallique au sein du compartiment sédimentaire, nous avons réalisé trois campagnes de prélèvement suivant les saisons.

**Tableau 11:** Calendrier des prélèvements.

Station	RH1	RH2
Date	21/09/2014	21/09/2014
	17/01/2015	17/01/2015
	20/04/2015	20/04/2015

## IV.3. Compartiments eaux

Les stations ont été choisies en fonction de notre étude, afin de mettre en évidence une pollution organique et une éventuelle contamination métallique.

### IV.3.1. Mesures physico – chimiques

#### IV.3.1.1. Température

La température de l'eau a été mesurée dans le milieu même. La lecture a été faite après une immersion de 10 minutes par la sonde d'un pH mètre (Hanna instrument hi 8314) à environ 15 cm de profondeur. Les résultats sont exprimés en degré Celsius °C.

#### IV.3.1.2. Potentiel hydrogène

Le pH est pris avec un pH mètre électrométrique, en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8 cm de la surface. Le pH mètre est étalonné avec des solutions étalons pH 4, 7 et pH 10 à 20°C (NF t 90-008). Les résultats sont exprimés en unités pH. La marque du pH mètre de type (Hanna instrument hi 8314).

### **IV.3.1.3. Conductivité électrique**

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre de laboratoire. L'appareil marque (Wtw d812 weilheim) est préalablement étalonné avec des solutions de chlorure de potassium (KCL) (NF t 90-031). Les résultats sont donnés en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

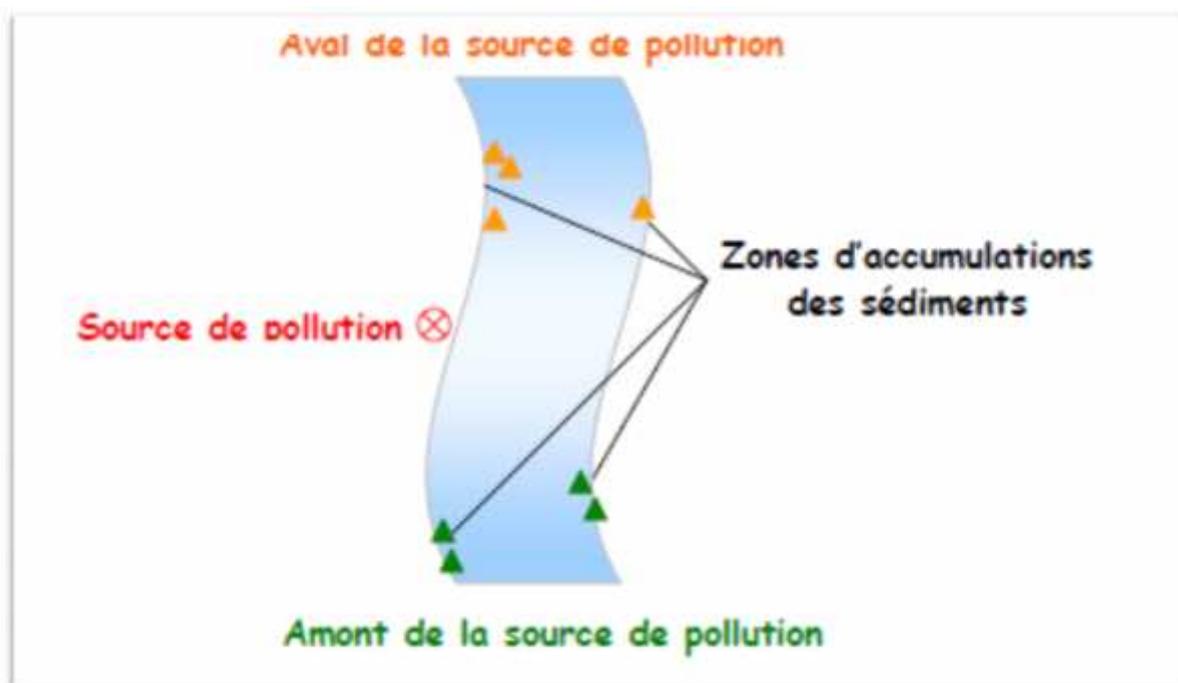
### **IV.3.1.4. Oxygène dissous**

Il est mesuré par une méthode électrochimique à l'aide d'un oxymètre de terrain. L'appareil marque (oxi 330 wtw) est équipé d'un dispositif thermosensible assurant la correction de la salinité. La mesure se fait par immersion de la sonde à 6 cm de la surface dans le cours d'eau pendant deux minutes pour respecter la circulation de liquide comme recommandé par le mode d'emploi de l'appareil. La lecture se fait en mg d'oxygène par litre et en % de saturation à une température de référence de 20 C°.

## **IV.4. Compartiments sédiments**

### **IV.4.1. Stratégie de prélèvement**

Les prélèvements ont été effectués selon la méthode de jugement linéaire (Tauw Environnement et Ophrys, 2001), (fig. 17). Cette méthode consiste à prélever des échantillons de façon précise aux endroits des zones considérées comme pertinentes pour l'étude (zones d'accumulation des sédiments, aval des rejets ou d'arrivée d'un effluent, ...).



**Figure 17:** Schéma représentant la stratégie de prélèvement.

#### IV.4.2. Mode de prélèvement et traitement des sédiments

Il existe actuellement de nombreux modes de prélèvements et il est maintenant possible de définir un mode de prélèvement en accord avec les conditions environnementales et l'objectif de l'étude (Environnement Canada, 1994).

A travers cette étude, nous nous intéressons essentiellement à révéler une contamination métallique relativement jeune du sédiment qui traduit une pollution récente ou actuelle.

L'échantillonnage des sédiments doit par conséquent répondre à cet objectif ; pour cela nous prélevons, en raclant à la louche, les sédiments fins fraîchement déposés en surface (environ 5 cm) sur les berges et les endroits où le régime hydrologique est faible. En effet, ces zones favorisent le dépôt des particules fines sur lesquelles les polluants sont préférentiellement fixés. Un échantillon composite (environ 200 à 500 g de sédiments humides) est ainsi collecté dans un pot en polyéthylène, en plusieurs endroits répartis d'une façon aléatoire au niveau de chaque station afin d'être représentatif.

Sur l'ensemble des échantillons prélevés sur l'Oued Rhumel, plusieurs paramètres de qualité sont déterminés. Outre les ETM qui sont le cœur de ce travail, des analyses complémentaires sont entreprises pour mieux comprendre la physicochimie du milieu dans sa globalité à savoir : pH, la conductivité électrique (CE), matière organique (MO) et le calcaire total (COT).

Les techniques d'analyses employées sont présentées brièvement dans les paragraphes suivants avec un accent particulier et détaillé sur la technique d'extraction des ETM.

#### **IV.4.3. Préparation des échantillons**

Dès le retour au laboratoire, les sédiments prélevés sont transvasés dans des cristallisoirs, étchés dans une étuve à 85°C pendant 48 heures, afin d'assurer leur séchage complet. Après refroidissement, ils sont broyés dans un mortier en porcelaine, puis tamisés selon leur destination :

- Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques (pH, CE, Calcaire total...), où les sédiments sont tamisés à 2 mm.
- Les échantillons destinés au dosage des métaux lourds sont tamisés à 63 μm.

#### **IV.4.4. Paramètres physico-chimique**

Les paramètres physico-chimiques sont déterminés par : la mesure du potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la matière organique (MO) et le calcaire total (COT).

##### **IV.4.4.1. Potentiel hydrogène (pH)**

Dans un bécher, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés à 20 g de sédiments secs tamisés à 2 mm (rapport 1/2.5). Après agitation pendant 2 minutes suivie d'une décantation pendant 30 minutes, le pH de l'échantillon est mesuré au niveau du surnageant (Rodier et al, 2005) à l'aide d'un pH mètre étalonné avec des solutions à pH 4.7 et 9 à 20°C (AFNOR, NFT 90-008, Avril 1953). Les lectures sont exprimées en unité pH.

#### IV.4.4.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est un paramètre qui traduit par une estimation, la concentration des sels solubles dans un échantillon. Dans un bécher, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés à 10 g de sédiments secs broyés et tamisés à 2 mm (rapport 1/5).

Après agitation pendant 1 heure à l'aide d'un agitateur réglé à la vitesse 6, et après un temps de repos d'environ 30 minutes, l'échantillon est centrifugé par la suite pendant 2 minutes à 2000 tours / minute. La mesure de la conductivité électrique s'effectue sur le surnageant obtenu après centrifugation à l'aide d'un conductimètre modèle. Les lectures sont exprimées en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

#### IV.4.4.3. Calcaire total (COT)

Le calcaire total est déterminé selon la méthode du calcimètre de Bernard décrite par DuChauffour (1977). Cette technique est basée sur le dosage des carbonates dont la quantité est proportionnelle au volume du  $\text{CO}_2$  dégagé lors de leur réaction avec l'acide chlorhydrique.

Selon la réaction suivante :  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Les résultats sont exprimés en mg/l de COT.

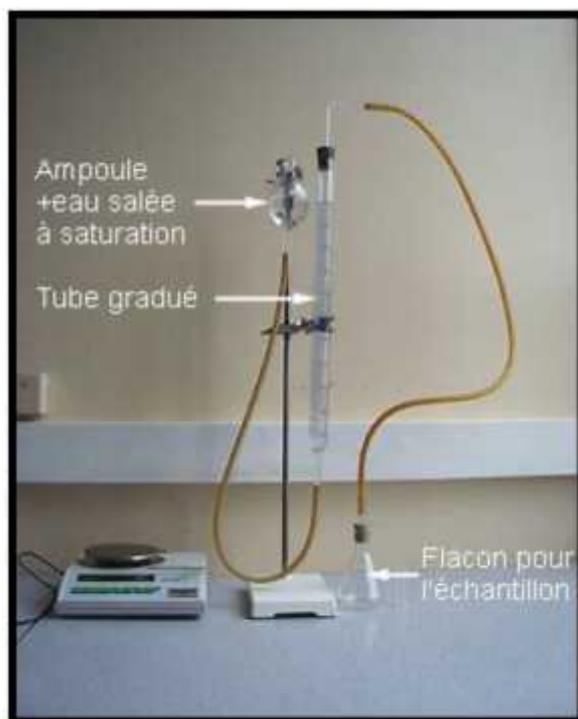


Figure 18 : Photo de calcimètre de Bernard.

#### IV.4.4.4. Matière organique (MO)

La teneur en matière organique est évaluée par la perte de masse de 1 g d'échantillon sec tamisé à 2mm après chauffage à des degrés successifs de 150, 300 et 525 °C. Les résultats de la matière organique sont exprimés en mg.

#### IV.4.5. Analyses des métaux lourds

##### IV.4.5.1. Extraction des ETM

Les techniques d'extraction des ETM diffèrent d'un auteur à l'autre. La meilleure méthode doit rendre compte d'un minimum de concentration et présenter le maximum de précision. Deux techniques d'extraction peuvent être envisagées en fonction du but fixé : L'extraction simple et L'extraction séquentielle.

Dans notre cas et compte tenu de l'objectif de l'étude, nous avons opté pour l'extraction simple, il s'agit d'une méthode qui consiste en une digestion humide à l'eau régale (aqua regia), mélange d'HNO<sub>3</sub> et d'HCl dont les proportions sont 1 :3 (1V/3V) respectivement. Dans des bombes en téflon, 10 ml d'un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique concentré sont ajoutés à 1 g de sédiments secs tamisés à 63 µm. La digestion est effectuée sous pression et à chaud dans un four micro-onde. Cette digestion est réalisée en trois étapes, selon les conditions décrites dans le tableau 12.

**Tableau 12:** Etapes et conditions d'extraction des éléments traces métalliques.

Conditions N° Etape	Temps (mn)	Température (°C)	Puissance (%)
1	5	140	80
2	5	160	85
3	20	175	90

Après refroidissement, le liquide recueilli est transféré par filtration (avec papier Watman 540), dans une fiole de 50 ml où le volume est complété à 50 ml avec de l'eau pure. Les extraits obtenus sont ensuite conservés dans des flacons rincés préalablement avec de l'acide nitrique (10%) et de l'eau distillée afin d'éviter toute sorte de contamination.

La validité du processus d'extraction pour les sédiments est contrôlée à l'aide de l'analyse d'un échantillon de référence (matériau référence certifié). Il s'agit de sédiment d'un lac canadien (*Lake Sediment LKSD 1*), provenant d'Ontario, dont les teneurs certifiées en ETM (tab13) ont été déterminées après extraction à l'eau régale.

**Tableau 13:** Les teneurs certifiées en ETM dans les sédiments du lac Canadien (Échantillon de référence LKSD 1).

ETM	Teneur (ppb)
Cd	1.2

#### IV.4.5.2. Dosage de cadmium

Le dosage de cadmium (Cd) est effectué par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à four graphite A Analyste 100.

Avant de doser ce métal dans les échantillons, il faut établir une courbe d'étalonnage. Pour cela une gamme d'étalonnage est préparée, à partir d'une solution mère (à 1 g/l) de métal. Des solutions filles à 100 mg/l sont préparées en diluant 20 fois la solution mère. A partir de cette solution intermédiaire, on prépare la gamme d'étalonnage pour le cadmium par des dilutions.

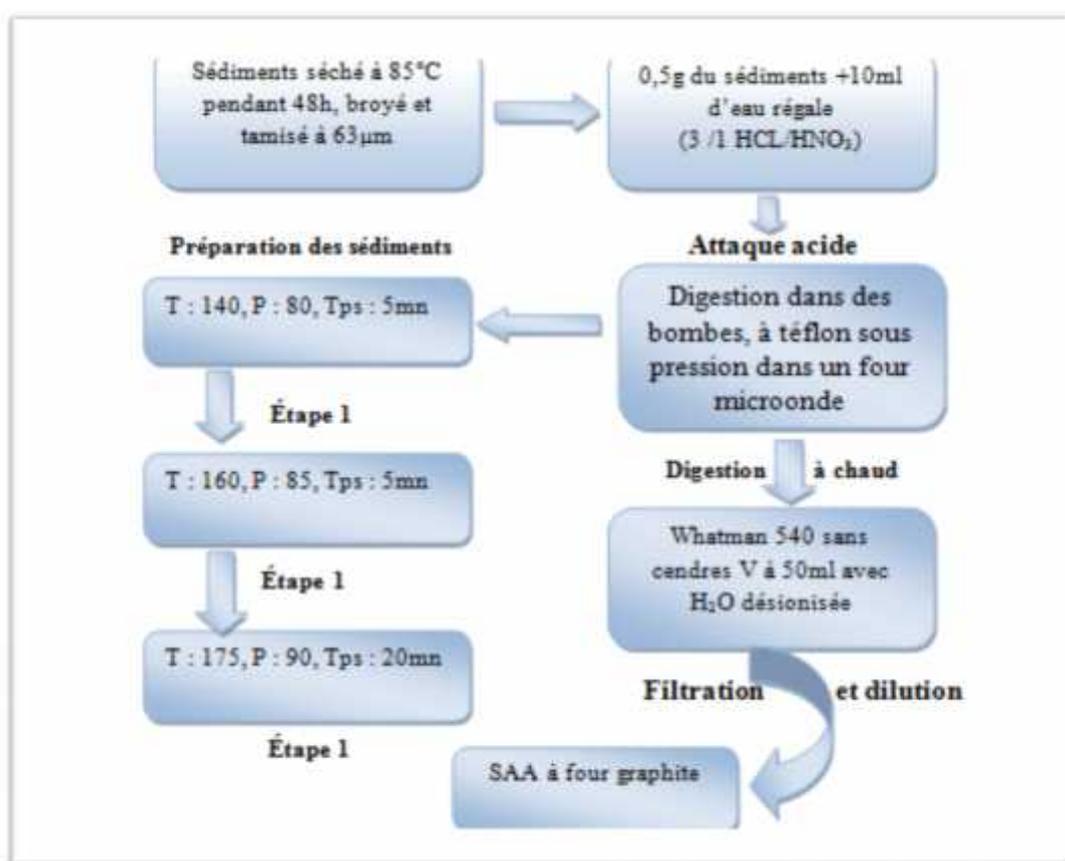
**Tableau 14:** Gamme d'étalonnage de cadmium (Cd).

Éléments Dosés	Étalons (ppb)			
Cadmium	0	1	2	5

#### IV.4.5.3. Principe de la Spectrophotométrie d’Absorption Atomique

Le principe de cette technique analytique est de déterminer l’absorption d’une radiation de longueur d’onde convenable par un gaz d’atomes de l’élément que l’on souhaite doser (SPIN, 2000). Le spectromètre utilisé fonctionne en mode flamme avec un mélange air-acétylène ou protoxyde d’azote-acétylène.

L’analyse en (F-SAA) nécessite la réalisation de standards pour l’établissement d’une courbe d’étalonnage. Ces standards sont réalisés à partir d’une solution étalon à  $1\text{g.l}^{-1}$  du métal à doser et sont acidifiés par  $\text{HNO}_3$  puis dilués avec de l’eau distillée.



**Figure 19:** Schéma conceptuel du protocole d'extraction des ETM dans les sédiments.

#### IV.5. Traitements des résultats

Pour mieux décrire les différentes variables qui caractérisent les données obtenues pour l’ensemble des stations, nous avons calculé certains paramètres statistiques.

### IV.5.1. L'analyse de la variance à un critère de classification (ANOVA)

La comparaison entre l'amont et l'aval de chaque campagne concernant les paramètres physico-chimiques étudiés et la teneur en cadmium sont réalisées à l'aide de l'analyse de la variance :

- Si  $p > 0.05$  : il n'existe pas de différences significatives entre les campagnes. NS.
- Si  $p < 0.05$  : il existe des différences significatives entre les campagnes.
- Si  $p < 0.01$  : il existe des différences hautement significatives entre les campagnes.
- Si  $p < 0.001$  : il existe des différences très hautement significatives entre campagnes.

### IV.5.2. ACP

Nous avons effectué un test de l'analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques analysés (eau, sédiments et cadmium) entre les stations étudiées dans l'oued Rhumel.

La phase essentielle de l'ACP consiste à transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles en  $P$  nouvelles variables quantitatives non corrélées, appelées composantes principales. Chaque composante principale est déterminée par un ensemble de valeurs propres déterminantes le déférent axe vectoriel. Ces axes sont des combinaisons linéaires des variables les plus importantes dans la définition des axes (Philippeau ; cité par Barkat, 1996) in (Djeddi et laouar, 2001)

## IV.6. Analyse Biologique

### IV.6.1. Mode de prélèvement

La série de prélèvements des macro-invertébrés a été réalisée en septembre 2014 et en avril 2015. Tout d'abord, il faut choisir méticuleusement les sites d'échantillonnages puisque la faune varie en fonction de l'habitat dans lequel on la retrouve. À chaque site, il faut échantillonner plusieurs types d'habitats, puisque les perturbations ne se font pas sentir partout de la même façon (Touzin, 2008).

Il est souhaitable de se mettre dans l'Oued avec des bottes, des cuissards ou des Wadders. Les prélèvements s'effectuent avec un échantillonneur de type « Surber » pourvu d'une base de surface de 1/20 m<sup>2</sup> (20x25 cm) et équipé d'un filet d'ouverture de maille de 500µm. Les prélèvements pour les différents micro-habitats présents sur le site sont réalisés face au courant d'eau dans un ordre prédéfini selon un protocole de prélèvement standardisé (NFT T90-350, Circulaire DCE 2007/22 du 11 avril 2007).

Le choix des micro-habitats retenus s'effectue à la fois en fonction de leur aptitude biogène (c'est à dire favorable à la vie aquatique), de leur représentativité au sein de la station et des différentes classes de vitesse du courant sur le site.

#### **IV.6.2. Traitement et conservation des échantillons**

Lorsque les coups de filet sont transférés, les gros débris (roches, bâtons et feuilles) sont inspectés et nettoyés. Les organismes benthiques sont remis dans l'échantillon et les débris, jetés. Les petits débris ne sont pas inspectés. Il est très important de débarrasser l'échantillon des plus grosses roches afin qu'elles n'écrasent pas les organismes lors du transport.

Ensuite, l'échantillon doit être rincé à l'eau claire afin d'enlever les sédiments fins. Pour ce faire, on enfonce le seau dans l'eau et on remue délicatement l'échantillon pour le débarrasser des particules les plus fines, lesquelles s'échapperont par le fond grillagé. L'opération peut être répétée plusieurs fois (Moisan et Pelletier, 2013).

Sur le terrain, les organismes recueillis sont transférés dans un ou des récipients en plastique, est ajouté un conservateur (formol dilué). L'échantillon est homogénéisé pour une bonne conservation des organismes. Cette conservation est un élément indispensable à la détermination. Des étiquettes au crayon permettent de reconnaître chaque échantillon.

Les échantillons sont ramenés au laboratoire pour tri, détermination et analyse. Le tri proprement dit des organismes s'effectue au laboratoire. L'échantillon est lavé à l'eau sur une colonne de tamis de différente grandeur de mailles (4mm, 2mm, 1mm, et 0.25mm). Les débris sont écartés et les organismes de chaque tamis sont transférés dans les bacs de tri. Les divers organismes de chaque tamis sont triés à vue et classés suivant les groupes taxonomiques dans des piluliers contenant une solution d'alcool dénaturé 70°

### IV.6.3. Détermination des organismes

Les taxons triés sont identifiés selon le niveau de précision requis (famille ou genre) à l'aide d'une loupe binoculaire et de clés de détermination (Atlas des Macro-invertébrés des eaux douces de l'île de la Réunion, 2008-2011, clé d'identification des macro-invertébrés aquatiques en Ontario, 2005 et Guide d'identification des principaux macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010).

Le but de l'identification est de déterminer la quantité de classes systématiques présentes dans l'échantillon (diversité), et la présence des groupes taxonomiques les plus sensibles. Le niveau d'identification varie en fonction du niveau de précision par le (tableau 15) qui s'avère le plus pratique (De Pauw et Vanhooren, 1983).

**Tableau 15 :** Limites de détermination des unités systématiques (D'après Tuffery et Verneaux, 1978).

Groupe	Niveau de
détermination	Genre
Plécoptères	Famille
Trichoptères	Genre
Ephéméroptères	Genre
Odonates	Famille
Coléoptères	Genre
Mollusques	Famille
Crustacés	Genre
Mégalopoles	Genre
Hémiptères	Genre
Plathelminthes	Genre
Hirudinées	Famille
Oligochètes	Présence
Némathelminthes	Présence
Hydocariens	Famille
Diptères	Famille

#### IV.6.4. Détermination de l'indice biotique (IB)

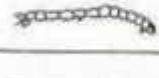
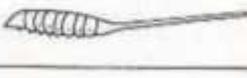
La détermination de l'indice biotique se base sur le tableau standard de Tuffery et Verneaux (1978) tableau (16) avec double entrée, les lignes faunistiques rencontrés (classées en 7 catégories) ceux-ci sont repris, de haut en bas, dans un ordre croissant de résistance à la pollution.

Les groupes ne supportant qu'une faible altération de l'eau sont en tête du tableau : ce sont les plécoptères, les éphéméroptères et les trichoptères, Les plus résistants à la pollution sont en bas du tableau, ce sont les *tubificidae* et certaines familles de diptères, les *chironomidae*, les *syrphidae*, les colonnes verticales correspondent au nombre total d'unités systématiques, rangées en classes, les indices biotiques sont définis par le croisement de la ligne correspondant au groupe faunistique le plus sensible représenté dans l'échantillon et de colonne correspondant au nombre total d'unités systématiques observées dans le même échantillon.

L'indice biotique varie de 10 à 0 il est d'autant plus élevé que l'on observe la présence d'un grand nombre d'unités systématiques dans l'eau étudiée.

L'indice biotique minimal 0 (pollution maximale) est atteint lors de la présence d'*eristalinae*, lorsque tous les autres groupes sont absents (seulement 1 unité systématique, ou l'absence de tous les groupes.

Tableau 16: tableau standard de Tuffery et Verneaux (1982).

	groupes faunistiques	nombre d'unités systématiques du groupe	nombre total d'unités systématiques dans le prélèvement					
			1	2 à 5	6 à 10	11 à 15	≥ 16	
sensibilité	1	PLÉCOPTÈRES 	>1	—	7	8	9	10
		ÉPHÉMÉROPTÈRES Ecdyonuridés 	1	5	6	7	8	9
	2	TRICHOPTÈRES à fourreaux  	>1	—	6	7	8	9
déclassée			1	5	5	6	7	8
	3	ANCYLIDÉS (Mollusques)  	>2	—	5	6	7	8
pollution		ÉPHÉMÉROPTÈRES sauf Ecdyonuridés 	≤2	3	4	5	6	7
	4	APHELOCHEIRUS (HÉMIPTÈRES)  		3	4	5	6	7
		ODONATES  GAMMARIDÉS (Crustacés) 		3	4	5	6	7
classée		PHYSES (Mollusques)  		3	4	5	6	7
	5	ASELLES (Crustacés)  SPHAERIDÉS (Mollusques) 		2	3	4	5	—
		SANGSUÉS  HÉMIPTÈRES (sauf APHELOCHEIRUS) 		2	3	4	5	—
non classée	6	TUBIFEX (Annélides) 		1	2	3	—	—
		CHIRONOMES (Diptères) 		1	2	3	—	—
	7	ÉRISTALES (Diptères) 		0	1	1	—	—

— limite de pollution       eaux non polluées       eaux polluées

#### IV.6.5. Détermination de l'indice biotique (IBGN)

Une liste de 152 taxons susceptibles de participer à la variété totale du milieu en invertébrés aquatiques (taxons ou t) a été retenue. Parmi les 152 taxons susceptibles d'être présents, 38 taxons ont été sélectionnés comme indicateurs. Ils sont répartis en 9 groupes faunistiques indicateurs (GI) selon leur caractère polluo-sensible. Les numéros attribués à ces différents groupes faunistiques correspondent aux exigences des invertébrés vis-à-vis de la qualité du milieu, les groupes faunistiques 9 et 8 étant les plus exigeants.

Selon le tableau 12 on a calculé l'indice IBGN comme suit :

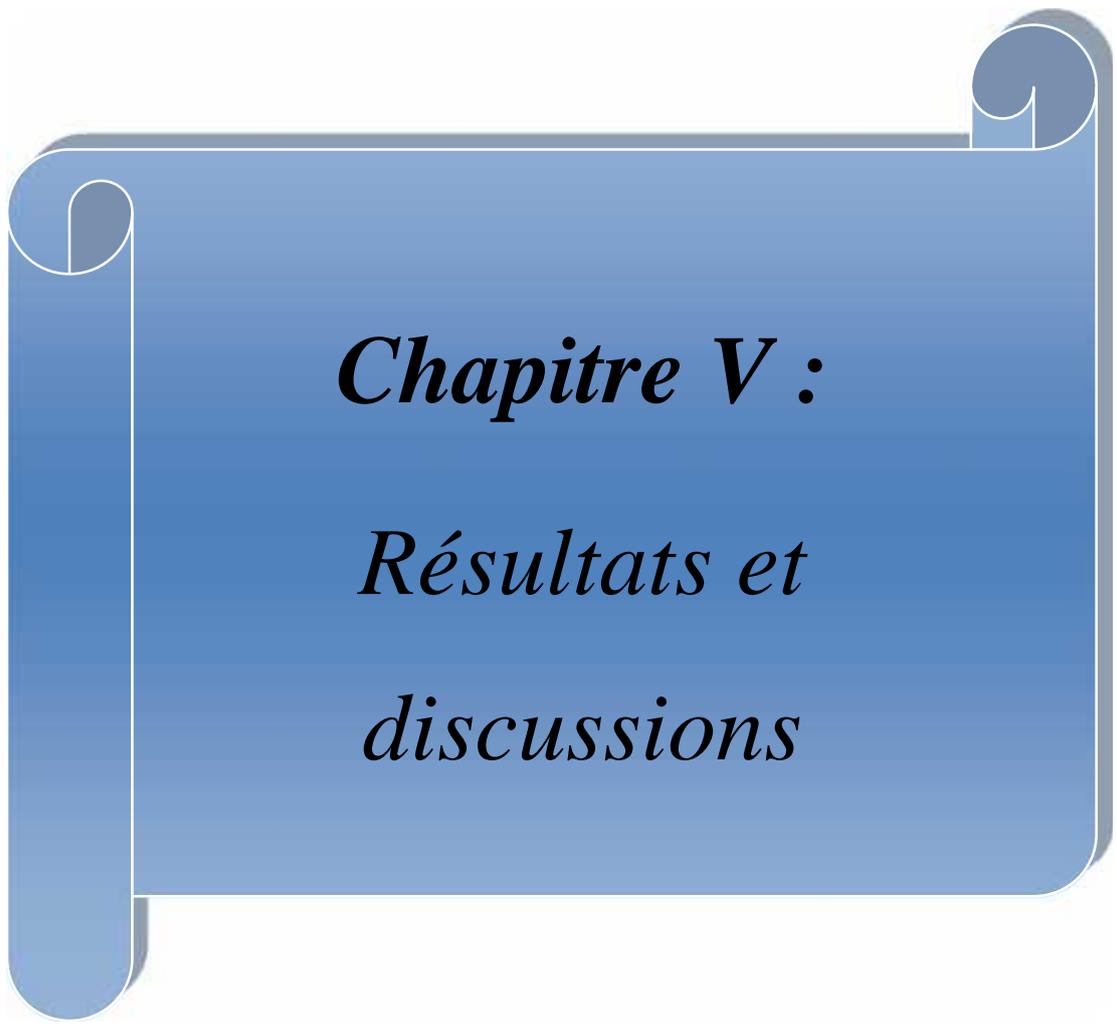
On recherche le taxon appartenant au groupe faunistique indicateur le plus élevé (9 s'il en existe, sinon 8, voire 7 en absence de taxons des groupes précédents,...), On ne prendra en compte que les taxons indicateurs représentés par au moins 3 individus ou 10 individus selon les taxons (voir note du tableau 17). C'est le taxon qui appartient au groupe faunistique le plus élevé qui sera retenu.

- On calcule ensuite le nombre total de taxons – répertoriés dans les 8 prélèvements réalisés sur une station est déterminé, soit taxons (ou t), quel que soit le nombre d'individus recensé par taxon.
- La note correspondante indiquée au tableau 3 (à l'intersection du groupe faunistique et du nombre total de taxons) correspond la note finale de la station (comprise entre 0 et 20) et donne la valeur de l'IBGN (Rodier, 2009).

**Tableau 17:** valeurs de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique des invertébrés aquatiques (Rodier, 2009).

Taxons	t	>	49	44	40	36	32	28	24	20	16	12	9	6	3
G/	50	45	41	37	33	29	25	21	17	13	10	7	4	1	
Chloroperlidae															
Perlidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Perlodidae															
Taeniopterygidae															
Capniidae															
Brachycentridae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Odontoceridae															
Philopotamidae															
Leuctridae															
Glossosomatidae															
Beraeidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Goeridae															
Leptophlebiidae															
Nemouridae															
Lepidostomatidae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
Sericostomatidae															
Ephemeridae															
Hydroptilidae															
Heptageniidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Polymitarcidae															
Potamanthidae															
Leptoceridae															
Polycentropodidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Psychomyidae															
Rhyacophilidae															
Limnephilidae (*)															
Hydropsychidae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Ephemerellidae (*)															
Aphelocheiridae															
Baetidae (*)															
Caenidae (*)															
Elmidae (*)	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Gammaridae (*)															
Mollusques															
Chironomidae (*)															
Asellidae (*)	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Achètes															
Oligochètes (*)															

(\*) Taxons représentés par au moins 10 individus. Les autres par au moins 3 individus.



*Chapitre V :*  
*Résultats et*  
*discussions*

Dans ce chapitre, nous exposons d'un part les résultats obtenus des analyses physico-chimique effectuées sur les deux compartiments eau et sédiments ainsi que les résultats des analyses des métaux lourds confirmés par un traitement statistique, et d'autre part nous présentons les résultats des analyses biologiques.

## V.1. Mesures physico-chimiques

### V.1.1. Compartiment «eau»

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau sont représentés dans le tableau suivant :

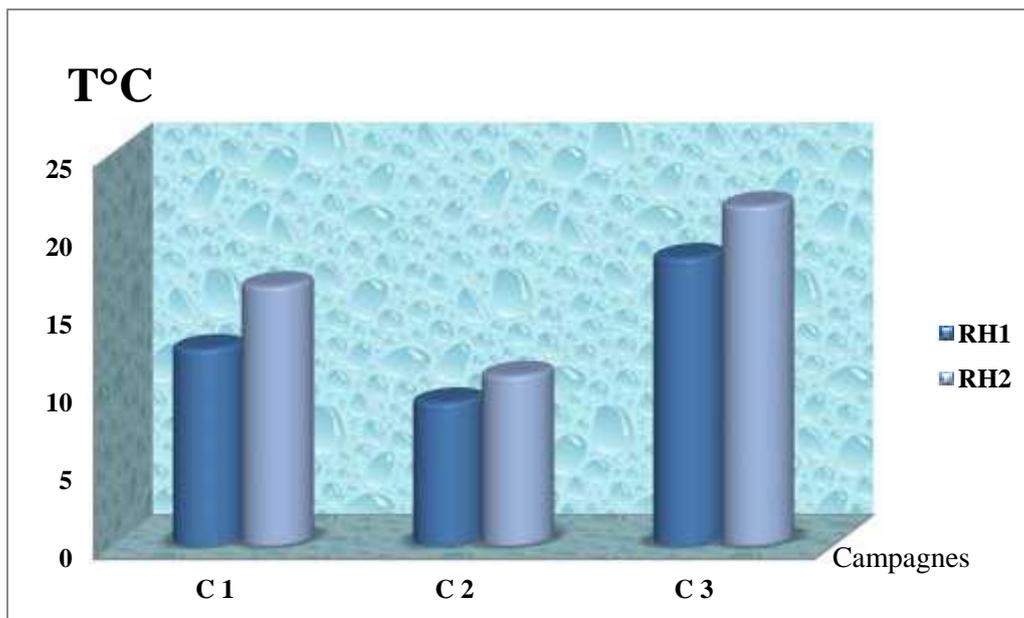
**Tableau 18:** Résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau.

Site	Oued Rhumel						Moy ± Ecart type
	C 1		C 2		C 3		
	RH1	RH2	RH1	RH2	RH1	RH2	
T (°C)	12.5	16.5	9.10	10.8	18.3	21.6	14,80±4,79
pH	7.94	8.05	6.93	8.28	8.25	8.36	7,96±0,53
CE (µs /cm)	1945	1698	1568	1654	2130	1726	1786,83±209,71
O <sub>2</sub> .d(mg/l)	9.56	6.29	7.20	9.63	8.03	6.13	7,80±1,545

Pour chaque paramètre étudié, nous avons tracé les diagrammes d'évolution des teneurs calculées sur les trois campagnes de prélèvement effectuées pour chaque station.

### V.1.1.1. La température

Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que le degré de la température présente une légère variation d'une station à l'autre (Fig.20), Avec un minimum de 9.1 °C (campagne 2) et un maximum de 21,6 °C (campagne 3). On a remarqué que la température de l'eau se réchauffe de l'amont vers l'aval dans les trois campagnes. Au cours du mois de septembre 2014 la température varie et oscille entre 12.5 et 16.5°C en remarque que la température est basse au cours du mois de janvier 2015 et varie entre 9.1 et 10.8 et augmente au cours du mois d'avril et oscillent entre 18.3 et 21.6 °C au niveau de la troisième campagne.



**Figure 20:** Variations spatiotemporelles thermiques des eaux de l'Oued Rhumel.

La température de l'eau est un facteur important dans la production biologique. Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques (HCEFLCD, 2006).

Pour l'ensemble des stations, l'augmentation de la température est causée par l'évolution des saisons, de l'hiver au printemps est la localisation des stations qui influe fortement sur ce paramètre. C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Rodier, 1984).

Selon le test BONFERRONI, la température de l'eau présente une variation non significatif entre l'amont et l'aval avec un  $P=0,50$  avec un groupe homogène A (amont, aval).

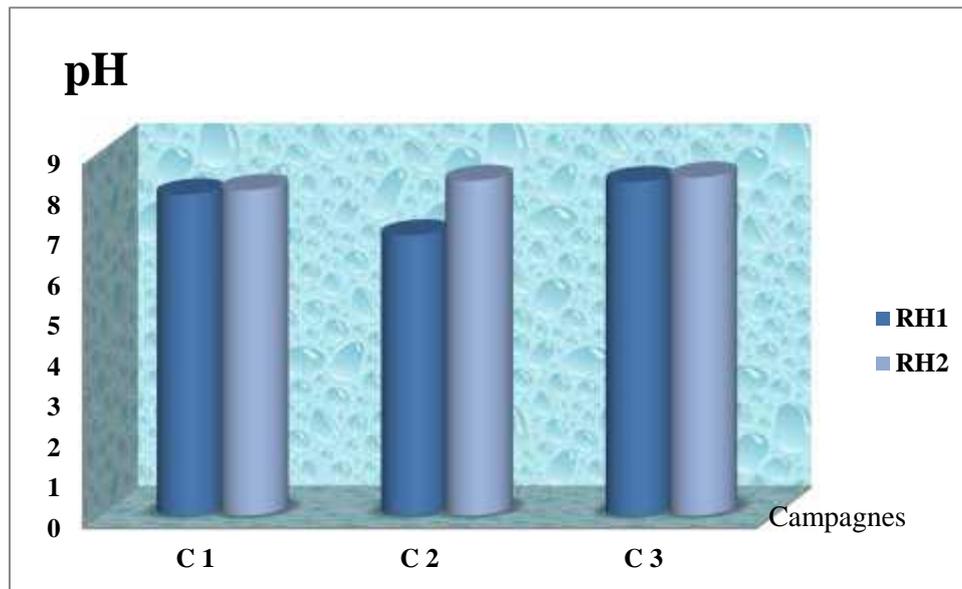
Si nous comparons nos résultats obtenus avec ceux mesurés par (Khaldi et Melghit, 2007), les eaux de l'Oued Rhumel sont toujours de qualité normale à bonne (classes 1A, 1B) respectivement en fonction de leurs températures.

**Tableau 19:** Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Masson, 1988).

Température (°C)	Qualité	Classe
$\leq 20$	Normale	1A
20–22	Bonne	1B
22 – 25	Moyenne	2
25 – 30	Médiocre	3
$\geq 30$	Mauvaise	4

#### V.1.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

L'examen de (fig.21), montre que la totalité des échantillons d'eau pour les trois campagnes sont caractérisés par une valeur du pH des eaux de l'oued Rhumel (qui traduisant l'acidité de l'eau) augmente de l'amont vers l'aval cela peut être dû aux rejets industriels de diverses natures et origines. Le pH enregistré au cours du mois de septembre varie légèrement entre 7.94 et 8.05 du même il varie aussi au cours du mois de janvier, entre 6.93 et 8.28. Au cours du mois d'avril les valeurs varient entre 8.25 et 8.36, le pH enregistré est faiblement alcalin.



**Figure 21:** Variations spatiotemporelle du pH des eaux de l'Oued Rhumel.

Le pH des eaux mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau, il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et lie au système tampon développé par les carbonates (Himmi et al, 2003).

En effet, chaque type d'eau contient une quantité plus ou moins grande de matière organique et inorganique qui modifie les concentrations en ions hydroniums ( $H_3O^+$ ) et en ion hydroxyle ( $OH^-$ ) et donc le pH. On rencontre des eaux à pH basique dans les régions calcaires, à cause de la teneur élevée en sels du calcium (UCL, 2013).

D'après Brémond et Vuichard (1973), les eaux alcalines présentent généralement une faune plus riche et plus diversifiée que les eaux acides.

Selon le test Newman-Keuls, le pH de l'eau indique une variation non significatif entre l'amont et l'aval avec un  $P=0,27$  avec un groupe homogène A (amont, aval).

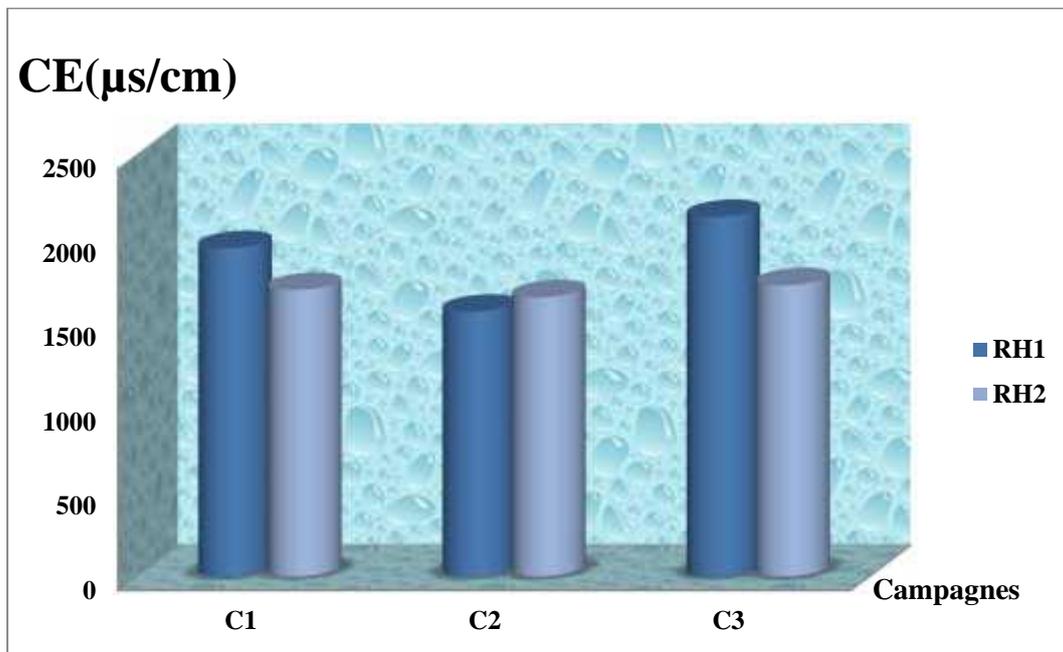
Nos résultats viennent à confirmer ceux des travaux précédents sur les eaux de l'oued Rhumel par (Sahli, 2002). L'eau d'oued Rhumel est de qualité très bonne pour la vie aquatique (tab.20).

**Tableau 20:** Aptitude à la biologie en fonction du pH (SEQ-Eau, 1999).

Qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
pH	8	8,5	9,0	9,5	>9,5

### V.1.1.3. Conductivité électrique (CE)

On note des valeurs élevées de conductivité allant de 1568 $\mu$ s et 1654 $\mu$ s au cours du mois de janvier. De même au cours du mois d'avril les valeurs de la conductivité électrique varient entre 2130  $\mu$ s et 1726 $\mu$ s. elle est comprise entre 1945 $\mu$ s et 1698 $\mu$ s au cours du mois de septembre.



**Figure 22:** Variations spatiotemporelles de la conductivité électrique des eaux de l'Oued Rhumel.

La mesure de la conductivité permet une évaluation rapide et approximative de la minéralisation globale ou la salinité de l'eau, même d'en suivre l'évolution (Boeglin, 2000).

L'ensemble des compagnes 1 et 3 montrent que la conductivité est élevée en amont par rapport à l'aval à l'exception de la compagne 2 qui présente une augmentation de l'aval vers l'amont. Ceci pourrait s'expliquer par les rejets qui diffusent de la zone industrielle Ouest (Palma) et de la ville de Constantine conduisant par voie de conséquence à une CE élevée au niveau des stations étudiées.

Selon le test BONFERRONI, la conductivité de l'eau indique une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P = 0,32$  avec un groupe homogène A (amont, aval).

Si la conductivité est supérieure à  $1000 \mu\text{s}/\text{cm}$ , la minéralisation est élevée (Rodier et al, 2005). Donc toutes les valeurs de conductivité obtenues au cours de la présente étude indiquent une minéralisation élevée, c'est-à-dire que les eaux d'oued Rhumel sont fortement minéralisées.

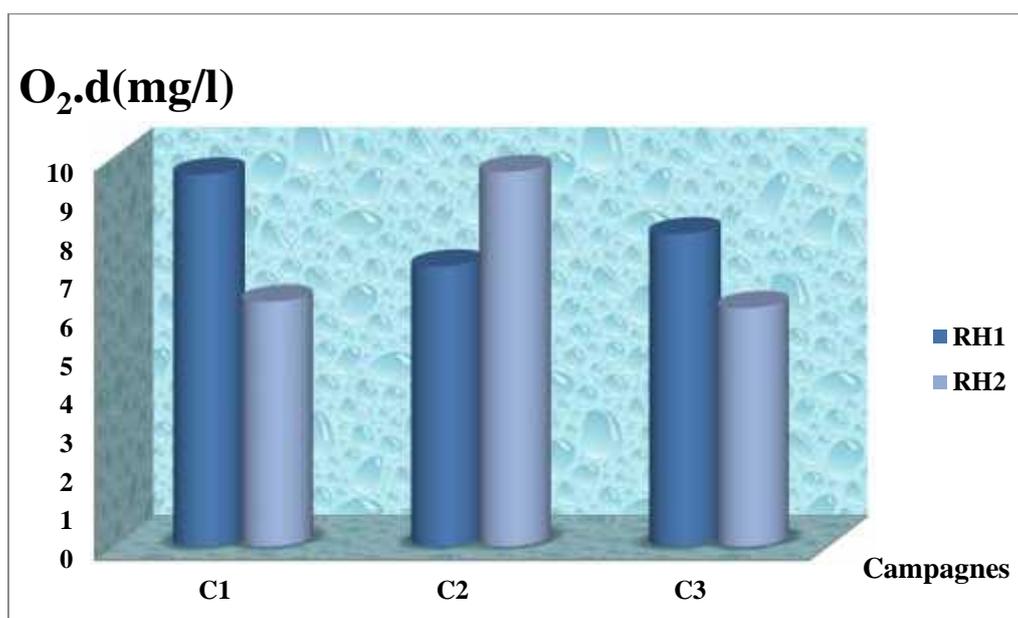
La conductivité d'une eau est un indicateur des changements de la composition en matériaux et leur concentration globale. Elle est proportionnelle à la quantité de sels ionisables dissous (Nisbet et Verneau, 1970). Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée (Bremond et Perrodon, 1979). Comparativement aux résultats des travaux précédents (Djeddi Et Laaouar, 2001), nos résultats sont assez semblables et viennent les confirmer. La CE des eaux de l'oued Rhumel est généralement supérieure à  $1000 \mu\text{s}/\text{cm}$ .

#### V.1.1.4. Oxygène dissous $\text{O}_2$

Les teneurs en oxygène dissous sont variables dans l'espace et dans le temps pour l'ensemble des trois compagnes (fig.23).

On remarque que les teneurs enregistrées en oxygène dissous sont très variables entre l'amont et l'aval de chaque station. La valeur la plus élevée  $9,63 \text{ mg/l}$  a été enregistrée au niveau de l'aval de la compagne 1, et la plus faible  $6,13 \text{ mg/l}$  au niveau de l'aval de la compagne 3.

Selon le test Newman-Keuls, l'oxygène dissous de l'eau montre une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P = 0,53$  et un groupe homogène A (amont, aval).



**Figure 23:** Variations spatiotemporelle de l'oxygène dissous des eaux de l'Oued Rhumel.

Les résultats obtenus dans l'amont de chaque campagne présentent des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène qu'indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense (IBGE, 2005). Un tel résultat peut être expliqué par la présence de matières organiques et minérales.

L'oxygène dissous ( $O_2$ ) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques (HCEFLCD, 2007). Il joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau (Belghiti et al, 2013).

Les résultats sont assez semblables avec les résultats des travaux précédents (Atrouz et Lefilef, 2014) et viennent les confirmer.

Selon la grille de la qualité (SEQ-Eau, 1999), les eaux de l'Oued Rhumel sont en général de qualité très bonne à bonne pour la vie aquatique.

**Tableau 21:** Aptitude à la biologie en fonction de l'oxygène dissous (SEQ-Eau, 1999).

Qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
O <sub>2</sub>	8	6	4	3	>3

### V.1.2. Compartiments «sédiment»

Les données des analyses physico-chimiques et des sédiments sont récapitulées dans le tableau ci-dessus :

**Tableau 22 :** Résultats des paramètres physico-chimiques des sédiments.

Site	Oued Rhumel						Moy±Ecart type
	C 1		C 2		C 3		
	RH1	RH2	RH1	RH2	RH1	RH2	
pH	8.88	8.47	8.43	8.20	7.70	7.33	8,16±0,56
CE (µs/cm)	619	265	148	840	363	545	463,33±253,62
CT(%)	63.22	61.11	81.48	67.90	61.11	59.14	65,66±8,30
MO(mg)	5.58	8.2	8.55	8.04	4.6	5.5	6,77±1,68
Cd(µg/g)	0,059	0,163	0,043	0,085	0,055	0,073	0,07±0,04

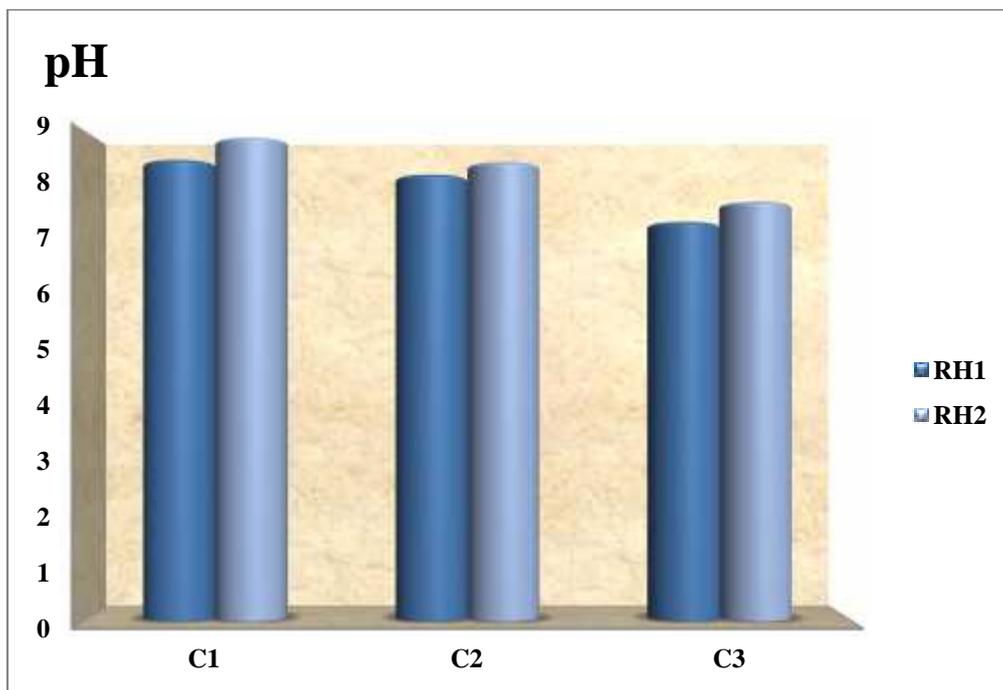
#### V.1.2.1. pH

Les résultats de la figure 24 laissent apparaître une légère variation de pH des sédiments entre l'amont et l'aval de chaque campagne.

Les sédiments de l'Oued Rhumel ont un pH voisin de la neutralité à caractère alcalin. Les législations Algériennes et européennes précisent comme niveau guide 6,5 pH 8,5 (JORA, 2000).

Le pH de sédiment de différentes stations oscillent entre 8.88 et 8.47 de la campagne 1 (Septembre 2014), entre 8.43 et 8.20 de la campagne 2 et entre 7.7 et 7.33 de la campagne 3 respectivement de l'amont vers l'aval.

Selon le test BONFERRONI, le pH des sédiments présente une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P = 0,52$  avec un groupe homogène A (amont, aval).



**Figure 24:** Variations spatiotemporelle de pH des sédiments de l'Oued Rhumel.

Les valeurs enregistrées indiquent un milieu légèrement basique avec une basicité légèrement plus importante pour les sédiments des stations probablement liée à la présence plus importante de carbonates. Ces derniers jouent un rôle important dans le maintien du pH. Ainsi, les valeurs du pH des sédiments sont en perpétuelle relation avec le pH des eaux. En effet, dans les eaux naturelles non soumises aux rejets industriels et urbains, le pH des sédiments dépend de ces eaux, de la nature géologique du lit et du bassin versant dans la rivière, le pH des eaux naturelles dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du lit du bassin versant de la rivière (Brémond et Vuichard, 1973).

Dans le cas du KebirRhumel, la couverture néogène à sédimentation continentale, essentiellement conglomératique, repose fréquemment directement sur la formation carbonatée (Djebbar et al, 2004)

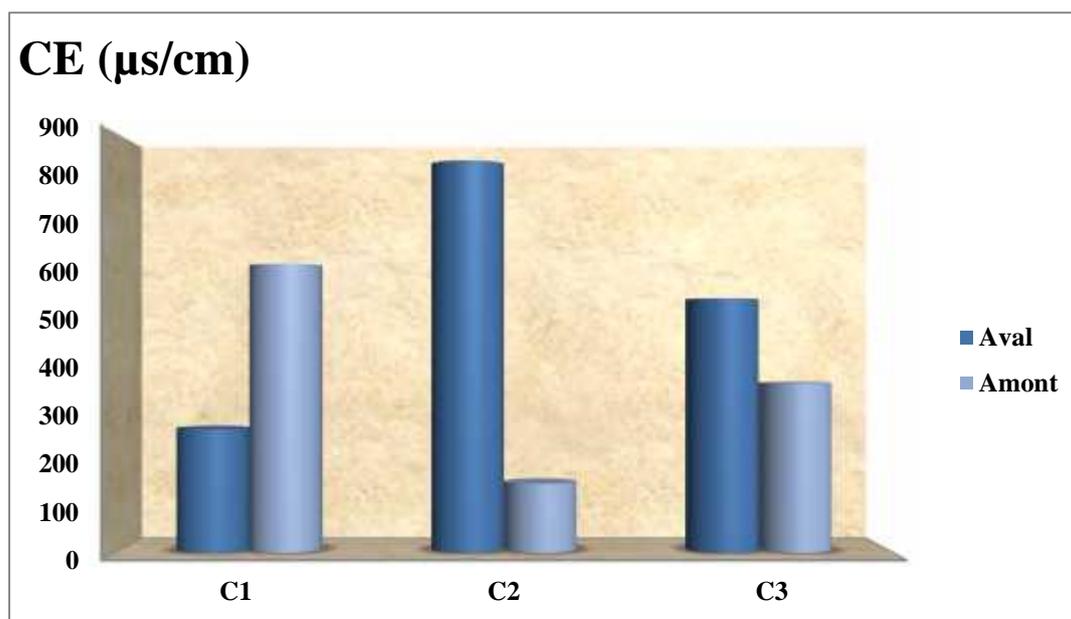
Une baisse du pH et une variation du potentiel d'oxydoréduction dans le milieu ambiant peuvent libérer les métaux associés aux sédiments. Leur biodisponibilité augmente alors, et ils deviennent plus susceptibles d'être toxiques pour les organismes benthiques. Les principaux métaux et métalloïdes connus pour être influencés par les conditions d'oxydoréduction et le pH sont l'arsenic, le cadmium, le chrome, le mercure, le plomb et le zinc (ECDEPC, 2007).

Si nous confrontons nos résultats à ceux de (Sahli, 2002), nous disons que les nôtres confirment.

#### **V.1.2.2. Conductivité électrique (CE)**

Les différentes conductivités électriques mesurées des sédiments d'adduction des échantillons étudiés durant les trois campagnes, vont de 619 et 265 $\mu$ s/cm, de 148 et 840 $\mu$ s/cm et de 363 et 545 $\mu$ s/cm respectivement de l'amont vers l'aval, dénotant un gradient croissant aval-amont au mois de janvier et avril à l'exception de la campagne 1 (Septembre 2014).

Selon le test Newman-Keuls, la conductivité des sédiments montre une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P= 0,46$  avec un groupe homogène A (amont, aval).



**Figure 25:** Variations spatiotemporelles de la conductivité des sédiments de l'Oued Rhumel.

La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon.

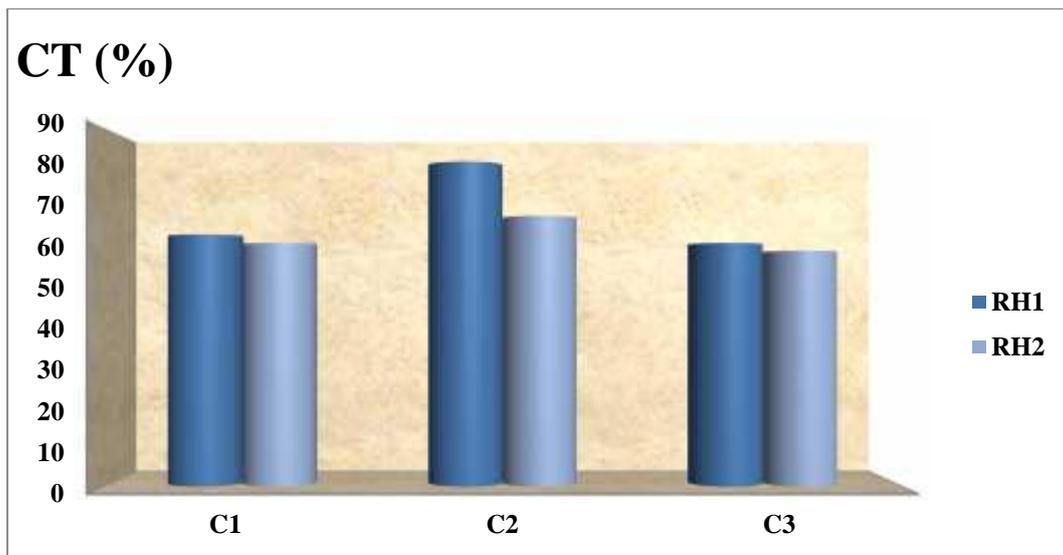
On remarque que la valeur la plus élevée  $840\mu\text{s}/\text{cm}$  est enregistrée au niveau de l'amont de la 2<sup>ème</sup> compagne reflétant ainsi une forte minéralisation qui peut être attribuée à des rejets industriels et/ou urbains.

La CE des sédiments de l'Oued Rhumel ainsi que celle de ses affluents présentent des ressemblances avec celles obtenus par (Melghit, 2009).

### V.1.2.3. Calcaire total (CT)

Les teneurs en calcaire total des sédiments de l'Oued Rhumel, varient légèrement entre les compagnes 1 et 2 (Septembre et Avril) à l'exception de la troisième compagne qui présente les valeurs les plus élevées, notons que, la valeur la plus faible (59,14%) est donnée par l'aval de la compagne 3 et la plus élevée dans l'amont de la deuxième compagne (81,48%).

Selon le test BONFERRONI, le calcaire total des sédiments indique une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P= 0,44$  avec un groupe homogène A (amont, aval).



**Figure 26:** Variations spatiotemporelles de calcaire total des sédiments de l'Oued Rhumel.

Les teneurs obtenus sont relativement élevées semblent être caractéristiques de ce milieu; elles sont la réponse de deux faits interdépendants, à savoir :

- le rejet des eaux usées traitées et des eaux industrielles qui apporte une charge organique importante et une masse considérable de nutriments qui occasionnent un développement important de la biomasse dans les eaux ;
- l'installation de conditions anoxiques voire même réductrices dans le sédiment dues à une augmentation excessive de la demande en oxygène (Ouertani et al, 2006).

Le Carbone Total comprend le Carbone organique et le Carbone minéral des carbonates. La part de cette dernière forme est très mineure dans les zones non calcaires, plus incertaine (mais a priori encore mineure) dans des zones calcaires (INERIS, 2010).

L'examen de la répartition des teneurs en COT à travers oued Rhumel, nous permet de distinguer que nos stations de prélèvements se caractérisent par un taux très élevés en calcaire total, ceci peut s'expliquer par la nature du milieu notamment la teneur en carbonates caractérisant la région d'étude. Ceci est essentiellement à la nature géologique du lit du bassin versant du Kébir-Rhumel qui, selon Mébarki (1984), présente une prédominance calcaire. Donc, il est naturellement présent.

Bien que la teneur en carbone organique total (COT) des sédiments puisse réduire la biodisponibilité des substances organiques non polaires et, par conséquent, leur toxicité pour les organismes benthiques, les données utilisées afin d'établir les critères sont insuffisantes pour permettre de quantifier et de prédire l'influence de ce paramètre sur la toxicité des contaminants (CCME, 1995).

Si nous comparons nos résultats avec ceux obtenus par (Melghit, 2009), nous pouvons constater que nos taux enregistrés présentent des similitudes avec ceux-ci.

Selon la grille de la qualité d'IFREMER, 2003 les eaux de l'Oued Rhumel sont en général de qualité Mauvaise.

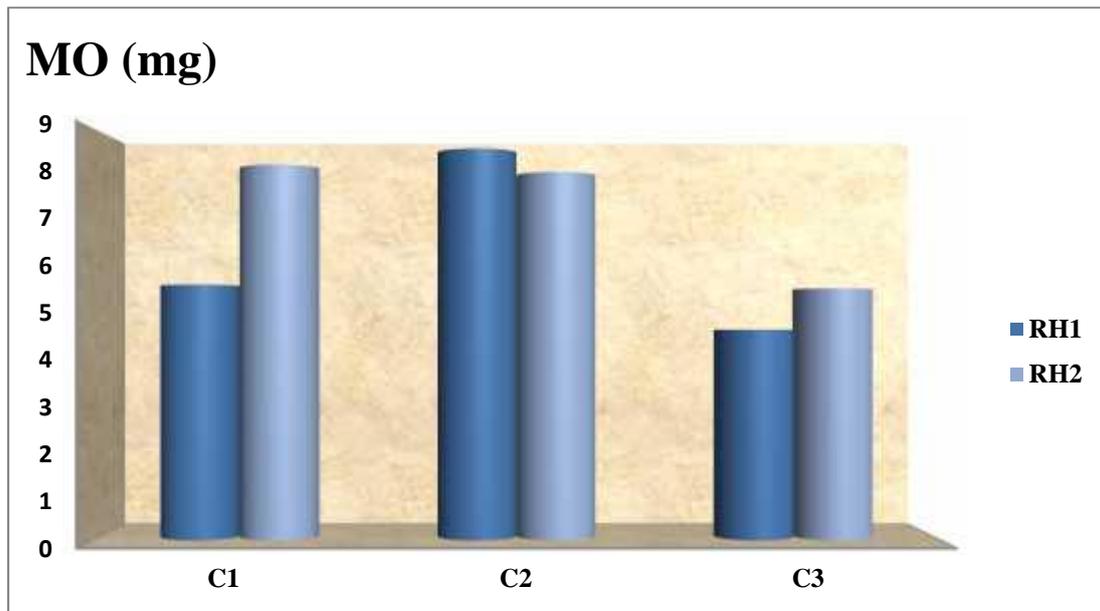
**Tableau 23:** La grille de qualité pour les sédiments est issue des travaux du groupe des travaux d'IFREMER (pour le CT).

indice	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
CT en % de prod sec	<0,6	0,6 à 2,3	2,4 à 4	4,1 à 5,8	>5,8

#### V.1.2.4. Matière organique (MO)

La matière organique (MO) est présente à des concentrations élevées dans les sédiments étudiés, les faibles valeurs sont observées pour la campagne 3 et les plus fortes valeurs dans les campagnes 1 et 2. Respectivement de l'amont vers l'aval, les teneurs varient entre 5,58% et 8,20 % pour la première campagne (septembre), entre 8,55% et 8,04% pour la deuxième campagne (janvier) et varient entre 4,6% et 5,5% pour le mois d'avril (campagne 3). Par conséquent, les sédiments d'Oued Rhumel peuvent être classés en sédiments organiques ( $C_{MO} > 3$ ).

Les résultats de test Newman-Keuls pour la matière organique des sédiments donnent, une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P = 0,50$  avec un groupe homogène A (amont, aval).



**Figure 27:** variations spatiotemporelles de la matière organique des sédiments de l'Oued Rhumel.

Dans un écosystème, le terme « matière organique » désigne l'ensemble des composés hydrocarbonés d'origine naturelle, autres que les organismes vivants, et les composés anthropiques (Pernet, 2008).

Les ETM peuvent être associés à différentes phases solides du sédiment dont la matière organique sous forme vivante ou détritique. Les particules organiques véhiculées par l'eau constituent alors un important vecteur de pollution (Sahli, 2012).

Selon le guide français de classification des matériaux routiers, avec une proportion en matière organique supérieure à 3 % et inférieure à 10% notre sédiment appartient à la classe F regroupant les sols organiques.

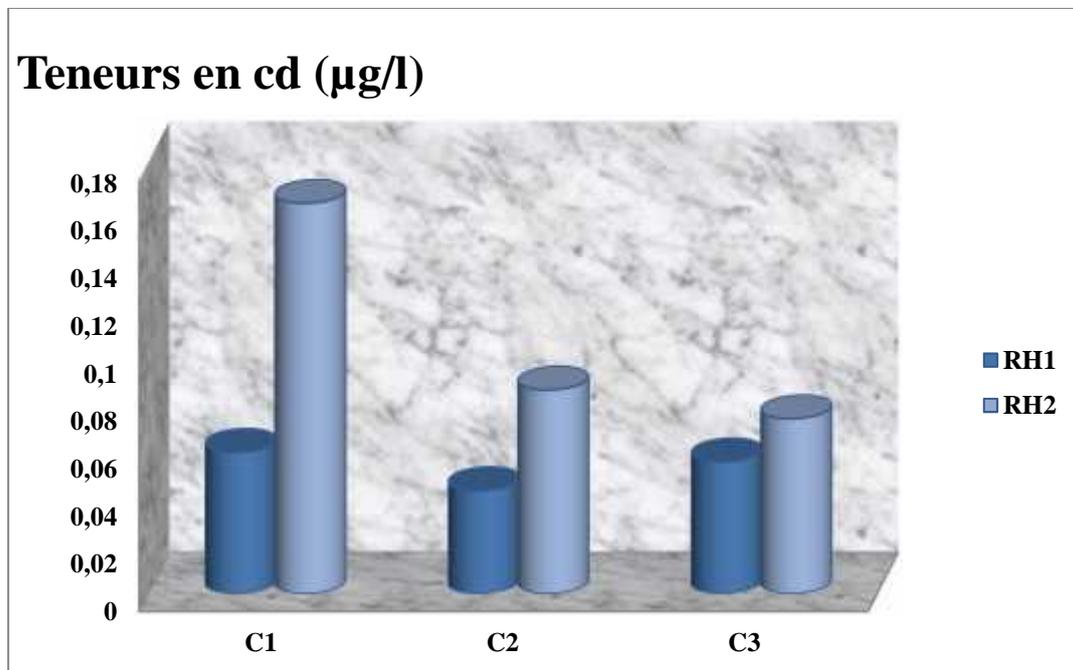
Ce résultat peut s'expliquer par l'influence des eaux usées chargées en matière organique et par le retour des eaux d'irrigation des terrains agricoles environnant le cours d'eau, riches en substances organiques (Ben Bouih et al, 2004).

Les teneurs en MO sont proches de ceux enregistrés par Lafont (1989) déterminés par perte au feu pour les sédiments des lacs de France.

### V.1.2.5. Le cadmium

L'examen de la figure 28 montre un décroissement de l'amont vers l'aval, on a relevé des faibles teneurs en cadmium, il est présent à des teneurs comprises entre 0.059 et 0.163  $\mu\text{g/g}$  au mois de septembre, il varie de 0.043 et 0.085  $\mu\text{g/g}$  au mois de janvier et entre 0.055 et 0.073  $\mu\text{g/g}$  au mois d'avril.

Selon le test BONFERRONI, le cadmium dans les sédiments révèle une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un  $P = 0,08$ , et on observe un groupe homogène A (amont, aval).



**Figure 28:** Teneur en cadmium des sédiments (ppm).

Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau de la première campagne, surtout pour la station aval en plus de sa situation par rapport aux rejets, elle est caractérisée par une activité agricole intense, ce qui explique ces fortes teneurs en cadmium.

Ces résultats montrent clairement que les sédiments des zones exposés aux rejets industriels et urbains sont plus contaminés que ceux qui sont à l'écart de ces rejets.

Cette station montre une origine agricole du Cd sans doute liée à la contamination des engrais phosphatés. Les transferts des contaminants des sols jusqu'aux eaux de surface s'effectuent par le ruissellement. Le lessivage des sols cultivés et non cultivés se traduit par un enrichissement des eaux des oueds en ETM notamment le cadmium par ruissellement durant les saisons pluvieuses surtout après application des engrais. Ceci pourrait expliquer les teneurs élevées en Cd enregistrées durant la période des hautes eaux.

Le cadmium est un élément non indispensable aux écosystèmes. C'est un élément toxique cumulatif qui agit à de très faibles concentrations.

Généralement, le cadmium est reconnu pour sa grande mobilité lorsqu'il est présent dans les sédiments acides et lorsqu'il provient de sources anthropiques (Kabata et Pend, 2001). Cette mobilité est causée par la faiblesse relative de ses associations avec les constituants du sédiment (Chauger, 2013).

Suivant les normes (CODEX, 2008), toutes les teneurs que nous avons déterminées dépassent les teneurs normales et indiquent une contamination métallique par le cadmium.

**Tableau 24:** Limites à ne pas dépasser pour le cadmium suivant les normes (CODEX, 2008).

Elément	Limite
Le Cadmium (Cd)	0,003mg/L

Nos teneurs varient de 0,043 à 0,163 $\mu$ g/g. Selon la grille de qualité (SEQ-EAU, 2003) nos sédiments sont de qualité très bonne pour la vie aquatique.

**Tableau 25 :** Micropolluants minéraux sur les sédiments (unité :  $\mu$ g/g = mg/kg) (SEQ eau, 2003)

Classe de qualité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Indice de qualité	80	60	40	20	
Cadmium ( $\mu$ g/g)	0,1	1	5	-	-

## V.1.3. Résultats de l'ACP

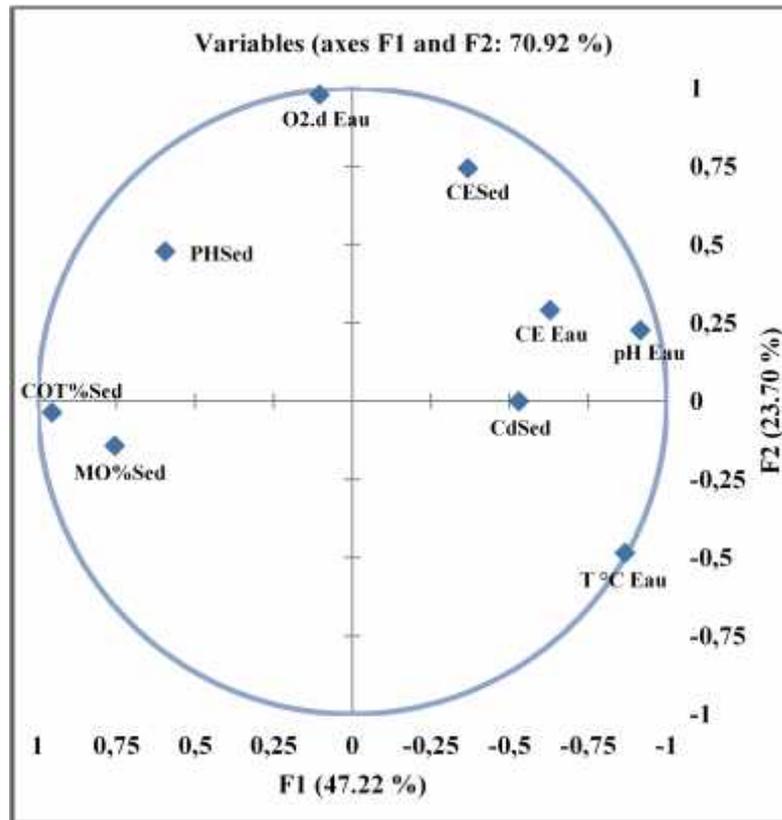
**Tableau 26:** Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, des sédiments et de cadmium.

Variable	T ° <sub>Eau</sub>	pH <sub>Eau</sub>	CE <sub>Eau</sub>	O <sub>2</sub> .d <sub>Eau</sub>	PH <sub>Sed</sub>	CE <sub>Sed</sub>	CT% <sub>Sed</sub>	MO% <sub>Sed</sub>	Cd <sub>Sed</sub>
T °C <sub>Eau</sub>	<b>1</b>								
pH <sub>Eau</sub>	0,668	<b>1</b>							
CE <sub>Eau</sub>	0,408	0,443	<b>1</b>						
O <sub>2</sub> .d <sub>Eau</sub>	-0,568	0,105	0,297	<b>1</b>					
PH <sub>Sed</sub>	-0,745	-0,478	-0,145	0,457	<b>1</b>				
CE <sub>Sed</sub>	-0,033	0,634	0,082	0,660	-0,058	<b>1</b>			
CT% <sub>Sed</sub>	-0,810	-0,899	-0,563	0,109	0,371	-0,351	<b>1</b>		
MO% <sub>Sed</sub>	-0,624	-0,524	-0,878	-0,126	0,429	-0,199	0,636	<b>1</b>	
Cd <sub>Sed</sub>	0,417	0,683	0,005	-0,165	-0,014	0,270	-0,705	0,084	<b>1</b>

Le tableau 26 représente la matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques déterminés. D'après les résultats de cette matrice, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- le cadmium dans les sédiments corrèle positivement avec température et le PH de l'eau, et avec la conductivité des sédiments, les coefficients respectifs sont les suivants (0,417, 0,683 et 0,270), il présente une faible corrélation avec la conductivité de l'eau et la matière organique des sédiments dont les coefficients de corrélations sont respectivement (0,005 et 0,084). Il corrèle négativement avec l'oxygène dissous des eaux et le pH et le calcaire total des sédiments avec un coefficient de corrélation respectivement (-0,165, -0,014 et -0,705).
- La matière organique des sédiments corrèle négativement avec la température, le pH, la conductivité électrique et l'oxygène dissous de l'eau et avec la conductivité électrique des sédiments dont les coefficients de corrélation sont respectivement (-0,624, -0,542, -0,878, -0,126, et -0,199), elle est également corrélée positivement avec le pH et la conductivité des sédiments avec des coefficients de corrélation égale à 0,429 et 0,636.

- Le calcaire total est présente d'une part une corrélation négative avec la température, le pH et la conductivité de l'eau il corrèle aussi avec la conductivité des sédiments, les coefficients respectifs sont les suivants (-0,810, -0,899, -0,563 et -0,351), et d'autre part une corrélation positive avec l'oxygène dissous de l'eau et le pH des sédiments, les coefficients de corrélation sont respectivement (0,109 et 0,371).
- La conductivité électrique des sédiments est corrèle positivement avec le pH, la conductivité et l'oxygène dissous de l'eau avec des coefficients de corrélation respectivement égale à 0,634, 0,082 et 0,660. Elle corrèle négativement avec la température de l'eau et le pH des sédiments dont les coefficients de corrélation sont respectivement -0,033 et -0,058.
- Le pH des sédiments est présente une corrélation négative avec la température, le pH et la conductivité de l'eau avec des coefficients de corrélation respectivement (-0,745, -0,478, -0,145), le coefficient de corrélation 0,457 indique une corrélation positif entre le pH des sédiments et l'oxygène dissous de l'eau.
- L'oxygène dissous corrèle négativement avec la température et négativement avec le pH et la conductivité de l'eau dont les coefficients de corrélation sont respectivement (-0,568, 0,105 et 0,297).
- La conductivité de l'eau est corrélée positivement avec la température et le pH de l'eau avec des coefficients de corrélation respectivement égale à 0,408 et 0,443.
- Le pH de l'eau présente une corrélation positive avec la température de l'eau dont le coefficient de corrélation est de 0,668.



**Figure 29:** ACP des caractéristiques physico-chimiques (Eau, sédiments et cadmium).  
Cercle de corrélations et projection des variables.

La projection de l'ensemble des paramètres sur le plan formé par les deux premières composantes principales (axe 1 et axe 2) est illustrée par la figure 30. Ces deux axes expliquent respectivement 47,22% et 70,92% d'inertie et décrivent bien la plupart des paramètres étudiés.

La figure montre deux groupes. Le premier groupe formé par le calcaire total et la matière organique des sédiments, le deuxième groupe par le cadmium et le pH et la conductivité de l'eau, avec une corrélation négative entre ces deux groupes.

## V.2. Analyse biologique

Sur les deux campagnes de l'oued Rhumel 15 unités systématiques ont été déterminés : 9 familles dans l'amont, 7 familles dans l'aval pour la campagne 1, et 4 familles en amont et en aval pour la deuxième campagne de prélèvements.

Les macro-invertébrés dominants dans oued Rhumel sont répartis sur cinq groupes: Annelidés, Mollusques, Diptères, Ephéméroptères et Hémiptères (tableau 27). L'ordre le plus représenté est comme suit :

- **Les Diptères** : avec quatre familles dont la famille des *Chironomidae* qui est présente sur toutes les stations mais plus abondante sur les stations aval de la 1<sup>ère</sup> campagne, *Ampididae*, *Athericidae*, et *Syrphidae* qui se trouve dans l'aval de la 1<sup>ère</sup> campagne, se sont les familles les plus résistantes à la pollution.
- **Les mollusques** : principalement représentés par les familles : *Planorbidae* et *Lymnaeidae* qui se trouve en aval de la campagne 1, *Physidae* et *Bithynidae* qui se trouve en aval pour la campagne 3 et *Neritidae* colonisant l'amont pour la campagne 3.
- **Annélides** : se trouve en plus grand nombre sur toutes les campagnes avec deux familles (*Salifidae* et *Glossiphonidae*).
- **Ephéméroptères** : avec trois familles (*Baetidae*, *Ephemerellidae* et *Coenagrionidae*) ont colonisés l'amont pour la 1<sup>ère</sup> campagne
- **Hémiptères** : sont présents dans l'amont et l'aval de la campagne 3 à travers la famille *Corixidae*.

**Tableau 27:** Liste des macro-invertébrées récoltées et calcul de l'indice biotiques del'Oued Rhumel.

Site		Oued Rhumel			
		Compagne 1		Compagne 3	
Unité systématique		RH1	RH2	RH1	RH2
Ephéméroptères	<i>Baetidae</i>	+			
	<i>Ephemerellidae</i>	+			
	<i>Coenagrionidae</i>	+			
Hémiptère	<i>Corixidae</i>			+	+
Mollusques	<i>Neritidae</i>			+	+
	<i>Planorbidae</i>	+			
	<i>Lymnaeidae</i>	+			
	<i>Physidae</i>		+		
	<i>Bithynidae</i>		+		
Annélides	<i>Glossiphonidae</i>	+	+	+	+
	<i>Salifidae</i>	+	+	+	+
Diptères	<i>Ampididae</i>		+		
	<i>Athericidae</i>		+		
	<i>Chironomidae</i>	+	+	+	+
	<i>Syrphidae</i>		+		
Indice biotique					
IB (Tuffery et Verneaux)		5	4	3	2
IBGN		4	3	2	3
Classe de pollution		IV	IV	IV et V	V et IV

### V.2.1. L'indice biotique selon Verneaux et Tuffery (1967) (IB) et IBGN

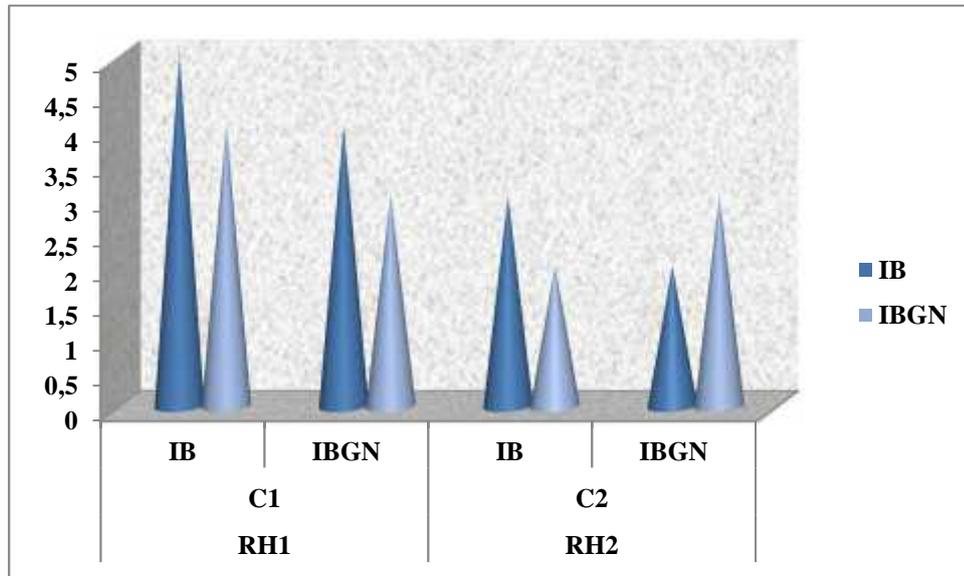
Indice biotique IB, comme d'ailleurs l'indice biologique global normalisé qui le remplace maintenant, permettent une bonne approche de la qualité des eaux dans les cours d'eau.

L'indice biotique IBGN est plus exigeant que l'IB : par exemple, il ne classe les *Heptageniidae* que dans le groupe indicateur, alors que l'IBGN les classe dans les groupes indicateurs de 5 à 9. Il y a aussi plus de classes de biodiversité, ce qui le rend plus sensible et donc plus précis.

Pour cela nous avons déterminé les deux (IB et IBGN) et nos résultats sont les suivants :

Pour la campagne 1 (septembre), l'indice biotique est de IB=5 en amont et IB=4 en aval, ce qui montre une situation de pollution moyenne à élevée respectivement. Alors que L'amont révèle l'indice biologique global normalisé le plus important IBGN=4, puis l'indice diminue vers l'aval il est égale à 3. Ces faibles valeurs indiquent des conditions de vie difficiles qui permettent à peu d'espèces de s'établir c'est un état de pollution très élevée.

Concernant la campagne 2 (avril) les valeurs enregistrées de l'indice biotique sont IB=3 et IB=2 respectivement de l'amont vers l'aval ce qui signale une situation de pollution élevée et très élevée pour les deux stations respectivement. On trouve presque le même résultat si on calcule l'indice biotique par l'IBGN qui révèle des qualités biologiques mauvaises.



**Figure 30 :** Variation dans l'espace et dans les temps de l'indice biotique des eaux de l'Oued Rhumel.

Ces valeurs indiquent que la diversité faunistique diminue, les espèces sensibles remplacées par les espèces plus résistantes à la pollution telle que les larves des *chironomidae* qui sont les plus abondantes dans nos deux stations d'étude.

Cet ordre est généralement considéré comme l'un des plus résistantes à la pollution et aux perturbations (Klemm et al, 1990), un nombre peu élevé de ces taxons est généralement liée à une augmentation des perturbations.

L'analyse des données de macro-invertébrés benthiques permet d'évaluer l'état de santé général des ruisseaux et des rivières. Elle diagnostique les effets d'un stress sur une communauté. De façon générale, les cours d'eau non dégradés supportent des communautés de macro-invertébrés diversifiées. Avec une augmentation des perturbations anthropiques, l'abondance des taxons les plus sensibles diminue alors que l'abondance des taxons tolérants à la pollution augmente tel que les *Chironomidae* (Touzin, 2008).

**Tableau 28:** Classification de la qualité biologique d'un site  
(De PauwetVanhooren, 1983).

<b>Indice</b>	<b>Classe de niveau de pollution</b>	<b>Couleur</b>
<b>10 – 9</b>	<b>I-pollution faible à nulle</b>	<b>Bleu</b>
<b>8 – 7</b>	<b>II-pollution faible</b>	<b>Vert</b>
<b>6 – 5</b>	<b>III-pollution moyenne</b>	<b>Jaune</b>
<b>4 – 3</b>	<b>IV-pollution élevée</b>	<b>Orange</b>
<b>2 – 0</b>	<b>V-pollution très élevé</b>	<b>Rouge</b>

On remarque que la qualité écologique des eaux de l'Oued Rhumel se dégrade de l'amont vers l'aval à l'exception de la deuxième campagne (IBGN). Ceci est dues probablement aux rejets industrielles est des eaux usées des quartiers ouest de la ville de Constantine.

Comparativement aux résultats des travaux précédents (Djeddi Et Laouar, 2001; Amira et al, 2012). Nos résultats sont très différents pour la station amont qui a été considéré comme référence en 2001, actuellement, elle montre une pollution moyenne vue l'indice biotique de 4. Ainsi que la station aval qui signale une situation critique pour les eaux de l'oued puisque l'indice biotique chute de 6 en 2012 à 3 pour A l'année 2015.



***Conclusion***

Pour conclure ce travail, il convient de rappeler que, dans la nature, l'eau est une véritable source de vie, mais elle peut véhiculer beaucoup de maladies dont certaines peuvent être mortelles.

L'Oued Rhumel est une ressource en eau plus importante dans la wilaya de Constantine, constituent un grand réceptacle de tout type de rejets de diverses natures. Ces cours d'eau sont soumis à des pressions démographiques et industrielles très importantes.

L'objectif principal de la présente étude est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux et des sédiments et la contamination métallique des sédiments par le cadmium, ainsi que la qualité biologique afin de déterminer le niveau de la pollution des eaux et des sédiments de l'Oued Rhumel, induite par les activités industrielles, agricoles et des agglomérations voisines de la zone d'étude.

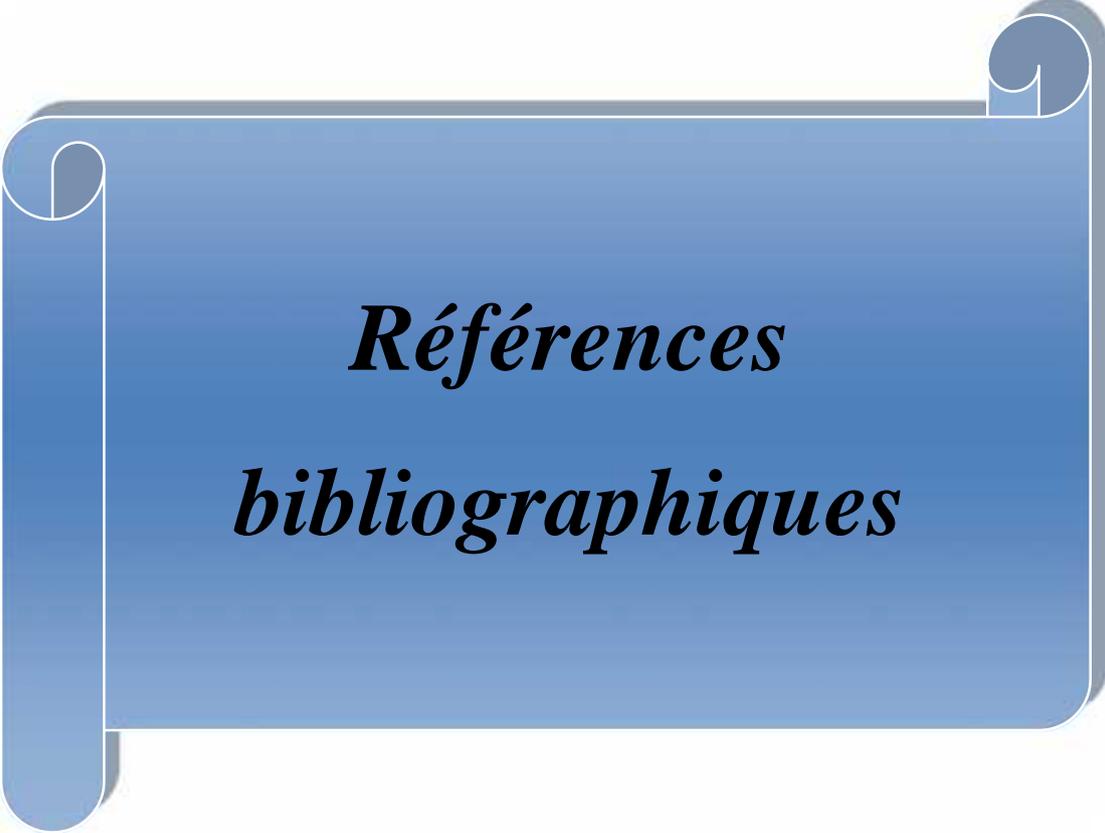
En effet, les résultats obtenus suite à cette recherche, nous ont permis de déduire les observations suivantes :

- La température de l'eau est saisonnière, déterminée par la température de l'air ;
- Le pH de l'eau est légèrement basique avec une moyenne n'excédant pas 8,5. Il présente une légère variation entre les stations d'étude ;
- La conductivité électrique de l'eau est très élevée puisqu'elle indique une minéralisation excessive ;
- L'oxygène dissous est un facteur indispensable à la vie de la faune macro-invertébré, il diminue de l'amont vers l'aval et montre une qualité bonne à très bonne (6.13 à 9.56 mg/l) ;
- Le pH des sédiments indique que le milieu est légèrement alcalin ;
- la CE des sédiments généralement élevée vue la nature géologique carbonatée du bassin versant, augmente également suite aux rejets diffus ;
- Le taux de COT est très important surtout au niveau des sédiments de l'amont ce ci est du aux activités agricoles au sein de l'oued ainsi que de la nature du lit du bassin versant, il est considéré comme élément toxique pour les organismes benthiques ;
- La concentration de la matière organique est élevée donc nos sédiments sont considérés comme organiques ;

- Les sédiments superficiels constituent un véritable piège pour les ETM, le dosage du cadmium dans les sédiments a révélé que toutes les teneurs que nous avons déterminées dépassent les teneurs normales et indiquent une contamination métallique par le cadmium, cette pollution est peut être due aux activités agricoles situées près de nos stations d'échantillonnage ;
- L'analyse de la faune macro-invertébré benthique et le calcul de l'indice biotique (IB et IBGN) montre une perturbation évidente et révèle des qualités biologique mauvaise.

Notre étude montre que l'oued Rhumel est sérieusement perturbé par les divers rejets domestiques, industriels et agricoles malgré la collecte des eaux usées au niveau des STEP.

L'exploitation des eaux de surface nous oblige à traiter ces eaux pour les rendre potables tout en préservant leurs qualités physico-chimiques et le contrôle de la présence des métaux lourds.



*Références  
bibliographiques*

**Liste des références**

**A**

**Adriano, D.C ; 2001.** Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, 2nd Eds. Springer-Verlag, New York, NY, 866p.

**AFNOR, 1953.** Essais des eaux. Mesure électrochimique du pH avec l'électrode de verre. NFT90-008 (Avril, 1953).

**Afri-Mehennaoui, F.Z; Sahli L. et Mehennaoui S ; 2004.** Assessment of sediment traces metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. Environmetrics, 15, 435-446.

**Agence du Bassin Hydrographique (ABH), 2004.** Les Cahiers de l'Agence N° 8. Le Bassin du Kébir-Rhumel. Agence de Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue, Ministère des Ressources en Eau, 44p.

**Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, 1999.** Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°02.

**Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, 2002.** Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°5.

**Alzieu Claude, IFREMER, 2003.** Bio-évaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion.

**Amira, L ; Bouzraieb, S. et Hemici, Ch ; 2012.** Evaluation de la qualité biologique par l'indice biotique de l'oued Rhumel, Mémoire de l'écence, Ecologie, Centre Universitaire de Mila ,8p.

**Atrouz, F. et Lefile, A ; 2014.** Evaluation de la qualité des eaux de l'oued Rhume (paramètres physico-chimiques et biologiques), Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers, Centre Universitaire de Mila, 26 p.

## **B**

**Bahut, M. et Alzie ; 2003.** De la compréhension des phénomènes à la gestion des problèmes : approches et stratégies d'élaboration et utilisation des critères de qualités.291-327.

**Baize, 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols de France. Ed.Inra. Versailles, 408p.

**Barbour, M. T ; Gerritsen, J ; Snyder, B. D. et Stribling, J. B ; 1999.** Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macro-invertebrates, and Fish, 2e edition, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA841-B-99-002, 11 chapitres, 4 annexes, [<http://www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf>].

**Belabed, B-E ; 2010.** La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques, Biologie et physiologie des organismes marins», Université Badji Mokhtar –Annaba ,11 ,14 ,22p.

**Belghit, M.L ; Chahloui A .et Bengoumid ; 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknés (Maroc), Equipe Gestion et Valorisation des Ressources Naturelles, Laboratoire de Environnement et Santé. Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP 11201 Zitoune, Meknès, Maroc, 36 ps.

**Ben Bouih,H ; Assali. N ; Leblans M ; et Srhiri. A ; 2004.** Contamination en métaux traces des sédiments du lac Fouarat (Maroc) 1 Laboratoire d'Electrochimie et des Etudes d'Environnement, département de Chimie, Faculté des Sciences, BP133 Kénitra, Maroc,124p.

**Benito, V ; Devesa. V ; Munoz, O ; Suner, M.A ; Montoro, R ; Baos, R ; Hiraldo, F ; Ferrer, M ; Fernandez, M. et Gonzalez, M.J ; 1999.** Trace elements in blood collected from birds feeding in the area around Donana National Park affected by the toxic spill from the Aznalcollar mine.Science of The Total Environment, 242(1-3): 309-323 ps.

## *Liste des références*

---

**Bhutta, Z.A; Black, R.E; Brown, K.H; Meeks Gardner, J; Gore, S; Hidayat, A; Khatun, F; Martorell, R; Ninb, N.X; Penny, M.E; Rosado, J.L; Roy, S.K; Ruel, M., Sazawal, S; et Shankar, A; 1999.** Prevention of diarrhea and pneumonia by zinc supplementation in children in developing countries: Pooled analysis of randomized controlled trials. *Journal of Pediatrics*, 135(6): 689-697 ps.

**Black, R.E; 2003.** Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world. *Journal of Nutrition*, 133(5 SUPPL. 2).

**Boeglin, J.C ; 2000.** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur, 24 p.

**Boeglin, J.C; 2001.** L'eau et l'industrie. Technique de l'ingénieur, traité environnement. Article G1100, 4 p.

**Bottin, M ; 2012.** Structure des assemblages de diatomées benthiques en rivière : l'environnement explique-t-il tout, Processus écologiques et développement méthodologiques. Thèse de doctorat en Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, Université de Bordeaux I, 1, 5 ps.

**Bravard, J.P ; et Petts G.E. 1993.** Interférences avec les interventions humaines. In : Amoros C. and G.E. Petts. Eds. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson paris, pp. 233-253.

**Brémond, R ; et Vuichard R, 1973.** Les paramètres de la qualité de l'eau, Ed, La documentation française. Paris. 173p.

**Brémond, R ; et Perrodon, C ; 1979.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed : 259 p.

**Brunet, B ; 1993.** Les mots de la géographie, dictionnaire critique, *Collection Dynamiques des territoires*, 3<sup>ème</sup> Edition, RECLUS, 518p.

**Buffle, J; 1988.** Complexation reactions in aquatic systems: An analytical approach. New York, Ellis Horwood, John Wiley and Sons. 692 p.

**C**

**Callender, E; 2003.** Heavy Metals in the Environment-Historical Trends. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 67-105 ps.

**Calmano, W; Hong, J. et Forstner, U; 1993.** Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. Water science and technology, 28, N°8-9, 223-235 ps.

**Camargo, J.A; Alonso, A. et Puente M, 2004.** Multimetric assessment of nutrient enrichment in impounded rivers based on benthic macroinvertebrates, Environmental Monitoring and Publishers, 96:233-249 ps.

**CCME – Conseil Canadien Des Ministres De L’environnement ; 1995.** Protocole pour l’élaboration de recommandations pour la qualité des sédiments en vue de la protection de la vie aquatique. Préparé par Environnement Canada, Division des recommandations, Secrétariat technique du CCME, Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux. Ottawa. (Repris dans le chapitre 6 des Recommandations canadiennes pour la qualité de l’environnement.)

**Chauger, M ; 2013.** Analyse et Spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière  
Cas de l’Oued Essouk ,thèse de doctorat , Chimie Analytique , Université constantine I ,27p.

**Chapman, D; Kimstach, V; 1996.** Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, 59-126 ps.

**Chapman, P. M; Wang, F; Janssen, C; Persoone, G; et Allen, H.E; 1998.** Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, Bioavailability, risk assessment and remediation. Can.J.Fish Aquat. Sci 55 : 2212-2243.

## *Liste des références*

---

**Chauvin, Ch ; Peltre Marie,Ch ; Haury, J ; 2008.** La bio-indication et les indices macrophytiques, outils d'évaluation et de diagnostic de la qualité des cours d'eau, ingénieries n° spécial, Cemagref, UR Réseaux, épuration et qualité des eaux, 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas Cedex.

**CODEX, 2008.** Norme codexe-Standard 108-1981 modifiées en juin 1981, juillet 2001 et février 2008. les eaux minérales Naturelles.

**CNRC, 1979.** Les effets du cadmium dans l'environnement canadien, ( Centre National de Recherches Canada), (CNRC No. 16744), 150 p.

**Crist, R. H ; Martin, J. R ; Guptill, P. W. et Eslinge , J. M; 1990.** Interaction of metals and protons with algae. 2. Ion exchange in adsorption and metal displacement by protons. *Environnement Science & Technologie*, 24 N° 3, 337-342 ps.

**Csuros, M; 1994.** Environmental sampling and analysis for technicians. Ed. Techniques et documentations. Paris, 220 p.

## *D*

**Dali Youcef, N; Ouddane, B. et Derriche, Z; 2005.** Metals found in superficial sediments of the Tafna river and its estuary in North- Western Algeria. *Fresenius Environmental Bulletin*. Vol14- N°9: 753- 763 ps.

**De Pauw, N. et Vanhooren G, 1983.** Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*, 100 :153-168 ps.

**Derwiche, Benaabidate, L; Zian, A; Sadki, O ; Belghity, D. et ERWICH, E ; 2010.** Caractérisation physico-chimiques des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fes, Faculté des Sciences, Département de Biologie, Université Ibn Tofail, Kenitra, Maroc, 103 p.

**De Villers, J ; Squilbin, M. et Yourassowsky, C ; 2005.** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

**Deli, Bruxelles envirement ; 2011.** « Rapport sur les incidences environnementales du projet de programme de mesures accompagnant le plan de gestion de l'eau de la Région de Bruxelles-Capitale », 352 p.

**Djebbar, M; Bencheikh,L. M; Bakalowicz, M. et Meniai A. H; 2004.** Identification Hydrogéochimique du karst hydrothermal constantinois (Algérie nord-orientale). Sciences et Technologie, **22**, 133-140.

**Djeddi, H ; Laouar H ; 2001.** Mémoire de fin d'étude, pollution métallique et qualité biologique par les macroinvertébré du l'oued el Rhumel dans la zone urbaine de Constantine, Ps : 11, 99.

**Dobbs, A. J; Zabel, T. F; 1994.** Water quality control.*In* Rivers Handbook.Hydrological and ecological principals.Edit. P. Calaw and Geoffrey E. Petts, Vol. II, 321-336 p.

**DRE, 2006.** hydrologie «l'indice oligochète», Direction Régionale de l'Environnement, Haut Normandie, p1 ;

**Duchauffour, P ; 1977.** Pédologie I. Pédogénèse et classification. Ed. Masson, Paris, 477 p.

## ***E***

**ECDEPC, 2007.** Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration. 39 ps.

**Environnement Canada ; 1994.** Document d'orientation sur le prélèvement et la préparation des sédiments en vue de leur caractérisation physico-chimique et d'essais biologiques, Environnement Canada, Ottawa, 134p.

## *Liste des références*

---

**Esteban,R ;2006.** Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques - vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution, Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, 166p.

### ***F***

**Faurie, C ; Ferra, C ; Médoui, P ; Dévaux, J.et Hemptinne, JL ; 2002.** Écologie Approche scientifique et pratique, 5<sup>ème</sup> édition Lavoisier, 407pp.

**Faurie, C ; Christiane, F ; Paul, M ; Jean, D .et Jean Louis, H ; 2012.** 6<sup>ème</sup> Edition, TEC & DOC, 360 p.

**Forstner, U; Aslf, W; Calmano, W; Kersten, M. et Salomons, W;1986.** Mobility of heavy metals in degred harbor sediments. In Sediments and Water interactions, Sly-Peter-Ged., Springer- Verlag New York , United States, 371-380 ps.

### ***G***

**Garret,R ;2000.** Natural sources of metals to the environnement. Human and Ecological Risk Assesment, **6**, 945-963 ps.

**Gaujous, D ; 1995.** La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire. Ed. *Technique et Documentation*. Lavoisier, Paris, 220 p.

**Goff, F. et Bonnomet, V ; 2004.** Devenir et comportement des métaux dans l'eau - biodisponibilité et modèles BLM, Rapport technique Direction des Risques Chroniques Unité «Evaluation des Risques Ecotoxicologiques », Paris, 85 p.

**Gilbin, R ; 2001.** Caractérisation de l'exposition des écosystèmes aquatiques à des produits phytosanitaires - spéciation, biodisponibilité et toxicité. *Exemple du cuivre dans les eaux de ruissellement de parcelles viticoles (Roujan, Hérault, France)*, Thèse de Doctorat, Université De Genève, 216 p.

### ***H***

**Hadissi, A ; 2010.** Qualité biologique organoleptique d'eau produite par la station de traitement d'Ain tinn et distribuée à oued Endja. Instit Ellaarbi ben mehidi Mila. 55p.

**Hanon, M ; Rouelle, A ; 2011.** Le pH de l'eau de distribution, Portail environnement de Wallonie, Belgique. 132 p.

**Hebert, S ;Legre, S ; 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5 p.

**HCEFLCD, 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.

**Hellaweli J. M., 1986.** Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, Londres, Elsevier, 546 p.

[http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/RIE\\_Plan\\_Eau\\_PrM2011\\_rapport\\_et\\_annexes1et2.PDF](http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/RIE_Plan_Eau_PrM2011_rapport_et_annexes1et2.PDF).

**Himmi, N; Fekhaoui, M; Foutlane, A;Bourchic, H; EL mmaroufy, M, Benazzout, T. et**

**Hasnaoui, M; 2003.**Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista Beni Slimane – Morocco. Rivista Di Idrobiologia. Università degli studi di Perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia “G.B. Grassi”, 110–111p.

**Holmes; N.T. et Whitton, B.A; 1977.** Macrophytic vegetation of the River Swale, Yorkshire. *Freshw. biol.*, 7 : 545-558 ps.

**Horowitz, A; 1985.** A primer on Trace Metal Sediment Chemistry, United States Geological Survey. Hudson Edwards, K.A., Houghton, S.L. et Osborn, A., 2004. Extraction and analysis of arsenic in soils and sediments. *Trends in analytical chemistry*, 23(10-11): 745-752.

**Hurlbut, Jr ; C.S. et Klein, C ; 1982.** Manual de Mineralogía de Dana. Editorial Reverté, Barcelona, 564pp.

**HCEFLCD, 2006.** Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p.

## ***I***

**INERIS, 2004.** (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), Devenir et comportement des métaux dans l'eau : biodisponibilité et modèles BLM. Rapport technique. Paris:INERIS. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

**IBGE, 2005.** "L'eau à Bruxelles" Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 1, 3 Ps.

**INERIS, 2006.** Qualité chimique des sédiments fluviaux en France ; Synthèse des bases de données disponibles ; N° INERIS-DRC-10-105335-04971A ; 99p.

## ***J***

**Jongeren, S ; 2014.** Evaluation biologique de la qualité de l'eau par la détermination de l'indice biotique, parlement des jeunes citoyens de l'Escaut, p 3. [www.eurEAU@ction.com](http://www.eurEAU@ction.com).

**JORA, 2000.** Les normes de potabilité d'une eau de consommation. Journal officiel de la République algérienne N°51, 20 août 2000, Alger, 4 p

## ***K***

**Kabata-Pendias, A. et Pend, H., 2001.** Trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, 3rd Edition, USA, 331p.

**Kerdoud, S ; 2006.** Le bassin versant de Beni Haroun et pollution, thèse de magistère, Faculté des Sciences de la terre, Géographie et Aménagement du Territoire, Université Mentouri- Constantine, 11, 48, 61 ps.

**Khaled, A ; 1995.** La pollution, un phénomène universel qui s'aggrave et nécessite une lutte soutenue. 10/1995. [base.d-p-h.info/fr/fiches/premierdph/fiche-premierdph-2589.html](http://base.d-p-h.info/fr/fiches/premierdph/fiche-premierdph-2589.html).

**Khaldi, F.Z . et Melghit M ; 2007.** Qualité physico-chimique, pollution organique et contamination métallique (Fe, Cu, Mn et Zn) de l'Oued Rhumel et des eaux des barrages

## *Liste des références*

---

Hamam Grouz et Beni Haroun. Mémoire d'ingénieur en Ecologie et environnement. Université Mentouri, Constantine, 102p.

**Khamar, M ; Bouya, D. et Ronneau, C ; 2000.** Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. Water. Qual. Res. J.Canada. Volume **35 (1)**, 147-161 ps.

**Klemm,D. J; Lewis,P. A; Fulk, F. et Lazrchak, J. M;1990.** *Macroinvertebrate Field and Laboratory Methods for Evaluating the Biological Integrity of Surface Waters*, Cincinnati (Ohio), U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Environmental monitoring systems laboratory, EPA/600/4-90/030, 256 p.

### **L**

**Laouar, N. et Khoubbach, A ; 2006.** Mémoire de fin d'étude, La pollution organique des eaux de l'oued El kébir wilaya de Jijel, 5 p.

**Lafont, M ;1989.** Contribution à la gestion des eaux continentales : utilisation des oligochètes comme descripteurs de l'état biologique et du degré de pollution des eaux et des sédiments. Thèse de Doctorat en Sciences, Université Lyon I, 311 p.

**Leclercq, L ; 2011.** Les bio-indicateurs, que nous disent-ils? Application au bassin de la Vesdre: situation avant et après le démarrage des stations d'épuration de Wegnez et des Grosses-Battes, station scientifique des Haut fagnes laboratoire des milieux humides et des eaux, Université de Liège, 3 p.

**Lehtimet, N. et Abdelaziz,, S; 2006.** Qualité physico-chimique des eaux de l'oued El Kantra (casino) et celle de la plage de Bordj Bliada, Mémoire d'ingénieur en Ecologie végétal et Environnement. Université de Jijel.11 p.

**M**

**Mahan, B.H; 1987.** Química. Curso Universitario. Fondo Educativo Interamericano S.A.

**Makhouch,M; Sbaa, M ; Berrahou, A .et Clooster, M.Van, 2011,** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental), Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences, Centre de l'Oriental des Sciences et Technologies de l'Eau, Oujda, Maroc, 157 p.

**Montuelle, B ; 2012.** Qualité et gestion des sédiments d'eau douce. Eléments Physico-chimiques et biologiques. CEMAGREF Edition, 332p.

**Masson, J. P ; 1988.** Suivi de la qualité des eaux superficielles : l'expérience française. In : la qualità delle acque superficiali, criteria per una metodologia omogenea di valutazione, atti del convegno interazione. Palazzo dei Congressi. 99-100.

**Martin, G. et Laffort, P ; 1982.** Point sur l'épuration et le traitement des effluents (Eau/Air) Vol1. Tec et Doc.

**Mebarki, A ; 1982.** Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau, thèse doctorat de 3ème cycle, Université de Nancy II, 304p.

**Mebarki, A ; 2005.** Hydrologie des bassins versants de l'est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri-Constantine. 360p.

**Mebarki , A ;1984.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Le bassin du Kebir-Rhumel (Algérie). Doctorat troisième cycle. Office des Publications Universitaires.Alger. 302 p.

**Mebarki, A. et Thomas, C;1988.** Analyse des relations entre écoulements superficiels et souterrains à partir des hydrogrammes des cours d'eau. Application au bassin du Kébir-

## *Liste des références*

---

Rhumel dans le Constantinois (Algérie), Hydrologie continentale, O.R.S.T.O.M., Paris, 3,2, pp. 89-103.

**Melghit, M ; 2009.** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et Beni Haroun Université Mentouri de Constantine ; l'état : Magistère en Ecologie. Ps 4,141.

**Melhaoui, M ; 201.** Echantillonnage et étude des macro-invertébrés de la Moulouya, Document du stage de formation à la connaissance et la gestion de la biodiversité aquatique, Moulouya – Maroc.

**Merabet, S ; 2010.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun, mémoire de magistère, Chimie Analytique, Université Mentouri, 58, 59 ps.

**SPIN, 2000.** Méthode spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier : spectrométrie d'absorption atomique. Axe Génie des procédés , centre SPIN, Ecole de Mines de Saint-Etienne, 43p.

**Ministère de la Santé ; 2014.** Toxicologie Maroc, Publication officielle du Centre Anti Poison du Maroc N° 21 - 2ème trimestre 2014 ,2p.

**Miquel, M ; 2001.** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport N°261 OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES, SÉNAT N° 261,99 ,132 ,266 ,267ps.

**Moisan, J. et Pelletier, L ;2013.** Guide de surveillance biologique basse sur les macroinvertébrés benthiques d'eau d'ouche du Québec, ps : 4, 8, 10, 11.

**Moisan, J ; Gagnon É, Pelletier, 1. et Nathalie P ; 2010.** Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Edition Qubec, p1.

**Moisan, J. et Pelletier L ; 2011.** Protocole d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2011, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 39 p. ISBN 978-2-550-61166-0 (version PDF).

**Mustin M., 1987.** Le compost. Eds. François Dubusc. 954 p.

## *N*

**Nékhle, K. F; Cossa, D; Khlef, G et Beliaeff, B; 2005.** *Brachidontes variabilis* and *Patella* sp. As quantitative biological indicators for cadmium, lead and mercury in the Lebanese coastal waters. Environment Pollution vol 142, issue 1 : 73-82ps.

**NF ISO 14235, 1998.** Qualité du sol. Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique.

**NF T90-395 2003.** Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivières (IBMR).

**Nisbet M et Verneaux J., 1970.** Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses. Ann. De limnologie. Tome 6, n°2, 161-190.

**Nriagu, J.O;1991.** Human influence on the global cycling of trace metals. In: J.D. Farmer (Ed.), Heavy Metals in the Environment. CEP Consultants, Edinburgh, pp. 1-5.

**Nriagu, J.O., 1996.** A History of Global metal Pollution. Science, 272(april): 223-224.

**Neto, M ; 2007.** Scénarios de gestion de boue de dragage de cours d'eau : Rôle des bactéries dans la mobilité des polluants métalliques, Thèse de Doctorat, Institut des sciences appliquées de Lyon, 312p.

## *O*

**OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 1989.** Toxicological evaluation of certain food Additives and contaminants. 3ème rapport du comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs Alimentaires, rapport technique n°776 de l'OMS. Genève (Suisse). 156p.

**ONEMA, 2006.** L'indice poisson rivière (IPR), office nationale de l'eau et des milieux aquatiques, Université Lyon I, Laboratoire d'Écologie des eaux douces et des grands fleuves, p 3.

**Ouertani, N; Hamouda, R. et Belayouni. H. 2006.** Etude de la matière organique dans les sédiments superficiels d'un système aquatique confiné anoxique évoluant en milieu urbain : cas du Lac sud de Tunis; Study of the organic matter buried in recent sediments of an increasing anoxic environment surrounded by an urban area : the « Lac sud de Tunis » Geo-Eco-Trop, 34 p.

## *P*

**Pernet-Coudrier, B ; (2008).** Influence de la matière organique dissoute sur la spéciation et la biodisponibilité des métaux : cas de la seine, un milieu sous forte pression. Thèse, Université Paris-Est.

**Phelan, J.M; Finnegan, D.L; Ballantine, D.S; Zoller, W.H; Hart, M.A. et Moyers, J; 1982.** Airborne aerosols measurements in the quiescent plume of Mount St. Helen in September, 1980. Journal of Geophysics Research, 90(1093-1096).

**Plumlee, G.S. et Ziegler, T.L ; 2003.** The medical geochemistry of dust, soils and other earth materials. In: B.S. Lollar (Ed.), Environmental Geochemistry. Treatise on Geochemistry. Elsevier-Pergamon, Oxford, 264-310 ps.

## *R*

**Rahal, W ; 2012 .** Contribution à l'étude de la bioaccumulation métallique dans les sédiments et différents maillons de la chaîne trophique du littoral extrême ouest algérien ,Diplôme de doctorat ,Ecologie et environnement ,Université de Tlemcen ,5p.

## *Liste des références*

---

**Ramade, F ; 2005.** Eléments d'écologie, écologie appliquée, édition Dunod, Paris, 689p.

**Ramaroson, J ;2008.** Calcination des Sédiments de Dragage Contaminés. Etudes des Propriétés Physico-chimiques, Thèse de Doctorat, Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 181 p.

**Raven, P.H; Berg, L.R. et Hassen Z; 2009.** Environnement, 6ème édition américaine, 563-566 ps.

**Rejsek, F ; 2002.** Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Bordeaux, 360p.

**Rodier, J ; 1984.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.

**Rodier, J ;Bazin, C ;Broutin ; J. P ; Champsaur, H . et Rodi L ;2005.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8<sup>ème</sup> Editions. Dunod.Paris, 1383p.

**Rodier, J ; Legube, B; Nerlet, N;2009.** L'analyse de l'eau. 9<sup>ème</sup> Edition. Dunod. Paris, 1526, 379, 866, 407, 877, 878, ps.

**Rodolph, P ; 1990.** Le grand livre de l'eau, la manufacture, Cité des sciences. Paris, 160 – 370. Direction de l'Eau. Unité "Evaluation des Risques Ecotoxicologiques", 85p.

## **S**

**Sahli,L ; 2002.** Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb, le chrome et le manganèse dans les sédiments, les macroinvertébrés et une plante aquatique (*Roripa nasturtium aquaticum*) dans l'oued Rhumel et son affluent l'oued Boumerzoug en zone urbaine. Mémoire de Magistère, Université Mentouri-Constantine. 126 p.

**Sahli, L ;2012.** Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais ,these de doctorat , Pollution et Ecotoxicologie , Université Mentouri de Constantine ,13p.

**Salvarredy Aranguren Matías Miguel ; 2008.** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers ,Thèse de doctorat , Sciences de la Terre et Environnement , UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER ,14 ,15ps.

**Serpaud, B ; Al-Shukry, R ; Casteignau, M. et Matejka, G ; 1994.** Adsorption des métaux lourds par les sédiments superficiels d'un cours d'eau: rôle du pH, de la température et de la composition du sédiment. *Revue des Sciences de l'eau*, **7**, 343-365.

**Schrivier-Mazuoli , L ;2012.** La gestion durable de l'eau Roussource-qualité-organisation, 1<sup>ère</sup> édition, DUNOD, 91, 92, 97, 99 ps.

**SEQ-Eau, 1999.** Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Les études des Agences de l'Eau n°72.

**SEQ-EAU ; 2003.** Grilles d'évaluation version 2 - 21 mars 2003 Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau), MEDD & Agences de l'eau.

**SENAT ; 2009.** La pollution de la Méditerranée: état et perspectives à l'horizon 2030. Rapport n°652 par Roland Courteau. Sur [WWW.Senat.fr/rap/r10-652/html](http://WWW.Senat.fr/rap/r10-652/html).

**SPIN, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne ;1997.** Les métaux lourds , Dossier Méthode spectrométriques d'analyse et de caractérisation, Ecole des Mines de Saint-Etienne ,5 ,6ps

**SPIN, 2000.** Méthode spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Dossier : spectrométrie d'absorption atomique. Axe Génie des procédés , centre SPIN, Ecole de Mines de Saint-Etienne, 43p.

**Steketee, J ; 2010.** Métaux lourds, 1<sup>ère</sup> édition ,Fondation Développement et transfert de connaissances sur le sol ,11p.

## **T**

**Tauw Environnement et Ophrys ; 2001.** Guide méthodologique de la caractérisation des sédiments, projet de curage et surveillance des sédiments. Version 1. 410 ps.

**Thévenot, D.R ;Lestel, L ;Tusseau-Vuillemin, M.H ; Gonzalez, J.L . et Meybeck, M ;2009.** Les métaux dans le bassin de la Seine Collection du programme Piren-Seine.

**Tirech, S ; 2006.** Contribution à l'évaluation de la pollution au profit des collectivités locale.application d'un système d'évaluation de la qualité ,mémoire de magister ,génie des procédés ,université m'hamed bougara-boumardes,42p.

**Touzin, D ; 2008.** Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Ps : 15, 21, 58.

## **U**

**UCL, 2013.** Analyse chimique de l'eau, Scienceinfuse, Antenne de formation et de promotion de secteur science et technologie, Louvain-la-neuv, P 3.

## **V**

**Verneaux, J. et Tuffery G ; 1967.** Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. *Ann. Sc. Univ. Besançon*,Ps, 3, 79, 89.

**VM, 2012.** Étude hydrobiologique des petits cours d'eau du Val-de-Marne, Conseil générale, Vale de marine.

## **W**

**Wang.W; 1987.** Factors affecting metal toxicity to(and accumulation by) aquatique organism overview.enveronement international, 52, 177, 196 Ps.

## *Liste des références*

---

**Wedepohl, H.K ; 1995.** The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7): 1217-1232 ps.

**Woodcock, S. et Huryn, A. D; 2007.** The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Fresh water biology*, 52 ,177-196 ps.

### **X**

**XP P94-047 ; 1998.** Sols : reconnaissance et essais-Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un matériau. Méthode par calcination. SSN 0335-3931. 6 p.

### **Z**

**Zerki, N ,2013.** Apport de la chimométrie pour l'analyse et l'interprétation de quelques paramètres physicochimiques influençant la répartition des métaux lourds ,des éléments nutritifs et des anions dans les eaux de l'oued de Bouregreg ,thèse de doctorat , Chimie Physique Générale des Matériaux, Nano- Matériaux et Environnement , Université Mohamed V-Agdal ,32 ,33ps.



*ANNEXE*

**Annexe 1 : Tableau de description des stations de prélèvements**

Macro habitat						Type de substrat					
Station	Date	Heure	Largeur	Profondeur moyenne	Vitesse de courant	Dominant	Accessoire	Condition de substrat	Transparence	Couleur de l'eau	Couverture
RH1	21/09/2014	-	1 - 3m	0.1 - 0.5m	rapide	Blocs - cailloux	Gravier - sable	pur	trouble	brunâtre	A moitié ouvert
	17/07/2015										
	20/04/2015										
RH2	21/09/2015	-	3m	0.5 - 1m	Très rapide	Blocs - gravier	Cailloux - sable	pur	trouble	brunâtre	A moitié ouvert
	17/04/2015										
	20/04/2015										

**Annexe 2 : Quelque appareillage utilisé**



**Figure1** : Photo de four a moufle.



**Figure 2** : Photo de calcimètre du bernard.



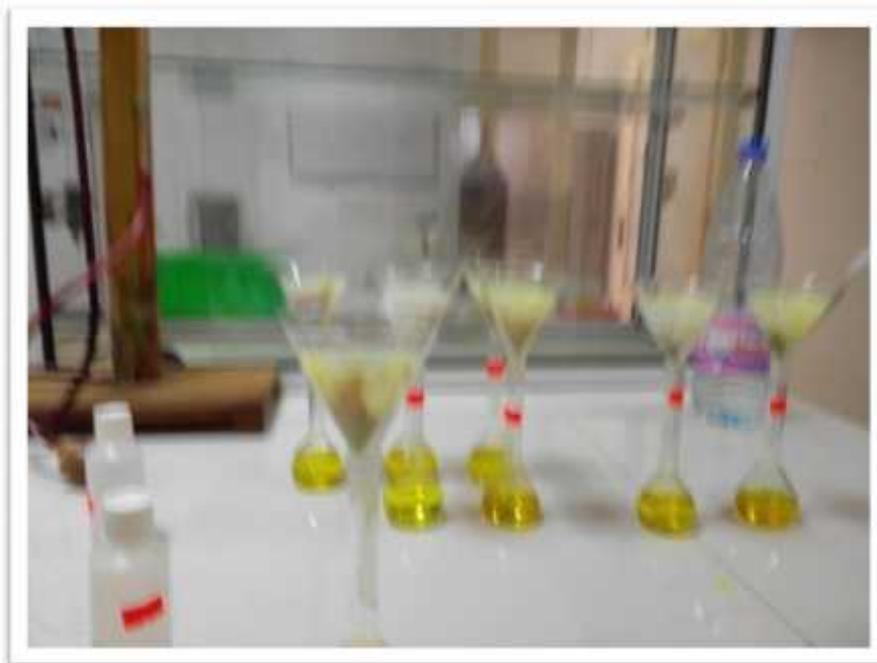
**Figure 4** : Agitateur magnétique



**Figure 5** : Balance de précision



**Figure 6:** photo de spectrophotomètre d'absorption atomique.



**Figure 7:** photo présentant la filtration au sein de l'extraction des métaux lourds.

**Annexe 3 : Tableau 1 : Liste des 152 taxons utilisée par l'IBGN.**

<b>INSECTES</b>	<b>HÉTÉROPTÈRES</b>	<i>Ptychopteridae</i>	<i>Cambaridae</i>
<b>PLÉCOPTÈRES</b>	<i>Aphelocheiridae</i>	<i>Rhagionidae</i>	<i>Grapsidae</i>
<i>Capniidae</i>	<i>Corixidae</i>	<i>Scatophagidae</i>	<i>Potaonidae</i>
<i>Chloroperlidae</i>	<i>Gerridae</i>	<i>Sciomyzidae</i>	<b>MOLLUSQUES</b>
<i>Leuctridae</i>	<i>Hebridae</i>	<i>Simuliidae</i>	<b>BIVALVES</b>
<i>Nemouridae</i>	<i>Hydrometridae</i>	<i>Stratiomyidae</i>	<i>Corbiculidae</i>
<i>Perlidae</i>	<i>Naucoridae</i>	<i>Syrphidae</i>	<i>Dreissenidae</i>
<i>Perlodidae</i>	<i>Nepidae</i>	<i>Tabanidae</i>	<i>Margaritiferidae</i>
<i>Taeniopterygidae</i>	<i>Notonectidae</i>	<i>Thaumaleidae</i>	<i>Sphaeriidae</i>
<b>TRICHOPTÈRES</b>	<i>Mesoveliidae</i>	<i>Tipulidae</i>	<i>Unionidae</i>
<i>Beraeidae</i>	<i>Pleidae</i>	<b>ODONATES</b>	<b>GASTÉROPODES</b>
<i>Brachycentridae</i>	<i>Veliidae</i>	<i>Aeschnidae</i>	<i>Ancylidae</i>
<i>Calamoceratidae</i>	<b>COLÉOPTÈRES</b>	<i>Calopterygidae</i>	<i>Acroloxidae</i>
<i>Ecnomidae</i>	<i>Curculionidae</i>	<i>Coenagrionidae</i>	<i>Bithynidae</i>
<i>Glossosomatidae</i>	<i>Chrysomelidae</i>	<i>Cordulegasteridae</i>	<i>Ferrissiidae</i>
<i>Goeridae</i>	<i>Dryopidae</i>	<i>Corduliidae</i>	<i>Hydrobiidae</i>
<i>Helicopsychidae</i>	<i>Dytiscidae</i>	<i>Gomphidae</i>	<i>Limnaeidae</i>
<i>Hydropsychidae</i>	<i>Elmidae</i>	<i>Lestidae</i>	<i>Neritidae</i>
<i>Hydroptilidae</i>	<i>Gyrinidae</i>	<i>Libellulidae</i>	<i>Physidae</i>
<i>Lepidostomatidae</i>	<i>Haliplidae</i>	<i>Platycnemididae</i>	<i>Planorbidae</i>
<i>Leptoceridae</i>	<i>Helodidae</i>	<b>MÉGALOPTÈRES</b>	<i>Valvatidae</i>
<i>Limnephilidae</i>	<i>Helophoridae</i>	<i>Sialidae</i>	<i>Viviparidae</i>
<i>Molannidae</i>	<i>Hydraenidae</i>	<b>PLANIPENNES</b>	<b>VERS</b>
<i>Odontoceridae</i>	<i>Hydrochidae</i>	<i>Neurorthidae</i>	<b>ACHÈTES</b>
<i>Philopotamidae</i>	<i>Hydrophilidae</i>	<i>Osmylidae</i>	<i>Branchiobdellidae</i>
<i>Phryganeidae</i>	<i>Hydroscahidae</i>	<i>Sysyridae</i>	<i>Erpobdellidae</i>
<i>Polycentropodidae</i>	<i>Hygrobiidae</i>	<b>HYMÉNOPTÈRES</b>	<i>Glossiphoniidae</i>
<i>Psychomyidae</i>	<i>Noteridae</i>	<i>Agriotypidae</i>	<i>Hirudidae</i>
<i>Rhyacophilidae</i>	<i>Psephenidae</i>	<b>LÉPIDOPTÈRES</b>	<i>Piscicolidae</i>
<i>Sericostomatidae</i>	<i>Spercheidae</i>	<i>Crambidae</i>	<b>TRICLADES</b>
<i>Uenoidae</i>	<b>DIPTÈRES</b>	<b>CRUSTACÉS</b>	<i>Dendrocoelidae</i>
<b>ÉPHÉMÉROPTÈRES</b>	<i>Anthomyidae</i>	<b>BRANCHIOPODES</b>	<i>Dugesiidae</i>
<i>Ameletidae</i>	<i>Athericidae</i>	<b>AMPHIPODES</b>	<i>Planariidae</i>
<i>Baetidae</i>	<i>Blephariceridae</i>	<i>Corophiidae</i>	<b>OLIGOCHÈTES</b>
<i>Caenidae</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	<i>Crangonyctidae</i>	<b>NÉMATHELMINTHES</b>
<i>Ephemerellidae</i>	<i>Chaoboridae</i>	<i>Gammaridae</i>	<b>HYDRACARIENS</b>
<i>Ephemeridae</i>	<i>Chironomidae</i>	<i>Niphargidae</i>	<b>HYDROZOAIRE</b>
<i>Heptageniidae</i>	<i>Culicidae</i>	<i>Talitridae</i>	<b>SPONGIAIRES</b>
<i>Isonychiidae</i>	<i>Cylindrotomidae</i>	<b>ISOPODES</b>	<b>BRYOZOAIRE</b>
<i>Leptophlebiidae</i>	<i>Dixidae</i>	<i>Asellidae</i>	<b>NÉMERTIENS</b>
<i>Neophemeridae</i>	<i>Dolichopodidae</i>	<b>DÉCAPODES</b>	
<i>Oligoneuriidae</i>	<i>Empididae</i>	<i>Astacidae</i>	
<i>Polymitarcidae</i>	<i>Ephydriidae</i>	<i>Atyidae</i>	
<i>Potamanthidae</i>	<i>Limoniidae</i>		
<i>Prosopistomatidae</i>	<i>Psychodidae</i>		
<i>Siphonuridae</i>			

(\*) Les 38 taxons indicateurs sont en caractères gras.

**Annexe 4 : Photos de quelques macroinvertébrés benthiques collectés  
durant l'étude**

**Les diptères**



*Syrphidae*



*Chironomidae*

**Les Hirudines**



*Salifidae*



*Glossiphonidae*

**Annexe 4 : Photo de quelques macro-invertébrés collecté durant l'étude**

**Les diptères**



*Chironomidae*



*Syrphidae*

**Les Annélides**



*Salifidae*



*Glossiphonidae*

## Les Mollusques



*Neritidae*



*Planorbidae*



*Lymnaeidae*



*Physidae*

## Annexe 5 : Courbe d'étalonnage du cadmium

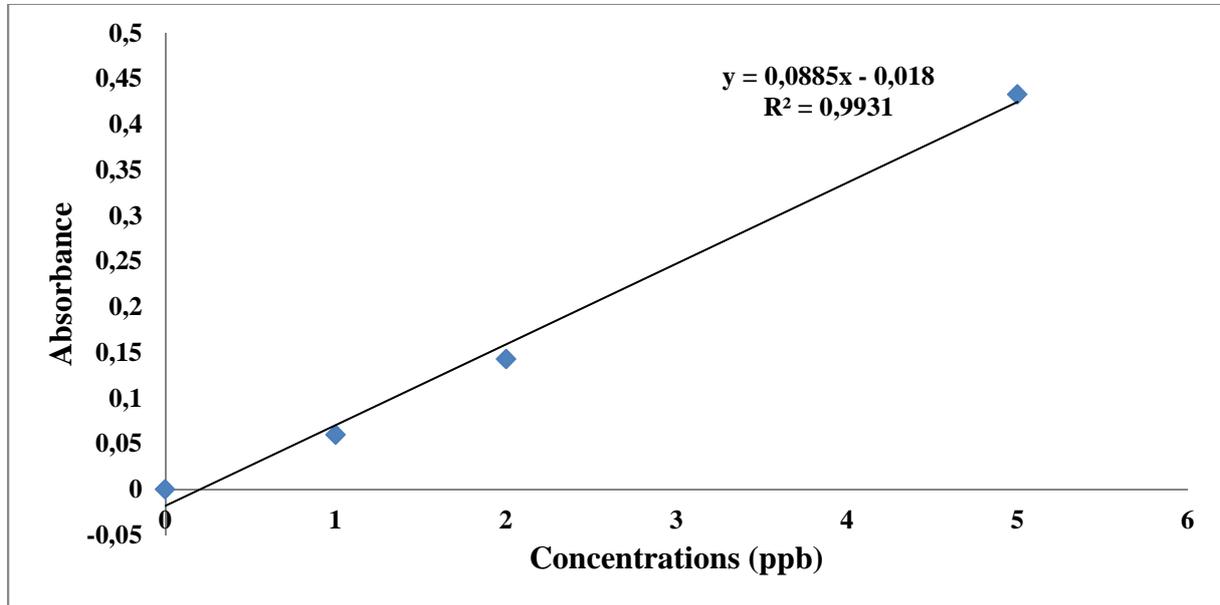


Figure : Courbe d'étalonnage du Cadmium

## Annexe 6 : Protocole de terrain

Cours d'eau : ..... Station :  
 .....  
 Date : ..... Heure :  
 .....  
 Temps : ..... T° de l'air : .....  
 T° de l'eau : .....  
 Couleur de l'eau : .....

### Macrohabitat :

Type :	Crénon (source)	Rhitron (en montagne)	Potamon (en plaine)
Largeur :	< 1	1-2	> 3
Profondeur moyenne :	0.1	0.1-0.5	> 1 m
Pente :	< 1	1-3	> 7 %
Vitesse du courant :	Très rapide	Rapide	Modéré
Stagnant			Lent

### Type de substrat :

#### *Dominants :*

Blocs-Cailloux	( < 20 mm)
Gravier	( 2 – 20 mm)
Sable	(0,2 – 2 mm)
Vase-Boue	( < 0.2 mm)

#### *Accessoires :*

Blocs-Cailloux
Gravier
Sable
Vase-Boue

<i>Conditions du substrat :</i>	Pur	Recouvert de MO	Feuilles	Autres
<i>Transparence :</i>	Clair	Trouble	Très trouble	
<i>Couverture :</i>	Couvert	A moitié	couvert	

### Type de paysage :

- Zone naturelle
- Prairie
- Champ de culture
- Agglomération
- Zone industrielle

### Faune et flore :

Macroinvertébrés :	Denses	Moyens	Rares	Absents
Spécificités de la flore :	.....			

### Spécificités de l'échantillonnage :

Méthode d'échantillonnage :  
 .....

Durée de l'échantillonnage :  
 .....

Surface échantillonnée :  
 .....

Substrat échantillonné :  
 .....

Autres

الهدف هذه هو تقييم تلوث مياه و رواسب وادي الرمال الذي يقع في الشمال الذي يحتوي حقيقي .

تدهور نوعية هذه الإيكولوجية كثيرا يرتبط الصناعية  
السرعة الكيميائية  
اختيار لهذه لتسليط امكانية يتعلق هذا  
العينات من نقطتين ( ) لمياه  
اللافقاريات الكبيرة.

التحقيقات تقييم الفيزيائية والكيميائية للمياه ( )  
الأكسجين ( ) الحموضة، الموصلية الكهربائية  
الموصلية الكهربائية و المادة العضوية و الكادميوم) .

المعايير تبين موسمية، أساسية، والموصلية  
الكهربائية عالية لأكسجين ذو نوعية جيدة  
والموصلية الكهربائية عالية ومستويات عالية كمية كبيرة العضوية مستويات  
الكادميوم فهي .

ويظهر الحيوانات اللافقارية مشيرا نوعية المياه  
يرجع ( الحضارية والصناعية والزراعية ... العضوية).

مفتاحية : اللافقاريات الكبيرة الفيزيائية والكيميائية البيولوجية والكادميوم.

**Abstract:**

The objective of this study is the evaluation of water pollution and sediment from the river Rhumel in the north-east Algerian who are real drains.

The quality degradation of these ecosystems is often associated with high population growth, rapid growth of cities and the growth of industrial activities that generate a wide variety of chemicals such as metallic trace elements (ETM) in streams neighbouring water.

The stations were chosen for this study in order to highlight a possible metal contamination, this research concerned two sampling points (upstream and downstream) for water and sediment compartments through three campaigns and two campaigns for the sampling of macro-invertebrates.

Our investigations related to the evaluation of the physico-chemical parameters of water (T, pH, EC and O<sub>2</sub>.d) and sediment (pH, EC, TC, Cd and MO) and biological parameters (IB and IBGN).

The spatio-temporal data of each parameter show, for water: seasonal temperatures, a basic pH, very high electrical conductivity and very good quality for dissolved oxygen, for sediments: a slightly alkaline pH, high electrical conductivity, TOC levels very high and excessive levels of organic matter and low cadmium levels.

And a clear disruption of the macro-invertebrate fauna for both stations, indicating poor water quality upstream and downstream, probably due to exposure to various sources of pollution (urban, industrial and agricultural ... organic).

**Keywords:** Pollution, aquatic macroinvertebrates, physic-chemical parameters biological parameters, cadmium.

<b>Nom :</b> CHAMAME NEHILA	<b>Prénom :</b> Salima Iméne	<b>Date de soutenance</b> 03/06/2015
<b>Titre :</b> <i>Evaluation de la pollution métallique par le Cadmium des sédiments de l'Oued Rhumel.</i>		
<b>La nature de diplôme :</b> <i>Diplôme de Master 2 en Ecologie.</i> <b>Option :</b> <i>Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers.</i>		
<b>Résumé</b>		
<p>L'objectif visé dans cette étude est l'évaluation de la pollution des eaux et des sédiments de l'oued Rhumel au Nord-Est Algérien qui constituent de véritables égouts.</p> <p>La dégradation de la qualité de ces écosystèmes est souvent associée à la forte poussée démographique, la croissance rapide des agglomérations et la multiplication des activités industrielles, qui engendrent une grande variété de produits chimiques tels que les éléments traces métalliques (ETM) dans les cours d'eau avoisinants.</p> <p>Les stations ont été choisies en fonction de notre étude, afin de mettre en évidence une éventuelle contamination métallique, Cette recherche a concerné deux points de prélèvement (amont et aval) pour les compartiments eau et sédiment à travers trois campagnes et deux campagnes pour l'échantillonnage des macro-invertébrés.</p> <p>Nos investigations relatives à l'évaluation des paramètres physico-chimique de l'eau (T, pH, CE et O<sub>2</sub>.d) et des sédiments (pH, CE, CT, Cd et MO), ainsi que les paramètres biologiques (IB et IBGN).</p> <p>Les données spatio-temporelles de chaque paramètre montrent, pour l'eau : des températures saisonnières, un pH basique, une conductivité électrique très élevée et une très bonne qualité pour l'oxygène dissous, concernant les sédiments : un pH légèrement alcalin, une conductivité électrique élevée, taux de CT très élevé et un taux excessive de matière organique et des faible teneurs en cadmium.</p> <p>Ainsi qu'une perturbation évidente de la faune macro-invertébré pour les deux stations, qui indique une qualité mauvaise des eaux en amont et en aval, due probablement à l'exposition à des pollutions d'origines diverses (urbaines, industrielles et agricoles... organique).</p>		
<b>Mots clés :</b> Pollution, faune macro-invertébrés, paramètres physico-chimique, paramètres biologiques, cadmium.		
<b>Promoteur :</b> Djeddi Hamssa		<b>Grade :</b> <i>Maitre assistant classe«A»</i>