



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 Forestières**

Thème Contamination des sédiments de l'oued Endja par le Cadmium

Préparé par :

-  Amrouche Chahinaz
-  Keziouh Ahlam

Soutenue devant le jury :

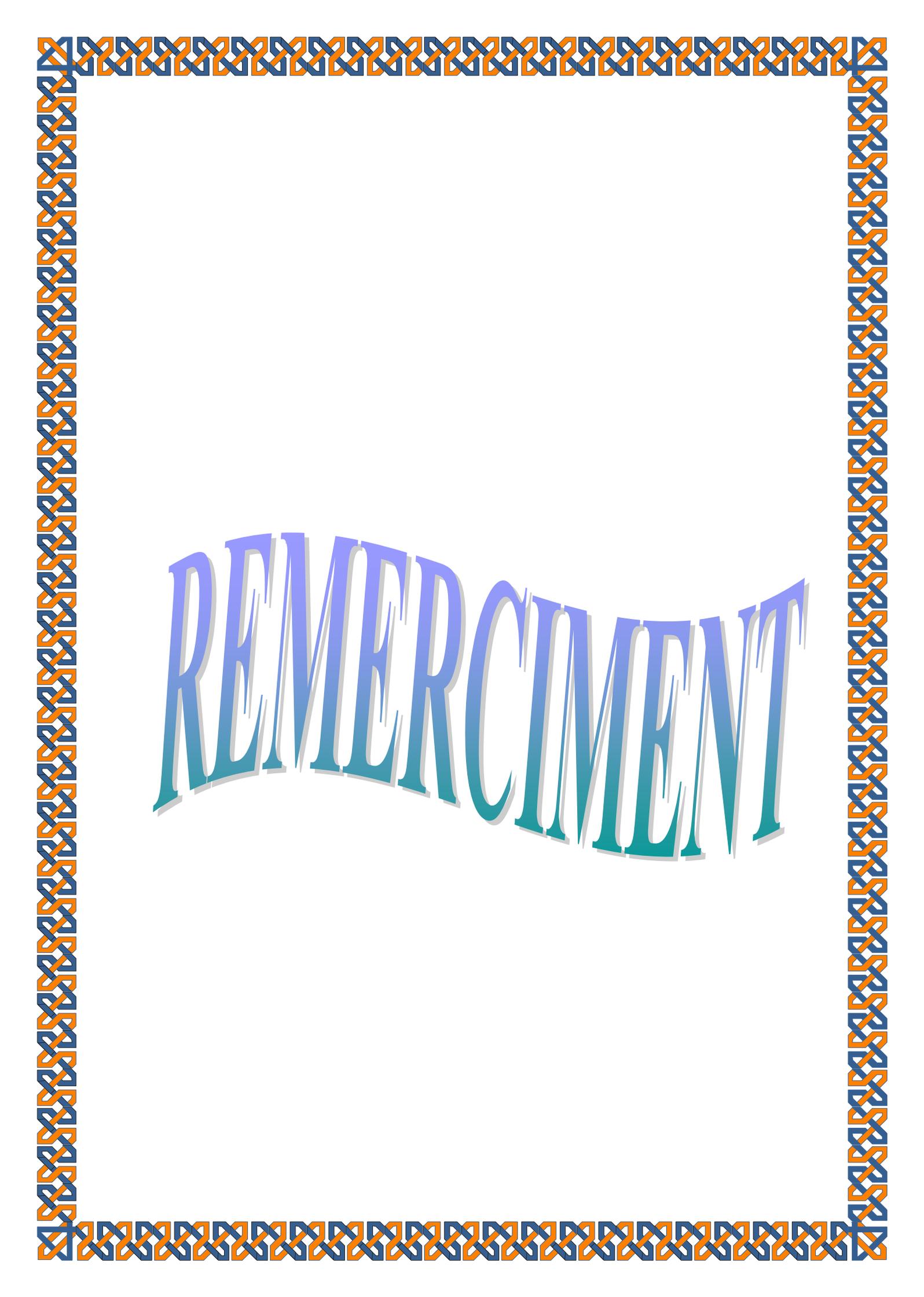
- Président : Harrieche Ouahiba
- Examineur : Kherief N Saliha
- Promoteur : Djeddi Hamssa

Grade : Maître assistant classe « A »

Grade : Maître assistant classe « A »

Grade : Maître assistant classe « A »

Année universitaire : 2014/2015



REMERCIEMENT

Remerciement

Nous remercions dieu le tout puissant qui nous à donner le courage et la volonté qui nous ont permis d'aboutir à ce travail.

Nous tenons ainsi à remercier toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail, pour leurs aides et leurs conseils.

Nous remercions notre encadreur M.DJEDDI HAMSSA pour avoir dirigé ce travail et avoir su nous apporter l'encadrement nécessaire à son réalisation.

Nous remercions la présidente du jury, Madame HARRIECHE Ouahiba, pour avoir bien voulu accepté de présider notre jury, et Madame KHERIEF N Saliha pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Tous nos professeurs qui ont donné le soutien dans la durée de formation, Nos sincères remerciements vont également à Youssef et Mounir pour leurs grande participations à nos sorties de terrain.

Nous remercions les ingénieurs du laboratoire de notre université pour leurs aides au travail.

Nous remercions les fonctionnaires de l'hydraulique de Mila pour leurs informations

Enfin nous remercions aussi toutes personnes qui ont laissés leurs traces dans notre travail.



DEDICACE

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail :

Aux êtres les plus chères à mon cœur ; à la lumière de mes yeux à mes très chères et douce parents. Vous n'avez jamais cessé de m'encourager et de me soutenir même dans vos moments les plus pénibles ...vous serez présentent dans mon cœur et j'espère que vous serez fiers de moi et de mon travail.

A mes très chère frères zakariaet son épouse salima,said, valid et Mounir.

A mon fiancé khalef qui m'a vraiment encourager.

A mes très chère amies chahinaz, khadidja ,malika et nazihha ;vous êtes mes belles sœurs.a Anissa, minoucha, soumia, siham, asma, sara, karima, saida, abla, soussou,iman et salima.

A tous mes camarades de promo.

Ahlam

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail

A ma mère et mon père ; les plus près et chères à mon cœur, la source de vie, Votre soutien a sans doute été important pour me donner l'aide et le courage afin de continuer et effectuer mon but ainsi le bon déroulement de mes études. Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours. Je ne saurais jamais vous remercier assez. Seul Dieu peut vous gratifier de tout ce que vous avez fait pour nous .Que Dieu le tout puissant vous accorde longue vie, bonne santé et bonheur à nos côtés et qu'il puisse me donner les moyens nécessaires pour affronter les épreuves de la vie

A ma deuxième mère « Fatiha » votre affection et vos bénédictions constantes m'ont jamais fait défaut et toujours ma énormément encouragez.

A mon cher fiancé « Yousef » pour sa compréhension et sa disponibilité.

A mes sœurs : Amel, Rayen, Fayza

A mes frères : Omar, Adam et mon petit frère le plus chère Iyad

A ma famille : ma grande mère, Rachid et son épouse Chafya, Zohir, Fatah et Fatiha, Naamen et Yasmina, Samir, tante Karima et Hassina, Zinab, Wissem

A mes très chères amis et sœurs : ahlem, malika, khadidja, naziha, Minocha, Anissa, hkadidja L, Fatiha, Samsoma, Karima, Sara, Siham, Soumia, Saida, Abla, Sousou

*A tous les collègues et promotionnaires
soyez toujours guidés par des actions lucides ; courage dans la vie et bonne chance.*

Enfin, à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail

Chahinaz

Liste des tableaux

| tableaux | Titres | pages |
|-------------------|---|-------|
| Tableau 01 | Familles et sous familles d'insectes et hydracariens colonisant le rhithron | 6 |
| Tableau 02 | Distribution selon la taille de quelques composés chimiques du cadmium dans les eaux | 18 |
| Tableau 03 | Exemples de concentrations des ETM ayant un effet sur la faune aquatique. | 20 |
| Tableau 04 | Liste non exhaustive de la provenance des métaux lourds et métalloïdes dans l'environnement | 26 |
| Tableau 05 | Principaux effets associés au élément traces métalliques | 30 |
| Tableau 06 | La sensibilité des macroinvertébrés aux métaux lourds | 38 |
| Tableau 07 | Résultats de l'IBGN associés à une couleur | 40 |
| Tableau08 | Les classes de qualité d'eau en fonction de la valeur de l'IBD | 41 |
| Tableau 09 | Evaluation de la qualité d'une eau de surface par l'IBB | 41 |
| Tableau 10 | Calendrier de prélèvement des échantillons | 51 |
| Tableau 11 | Les teneurs certifiées en cadmium dans les sédiments du lac Canadien | 56 |
| Tableau12 | Gammes d'étalonnages du Cadmium | 57 |
| Tableau 13 | Limites de détermination des unités systématiques | 61 |
| Tableau 14 | Détermination des pollutions en fonction des indices biotiques | 62 |
| Tableau 15 | Le tableau utilisé pour le calcul de l'IBGN | 63 |
| Tableau16 | Les variations des paramètres physico-chimiques des eaux de l'Oued Endja | 64 |
| Tableau 17 | Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température | 66 |
| Tableau 18 | Aptitude à la biologie en fonction de la température | 67 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tableau 19 | Aptitude à la biologie en fonction du pH | 69 |
| Tableau 20 | Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique | 70 |
| Tableau 21 | Aptitude à la biologie en fonction de CE | 71 |
| Tableau 22 | Les variations des paramètres physico-chimiques des sédiments | 73 |
| Tableau 23 | La grille de qualité pour les sédiments est issue des travaux du groupe des travaux d'IFREMER | 78 |
| Tableau 24 | Teneur métallique naturelles dans les sédiments | 81 |
| Tableau 25 | Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, des sédiments et du cadmium | 82 |
| Tableau 26 | Classification des macroinvertébrés selon les stations | 85 |
| Tableau 27 | Classification de la qualité biologique d'un site | 87 |
| Tableau 28 | Indices biotiques et classes de qualité écologiques des eaux de l'Oued Endja. | 87 |

Liste des figures

| Figures | Titres | Pages |
|------------------|--|--------------|
| Figure 01 | Modes de transports et devenir des matériaux issus de l'érosion (mécanique et chimique) dans les milieux fluviatiles | 9 |
| Figure 02 | Les polluants toxiques dans les milieux aquatiques | 12 |
| Figure 03 | Cycle géochimique du cadmium dans l'environnement | 16 |
| Figure 04 | Spectre des tailles (en mètre) de particules dans le milieu aquatique et schématisation des différentes fractions | 28 |
| Figure 05 | Diagramme de transfert des métaux | 29 |
| Figure 06 | Les bio-indicateurs des peuplements aquatiques, indique l'intensité de la pollution par leur présence/absence | 34 |
| Figure 07 | Exemple de Mollusque : <i>Physidae</i> et <i>Planorbidae</i> | 35 |
| Figure 08 | Exemple des insectes d'eau douce | 35 |
| Figure 09 | Une <i>Hydracarien</i> | 36 |
| Figure 10 | Les macro-invertébrés comme bio-indicateur de la qualité de l'eau | 39 |
| Figure 11 | Exemple des diatomées | 41 |
| Figure 12 | Carte topographique représentant le trajet d'Oued Endja | 43 |
| Figure 13 | La zone d'Oued Elkebir | 44 |
| Figure 14 | Localisation des stations de prélèvement | 48 |
| Figure 15 | Vue de la station amont (ST1) | 49 |
| Figure 16 | Vue de la station aval (ST2) | 50 |
| Figure 17 | Quelques matériels utilisés | 52 |
| Figure 18 | Courbe d'étalonnage du dosage de cadmium. | 57 |
| Figure 19 | Les deux types de filet Surber et Haveneau. | 59 |
| Figure 20 | Variations spatio-temporelles de la température des eaux de l'Oued Endja | 65 |
| Figure 21 | Variations spatio-temporelles du pH de l'oued Endja | 67 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Figure 22 | Les valeurs spatio-temporelles de la conductivité électrique de l'Oued Endja | 69 |
| Figure 23 | les valeurs spatio-temporelles de l'oxygène dissous | 71 |
| Figure 24 | Variations spatio-temporelles du pH des sédiments de l'Oued Endja. | 74 |
| Figure 25 | Variations spatio-temporelles de la conductivité des sédiments de l'oued Endja | 76 |
| Figure 26 | Variations spatio-temporelles des valeurs du calcaire total des sédiments de l'oued Endja. | 77 |
| Figure 27 | Variations dans l'espace et dans le temps de la matière organique des sédiments de l'Oued Endja | 79 |
| Figure 28 | Teneurs en Cadmium des sédiments de l'oued Endja | |
| Figure 29 | Cercle de corrélations et projection des variables (ACP) | 84 |
| Figure 30 | Variation de l'indice de l'oued entre les deux stations selon TuffryetVerneau et par l'IBGN. | 86 |

Liste des abréviations

As : Arsenic

ANOVA : Analyse de la variance a un critère de classification

ACP : Teste de l'analyse en composantes principale

C°: Degree Celsius

Ca⁺² : Calcium

Cd: Cadmium

Cd⁺² :Ion de Cadmium

CaCO₃ : Carbonate.

CdCO₃ :L'otavite

Cdo :Le montéponite

Cds :L'hawleyite

Cdse :Cadmos élite

Cl :Chlore

Cm³ : Centimètre cube

CO₂ :Dioxyde de Carbone

COT :Calcaire total

Cr :Crome

Cu :Cuivre

ETM :Eléments traces métalliques

Fe :Fer

G :Gramme

g/Mol :Gramme par mol

HCl :Acide chlorhydrique

Hg :Le mercure.

H₂O :Molécule d'eau

H₃O :Ions hydroniums

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

IBB :Indice biologique Belge

IBD :Indice biologique diatomique.

IBGN : Indice biologique global normalisé.

Kg :Kilogramme

MES :Matière en suspension

Mg⁺² :Magnésium

mg /l : Milligramme par litre

mm : Millimètre

mn : Minute

MO :Matière organique

Na⁺ :Sodium

Ni :Nickel

Nm :Nanomètre

O₂ :Oxygène

Pb :Plomb

pH : Potentiel Hydrogène

Zn : Zinc

µg/g : Microgramme par gramme

µg/L : Microgramme par litre

µm :Micromètre

µs/cm :Micro semence par centimètre



SOMMAIRE

Sommaire

Introduction

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LES COURS D'EAU

| | |
|---|----|
| I.1 Généralités sur les cours d'eaux | 3 |
| I.1.1. Définition d'un cours d'eau | 3 |
| I.1.2. La zonation d'un cours d'eau de l'amont vers l'aval | 3 |
| I.1.2.1. Le crénon | 4 |
| I.1.2.2. Rhithron | 5 |
| I.1.2.3. Le potamon | 6 |
| I.1.3. Le fonctionnement d'un cours d'eau | 7 |
| I.1.4. Notion des sédiments fluviaux | 8 |
| I.1.5. La charge sédimentaire | 10 |
| I.1.5.1. Matières en suspension(MES) | 10 |
| I.1.5.2. La charge de fond..... | 10 |
| I.6. La pollution de l'eau | 11 |
| I.6.1. La pollution organique..... | 12 |
| I.6.1.1. Les pollutions organiques facilement biodégradables | 13 |
| I.6.1.2. Les pollutions organiques difficilement biodégradables | 13 |
| I.6.1.3. Les pollutions organiques toxiques..... | 13 |
| I.6.2. La pollution chimique..... | 14 |
| I.2. Pollution métallique des eaux et des sédiments | 14 |
| I.2.1. la pollution métallique | 14 |
| I.2.2. Principaux éléments traces métalliques (ETM)..... | 15 |
| I.2.2.1. Le cadmium (Cd) | 15 |
| I.2.2. 2.Le zinc (Zn)..... | 19 |
| I.2.2.3. Le Mercure (Hg) | 21 |
| I.2.2.4. Le cuivre (Cu) | 21 |
| I.2.2.5. Le plomb(Pb) | 22 |
| I.2.2.6. Le chrome (Cr)..... | 22 |
| I.2.2.7. L'arsenic(As) | 23 |
| I.2.2.8. Le nickel (Ni)..... | 23 |

| | |
|---|----|
| I.2.3. La source des ETM..... | 24 |
| I.2.3.1. Source naturel (fond géochimique)..... | 24 |
| I.2.3.2. Source anthropique (due à la pollution)..... | 24 |
| I.2.4. Distribution et mobilité des ETM dans la colonne d'eau | 27 |
| I.2.5. Impact des ETM sur les écosystèmes aquatiques..... | 28 |

CHAPITRE II: EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU

| | |
|---|----|
| II. Principaux paramètres mesurables de l'eau | 32 |
| II.1. Les paramètres physicochimiques..... | 32 |
| II.1.1. Température..... | 32 |
| II.1.2. Potentiel hydrogène (pH)..... | 32 |
| II.1.3. Conductivité électrique (CE)..... | 32 |
| II.1.4. La matière organique (MO)..... | 33 |
| II.1.5. L'oxygène dissous | 33 |
| II.2. Les paramètres biologiques | 33 |
| II.2.1. Les macro-invertébrés benthiques en tant qu'indicateurs..... | 34 |
| II.2.2. Avantages d'utiliser les macro-invertébrés comme bio-indicateurs..... | 38 |
| II.2.3. Quelques indice biologique | 39 |

CHAPITRE III: MATERIEL ET METHODES

| | |
|---|----|
| III.1. Présentation de la zone d'étude | 43 |
| III.1.1. Présentation physique du bassin versant d'Oued Elkebir | 43 |
| III.1.2. Géologie de la zone d'étude..... | 45 |
| III.1.3. Les caractères climatiques | 45 |
| III.1.3.1. Les précipitations | 46 |
| III.1.3.2. La température..... | 46 |
| III.1.3.3. Le Vent..... | 47 |
| III.1.3.4. Agriculture | 47 |
| III .2. Matériel et méthodes | 47 |
| III.2.1. Choix et localisation des sites de prélèvement | 48 |
| III.2.2. Calendrier de prélèvement | 51 |
| III.2.3. Matériels utilisés | 51 |

| | |
|--|----|
| III.2.4. Compartiment eau..... | 51 |
| III.2.4.1. Mesures physico-chimiques de l'eau | 51 |
| III.2.5. Compartiment sédiment..... | 52 |
| III.2.5.1. Prélèvement des échantillons de sédiments | 52 |
| III.2.5.2. Préparation des échantillons..... | 53 |
| III.2.5.3. Paramètres physico-chimiques..... | 54 |
| III.2.5.4. Analyses des métaux lourds | 55 |
| III.2.6. Les paramètres biologiques | 59 |
| III.2.6.1. Matériel de prélèvement..... | 59 |
| III.2.6.2. Mode de prélèvement..... | 59 |
| III.2.6.3. Traitement du prélèvement..... | 60 |
| III.2.6.4. L'identification des organismes | 60 |
| III.2.6.5. Détermination de l'indice biotique..... | 61 |

CHAPITRE IV: RESULTATS ET DISCUSSION

| | |
|---|----|
| IV. Résultats et discussion..... | 64 |
| IV.1. Paramètres physico-chimiques des eaux | 64 |
| IV.1.1. La température | 64 |
| IV.1.2. Le pH..... | 67 |
| IV.1.3. La conductivité électrique..... | 68 |
| IV.1.4. L'oxygène dissous..... | 70 |
| IV.2. Les paramètres physicochimiques des sédiments..... | 72 |
| IV.2.1. .Le potentielle hydrogène des sédiments (pH)..... | 73 |
| IV.2.2. La conductivité des sédiments | 75 |
| IV.2.3. Le calcaire total..... | 76 |
| IV.2.4. la matière organique..... | 78 |
| IV.2.5. L'élément trace métallique (Cadmium) | 80 |
| IV.3. Résultat d'ACP | 82 |
| IV.4. Les paramètres biologiques | 84 |

Conclusion

Liste des références

Annexes



INTRODUCTION GENERAL

Introduction général

L'eau constitue à l'heure actuelle la source naturelle la plus indispensable de la vie en générale et en particulier des activités humaines et ces divers usages (l'industrie, l'agriculture...) mais aussi la plus menacée par les dangers de ces derniers qui affecte tous les types des eaux soit superficielles ou souterraines, soit stagnantes ou courantes.

La pollution des écosystèmes aquatiques est actuellement l'un des plus grands problèmes du siècle, et l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation des qualités des eaux naturelles. La pollution des eaux apparaissent avec plusieurs types tels que la pollution organique, la pollution chimique et la pollution qui nous intéressent c'est la pollution par les métaux lourds qui sont des polluants engendrés par l'activité humaine et cause un fort impact toxicologique sur la vie aquatique.

La contamination des écosystèmes aquatiques par les métaux demeure un sérieux problème d'environnement de plus en plus inquiétant. Dans certains écosystèmes aquatiques, ces produits chimiques peuvent être à l'origine de la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et par conséquent, entraîner le dysfonctionnement de la chaîne trophique (faible biodiversité), et touche généralement le patrimoine hydrique à un certain degré de qualité.

Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le chrome, le plomb, et le mercure et aussi le cadmium qui est l'élément de notre étude, il est 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 d'eau ces polluants se trouvent notamment attachés aux particules des sédiments qui sont capables d'enregistrer toute forme de pollution d'une part et d'autre part jouent un rôle primordial comme habitat de la faune aquatique dite macro-invertébrées.

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.

Notre Travail va porter sur un cours d'eau très important dans la wilaya de Mila « Oued Endja » qui alimente le barrage Beni Haroun, dont les eaux sont destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie, d'où s'avère l'importance de préserver la qualité de ces eaux contre tout type de pollution.

L'objectif de notre travail est d'apprécier et évaluer la contamination des sédiments d'Oued Endja par le cadmium, nous allons mettre en évidence l'état de la qualité des eaux et des sédiments par la mesure des paramètres physico-chimiques (température,

Introduction général

pH, conductivité électrique et oxygène dissous) pour le compartiment eau et (pH, conductivité électrique, calcaire total et matière organique) en ce qui concerne les sédiments et voir surtout s'il y a présence d'une contamination métallique par le cadmium à travers le dosage de cet éléments dans les sédiments ainsi que l'évaluation de la qualité biologiques par le calcul de l'indice biotique selon deux méthodes.

Nous allons rendre compte du protocole expérimental réalisé. Notre investigation est consignée dans ce document articulé en cinq grands chapitres dont le premier consacré aux généralités sur les cours d'eau et les types de pollutions qui concerne ces milieux notamment la pollution par les métaux lourds, le deuxième est une étude d'évaluation de la qualité des eaux et des sédiments, le troisième chapitre consacré à la présentation de la zone d'étude, le matériel utilisé et les méthodes d'analyses suivies pour les compartiments eau et sédiments. Nous présentons dans le dernier chapitre les résultats des différentes analyses réalisées ainsi que la discussion et l'interprétation des résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés et déterminés.



SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE I:

GENERALITES SUR LES COURS D'EAU

I.1 Généralités sur les cours d'eaux

I.1.1. Définition d'un cours d'eau

Selon Baok (2007), les eaux lotiques qui regroupe tous les types des cours d'eau : sont des systèmes ouverts forts dépendants des systèmes voisins. Ils sont très influencés par l'environnement terrestre et sont peuplés par des communautés qui à tous les niveaux trophiques sont tributaires des matériaux allochtones transportés par le courant.

Un cours d'eau se compose d'une masse d'eau qui s'écoule dans un lit avec un débit régulier ou intermittent, y compris ceux qui ont été créés ou modifiés par une intervention humaine. Aussi c'est tout chenal dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Il est un terme général pour désigner un fleuve, une rivière, un ruisseau, un torrent, un oued. Les chenaux peu sinueux ou anastomosés en tresses se développent dans les milieux de haute énergie, qui caractérisent le cours mineur des fleuves et rivières à pente marquée, et où s'effectuent des dépôts à dominante sableuse, parfois argilo-sableuse (Michaud ,2010).

Chamley et Deconinck (2011), définissent un cours d'eau comme un système dynamique dont la forme (en long et en travers) dépend principalement du processus d'érosion et dépôts de matériaux. Ce mécanisme est lui-même déterminé essentiellement par les débits liquides et solides, de l'hydro-morphologie d'un cours d'eau. Le débit liquide ; variable selon les saisons (précipitations), et le débit solide déterminé par la charge en matériaux minéraux fins et/ou grossiers, sont à l'origine des processus d'érosion et de dépôt.

L'équilibre du cours d'eau oscillera en effet entre érosion et dépôts, selon que l'un ou l'autre des débits sera prédominant (Fromont, 2010).

I.1.2. La zonation d'un cours d'eau de l'amont vers l'aval

L'existence d'un cours d'eau est caractérisée par la permanence du lit, le caractère naturel du cours d'eau et une alimentation suffisante qui ne se limite pas à des rejets ou à des eaux de pluies, l'existence d'une source est nécessaire.

La partie la plus élevée du cours d'eau s'appelle l'amont, la partie la moins élevée vers lequel s'écoule l'eau s'appelle l'aval. Il faut se mettre dans le sens du cours d'eau de l'amont vers l'aval.

Pour définir la rive droite et la rive gauche. Le niveau d'eau et l'espace occupé par le cours d'eau varie en fonction de son débit. Un cours d'eau analysé selon sa coupe transversale présente une section principale occupée par les écoulements normaux appelée lit mineur et une plaine d'inondation occupée lorsque le cours d'eau est en crue appelée lit majeur (Chagner, 2013).

Un cours d'eau présenterait des parties considérables qui sont :

I.1.2.1. Le crénon

Le crénon c'est la région de sources et de leurs émissaires. La température y est peu variable et les végétaux sont surtout des algues et les mousses (Gisèle, 2007).

Selon Eugène (2009), Ce terme désigne à la fois les sources proprement dites (eucrénal) et les ruisselets d'ordre de drainage qui en sont issus (hypocrénal). Suivant l'origine de l'eau et son mode de l'écoulement, on reconnaît quatre types de source :

- Les sources shélocrènes sont de simples dépressions de terrain qui interrompent la nappe souterraines .le débit est faible et la dépression est en fait une mare ou une tourbière.
- Les sources limnocrènes sont également des dépressions du sol formant une vasque ; mais l'eau s'écoule en surpression et le débit peut être important. Le substrat des sources limnocrènes est des sédiments fins, s'apparente à celui des lacs.
- Les sources rhéocrène jaillissant sur une pente, par suite d'une rupture de continuité de la nappe souterraine. Les fontaines, en montagne, sont des sources rhéocrènes.
- Les résurgences sont des réapparitions brutales d'eaux souterraines, qui peuvent concerner tout cours d'eau.

Le crénonqui caractérise les cours d'eau à généralement une forte pente, et malgré un faible débit, les processus de l'érosion y sont intenses en raison d'un fort courant et les fond sont caillouteux. Cette partie ou cours supérieure est parfois appelée la zone de production ou zone d'érosion, car ce chevelu de petit cours d'eau alimente le système fluviale en eau et en sédiment (Giret, 2006).

I.1.2.2. Le Rhithron

Le Rhithron c'est la partie supérieure du cours d'eau représenté par les ruisseaux et les petites rivières (Gisèle, 2007).

D'après Giret (2006), Le rhithron est le cours dont la vitesse diminue alors que la largeur augmente. Les fonds sont constitués de galet de graviers, et, au fur et à mesure que la pente diminue, les processus de sédimentation deviennent prépondérants par rapport à l'érosion. Dans ce cours moyen, les alluvions arrachées aux versants de l'amont se déplacent vers l'aval au gré de chaque période de crue ; aussi l'appelle-t-on zone de transfert de l'eau et des matériaux. Comme la pente s'adoucit, le cours à chenal unique fait place à un cours à chenaux multiples, enserrant des îles caillouteuses dont la forte mobilité s'explique par un transport actif de matériaux. Ce sont les cours d'eau en tresse.

On peut désigner sous le nom rhithron les ruisseaux et rivières de montagne ou de collines, à pente supérieure à 0,15%, au courant rapide et turbulent. Il débute avec les ruisseaux d'ordre de drainage 2, issus des confluent des ruisselets de l'hyporéal. Le rhithron correspond à la zone à truite de Huet. Avec la turbulence, il est caractérisé par une moyenne thermique annuelle ne dépassent pas 20°C en été et un substrat grossier, blocs, moellons, galets et graviers. La concentration en oxygène dissous est égale à la saturation. Le substrat grossier favorise la circulation dans le milieu hypothétique, ainsi que la pénétration dans celui-ci de la faune benthique. Les organismes de la zone dites rhithron sont en majorité de sténotherme, avec de nettes adaptation à la vie dans le courant, forme de corps, organe de fixation, adhérence au substrat ou adaptation comportementale (tableau 1)(Eugène, 2009).

Tableau 1: Familles et sous familles d'insectes colonisant le rhithron (Eugène, 2009).

| Ordres | Familles |
|-----------------------|--|
| Ephéméroptères | <i>Baetidae, Heptageniidae.</i> |
| Plécoptères | <i>Nemouridae, Leuctridae, Capniidae,</i> <i>Perlidae, Perlodidae.</i> |
| Coléoptères | <i>Hudraenidae, Elmidae, Helodidae.</i> |
| Trichoptères | <i>Rhyacophildae, Glossosomatidae,</i> <i>Philopotamidae, Popycentropidae ,</i> <i>Brachycenrtidae, Limnephilidae.</i> |
| Diptères | <i>Blephariceridae, Simuliidae,</i> <i>Diamesinae, Orthocradiinae, Corynoneuridae.</i> |
| Hydracariens | <i>Thyasinae, Prptziinae, Sperchoninae,</i> <i>Torrenticolinae, Axopsinae, aturinae.</i> |

I.1.2.3. Le potamon

Où la pente devienne très faible, et la vitesse du courant se réduit considérablement aussi une grande partie des matériaux transportés se dépose pour former de large plaines alluviales, ou des deltas. C'est la zone de stockage, ou cours inférieure, dans laquelle s'accumulent les alluvions (Giret, 2006).

Le potamon issu de la confluence de rivières de montagne ou de collines coulant dans une plaine alluviale à faible pente. L'hyporhithral était une zone de dépôts de galets, graviers et sable, le potamon est la zone de dépôt des limons. L'opposition entre potamon et rhithron est due à une modification dans la hiérarchie des facteurs hydrodynamiques. Le courant est toujours l'organisateur du substrat, mais il n'est plus un facteur limitant primordial. La température peut dépasser 20-21°C en été. Sur des rivières de plaine, de faible longueur, issues de sources froides, les salmonidés demeurent, les températures estivales élevées favorisent les espèces polyvoltines.

On peut également observer une succession saisonnière, d'espèces sténothermes d'eaux froides de l'automne au début du printemps et d'espèce d'eaux chaudes en été (Eugène, 2009). Le potamon est constitué de trois écosystèmes différents : Les herbiers, le plancton et le benthos.

La faune du potamon se rapproche de celle des eaux stagnantes par l'importance des taxons sans phase de dispersion aérienne: Oligochètes, Hirudinées, Mollusques, Crustacés (*Copépodes, Ostracodes, Cladocères, Gammaridae, Asellidae, Athyidae*), Insectes (*Hétéroptères, Coléoptères Dytiscidae, Haliplidae*) les taxons à phase de dispersion aérienne sont différents de ceux du rhithron : les Plécoptères sont rares, et parmi les Éphéméroptères, Trichoptères et les Diptères, dominants les espèces fouisseuses ou vivants dans les herbiers (Eugène, 2009).

I.1.3. Le fonctionnement d'un cours d'eau

Les cours d'eau sont des systèmes dynamiques dans l'espace et dans le temps. Ils assurent par ailleurs des fonctionnalités écologiques supports. En effet, de nombreux habitats propices à l'accomplissement des cycles de vie de nombreuses espèces faunistiques et floristiques résultent de la dynamique du cours d'eau. De l'aval à l'amont, la morphologie des cours d'eau et les régimes hydrologiques varient considérablement. Les espèces végétales aquatiques (macrophytes), de poisson et d'invertébrés seront de la même manière, très différentes selon la position de la portion du cours d'eau observée dans le bassin versant. Ainsi, de l'hétérogénéité des différentes composantes de la morphologie du cours d'eau (débits, substrats, ensoleillement, hauteurs d'eau, végétaux...) va dépendre de la nature des peuplements biologiques qui vont s'y attacher. Dans les zones de courants importants, des espèces rhéophiles se développeront. Au contraire, les zones à courants faibles verront le développement d'espèces limnophiles (Fromont, 2010).

D'après Eugène (2009), Un cours draine un bassin-versant et tend à rejoindre le point le plus bas. La puissance de l'eau en mouvement érode à la fois les matériaux du bassin versant, les ressources nécessaires au fonctionnement de l'écosystème ; sels minéraux et nécromasse et entraîne même des organismes vivants.

Les eaux courantes constituent un système de transport amont-aval, et le fonctionnement de leurs écosystèmes se déroule suivant un gradient horizontal et non plus verticale. C'est cette particularité qui fait toute l'originalité des écosystèmes d'eaux courantes, des écosystèmes lotiques. Elle explique leur tendance vers l'hétérotrophie, la photosynthèse ne joue un rôle important que sur les pentes faibles, en plaine (potamon).

Le fonctionnement horizontal des écosystèmes lotiques est d'abord fondé sur l'utilisation des matériaux organiques transportés par les organismes détritiques qui s'en nourrissent les champignons et les bactéries qui les dégradent et les oxydent. Secondairement, les matériaux oxydés permettront la photosynthèse des algues fixées (phytobenthos) et en suspension (phytoplancton). Les réseaux alimentaires animaux, sur un cours supérieur, sont assimilables à ceux des sols, basés sur la nécromasse. Ce n'est que lorsque le courant diminue, que le phytobenthos développe, que des réseaux alimentaires fondés sur des herbivores apparaissent. Les phénomènes de turbulence sont dominants et équilibrent plus facilement les échanges gazeux eau-atmosphère. L'apparition d'un gradient vertical biosynthèse-biodégradation est un phénomène exceptionnel et temporaire, en été, au niveau du potamon, surtout lorsque des chaussées rehaussent le niveau du plan d'eau pour permettre la navigation.

I.1.4. Notion des sédiments fluviaux

Selon N'guessan, (2008), Sont des dépôts de matériel meubles, constitués essentiellement de particules, de taille extrêmement variable, d'origine endogène et exogène au milieu aquatique. Généralement, les sédiments présents dans les biotopes aquatiques sont de façon prépondérante d'origine exogène. Il s'agit de particules minérales et organiques provenant de l'érosion hydrique et éolienne des sols, Les sédiments endogènes proviennent des débris végétaux et animaux aquatiques (ex. algues et phytoplancton), de la précipitation de carbonates ou d'évaporites.

Quatre fonctions caractérisent les sédiments aquatiques :

- Un effet de mémoire : enregistrement dans le temps de l'intensité de différentes pollutions.
- Un support de vie : le sédiment constitue un habitat et une source d'alimentation pour certains organismes végétaux et animaux (qui rentrent dans la chaîne alimentaire) ; il a une valeur écologique, sociale et économique.
- Une source secondaire d'émission de polluants dans le système aquatique suite aux processus naturels et anthropiques de résuspension.
- Enfin, une qualité de stockage : capacité d'un sédiment à immobiliser à long terme une substance dangereuse grâce à sa complexation, son absorption et à l'adsorption sur différentes particules sédimentaires (Förstner, 2004).

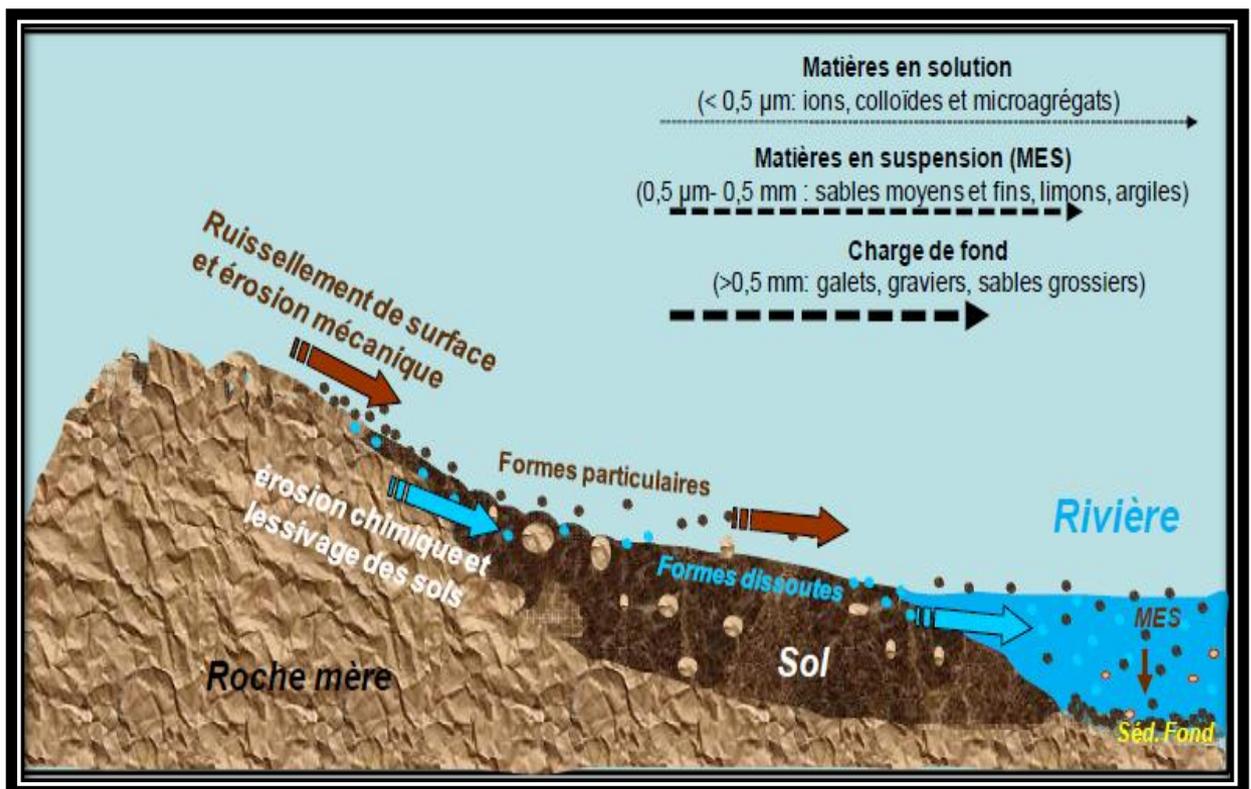


Figure 1 : Modes de transports et devenir des matériaux issus de l'érosion (mécanique et chimique) dans les milieux fluviaux (N'guessan, 2008).

I.1.5. La charge sédimentaire

En dépendance des volumes écoulés, l'eau transporte des sédiments. Cette charge sédimentaire provient de l'érosion des versants, selon des processus contrôlés par le climat (gélifraction, altération chimique.....) et la spécificité du bassin versant (lithologie, pentes, exposition, végétation....) sa nature en dépend, ainsi que l'importance de sa production(Cosandey, 2003).

I.1.5.1. 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 (Merabet, 2010).

D'après Koller (2009), les matières en suspension diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement. 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...)(anonyme, 2005).

I.1.5.2. La charge de fond

Aussi appelée charge grossière, elle est constituée des sédiments transportés sur le fond du lit. Lors de son déplacement, cette charge est mobilisée sur une épaisseur qui ne dépasse pas le diamètre de quelques grains et les particules restent en contact, même partiel, avec le lit. Le transport peut s'effectuer par roulement des particules individuelles sur le fond, par saltation, les éléments progressant par petits sauts en se détachant du fond, ou par charriage, qui détermine un transfert en masse des matériaux, toujours sur le fond du lit. La charge de fond étant constituée par la fraction grossière des matériaux, son transport est assuré par les débits les plus forts, lors des crues. Il est donc très irrégulier dans le temps.

C'est particulièrement vrai pour les organismes torrentiels qui fonctionnent par crises hydrologiques et engendrent le charriage épisodique d'importants volumes de sédiments. Plus en aval, sur les versants de piémont et de plaine, les apports sont mieux régulés (Cosandey, 2003).

I.6. La pollution de l'eau

La pollution de l'eau est l'introduction de n'importe quelle substance dans une rivière, un cours d'eau, un lac ou un océan, substance qui altère les ressources naturelles de cet environnement. Il peut s'agir d'objets visibles : sacs en plastique, bouteilles, pneus, voitures... Bien souvent, la pollution de l'eau est pourtant invisible : produits agricoles fertilisants, produits chimiques industriels, produits ménagers (Melghit, 2010).

De nos jours, les problèmes de pollution constituent un danger de plus en plus important pour l'homme. Parmi ces problèmes, la contamination de l'eau se pose avec acuité. En effet, l'eau est affectée de façon croissante par des matières minérales et organiques et même des microorganismes dont certains sont pathogènes et donc dangereux pour la santé (Coulibaly, 2005).

Selon Ramade (2002), La pollution des écosystèmes aquatiques provoque une multitude de conséquences tant au niveau des diverses biocénoses qu'au niveau de leurs habitats. La pollution de l'eau, quel que soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique,...) peut avoir des conséquences désastreuses, en se traduisant par des effets très spécifiques dus aux particularités écologiques propres aux milieux aquatiques en effet, les microorganismes aérobies engendrent une autoépuration des eaux qui se traduit par un épuisement de l'oxygène présent dans l'eau, lequel est indispensable pour la faune aquatique. Cette régression du taux d'oxygène conduit à une asphyxie chez les espèces animales aquatiques, ainsi qu'à la disparition de la faune des eaux propres en aval d'un émissaire d'égout (Nollet, 1996).

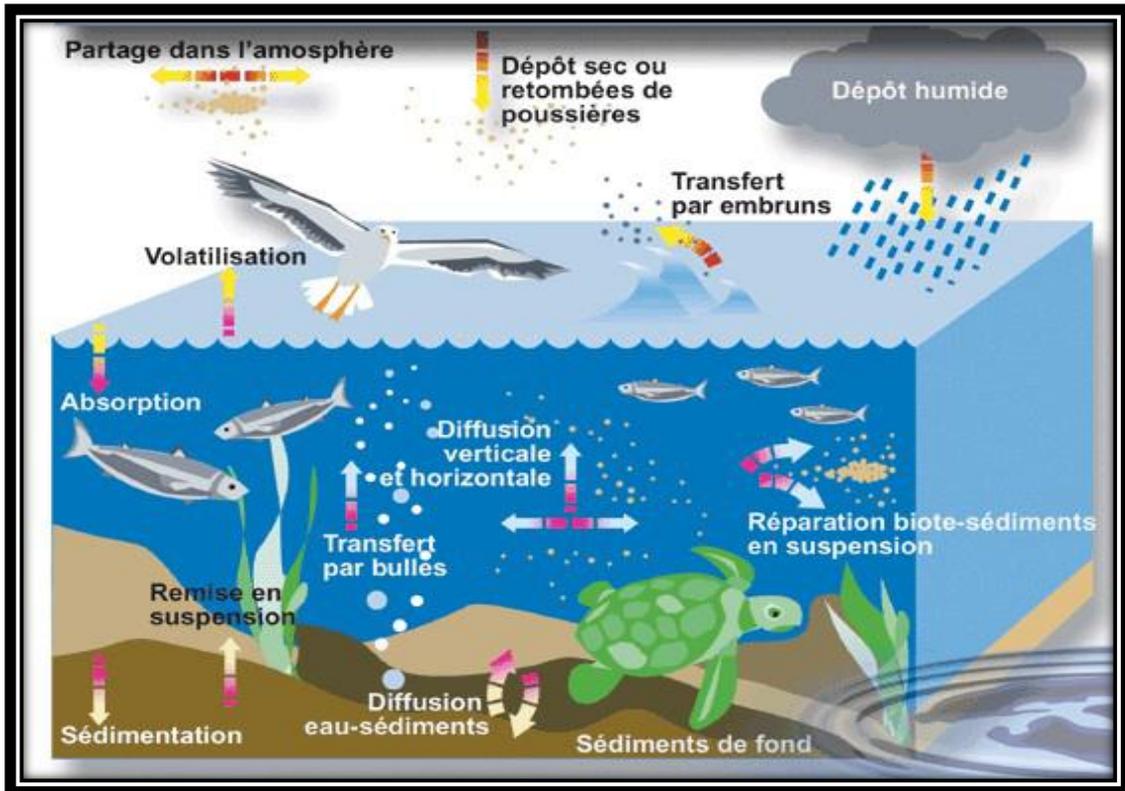


Figure 2 : Les polluants toxique dans les milieux aquatiques(anonyme, 2006)

I.6.1.Lapollution organique

D'aprèsKhaled(1995), 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).

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 (Melghit,2010).Ces polluants sont biodégradables : ils peuvent être transformés en eau et en CO_2 par des micro-organismes (bactéries, algues).Mais cette biodégradation consomme de l'oxygène, qui ne sera donc plus disponible pour la faune aquatique (poissons, crustacés...) (Merouani et Bouguedah,2013).

Les composés azotés contribuent à la pollution organique, suite à la dégradation de l'urée, et des acides aminés, ce sont d'abord les formes ammoniacales qui dominent en milieu désoxygéné; la fraction d'ammoniaque non dissociée (NH_4) est toxique pour le poisson. Lorsque les eaux sont réoxygénées, l'ammoniaque se transforme en nitrates, avec un stade intermédiaire les nitrites (Rodolphe, 1990).

D'après Gisèle (2007), Il existe trois types des pollutions organiques:

I.6.1.1. Les pollutions organiques facilement biodégradables

Il s'agit de matières organiques provenant d'activités biologiques : matières fécales et urines, déchets de l'élevage et des industries agroalimentaires ; feuilles, plantes et animaux morts. La nuisance qui en résulte est due aux germes pathogènes que peut contenir ces matières organiques ou due à une forte concentration de ces déchets qui annihilent le phénomène d'auto épuration naturelle. Cette pollution est souvent la plus grave, du moins la plus répandue.

I.6.1.2. Les pollutions organiques difficilement biodégradables

Elles proviennent d'activités comme la fabrication de pâte à papier, de textiles, de cuirs et peau ; ce sont aussi les détergents qui produisent des mousses diminuant la capacité d'oxygénation du cours d'eau. La dégradation par le milieu naturel de cette pollution est plus lente. Du fait de la dégradation difficile de ce type de pollution, leur nuisance résulte de leur accumulation dans le milieu naturel.

I.6.1.3. Les pollutions organiques toxiques

Elles proviennent des industries pétrochimiques et des raffineries qui rejettent dans leurs effluents des quantités importantes de phénols et d'hydrocarbures. Certains pesticides utilisés en agriculture sont d'origine organique et l'on sait que ce sont des produits toxiques particulièrement nuisant pour la faune aquatique, ils peuvent atteindre l'homme par accumulation dans la chaîne alimentaire. Ce type de pollution gênera ou empêchera totalement les mécanismes d'épuration.

I.6.2. La pollution chimique

Ce type de pollution des eaux de surface résulte le plus souvent de l'introduction dans le milieu de substances à effet toxique, de critères multiples et d'origines diverses (pesticides, détergents, métaux lourds, etc.). La pollution chimique des eaux peut être chronique, accidentelle ou diffuse. Elle peut être due à :

- l'insuffisance de certaines stations d'épuration.
- l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones.
- le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies.
- le rejet d'effluents par les industries.

Cette forme de pollution issue de substances chimiques telles que les insecticides ou les désherbants provoque la destruction de la qualité des eaux de surface (cours d'eau, lacs...) et celle des eaux souterraines (Melghit, 2010). Les détergents sont constitués par des agents de surface (le plus souvent anionique dont l'action est complétée par des adjuvants (polyphosphates, carbonates, silicates). Les polyphosphates contribuent à l'eutrophisation des eaux. Les agents de surface limitent la dissolution de l'oxygène à l'interface eau-atmosphère. Leur toxicité est faible : 10mg/L sont nécessaires pour inhiber la flore bactérienne, 50mg/l pour inhiber le phytoplancton. Chez les poissons l'abaissement de la tension superficielle du milieu modifie les échanges respiratoires au niveau des branchies. Il entraîne également la disparition des insectes vivant à la surface de l'eau. Les pesticides, les fongicides, sont beaucoup plus toxiques que les détergents, puisque leur rôle est précisément la destruction des parasites des cultures et qu'ils sont entraînés dans les eaux par le ruissellement (Eugène, 2009).

I.2. Pollution métallique des eaux et des sédiments

I.2.1. la pollution métallique

L'association des métaux lourds à la phase solide du sol fait que ceux-ci sont en règle générale très peu entraînés vers les nappes. Ils sont aussi faiblement entraînés vers les eaux de rivières, sauf en période de crue lorsque la charge en matière en suspension issue de l'érosion des sols s'accroît. Les transferts de métaux lourds ont été peu étudiés et peu de chiffres sont disponibles, la difficulté résidant notamment dans les différentes

formes que prennent ces éléments traces, rendant complexe le suivi de leur évolution dans les sols et dans l'eau.

Deux mécanismes principaux peuvent être mentionnés :

- le transfert par érosion ou ruissellement pour les éléments métalliques associés aux particules solides.
- le transfert vers l'eau suite à des modifications des conditions du milieu (oxydoréduction) (Bouhaneche, 2014).

I.2.2. Principaux éléments traces métalliques (ETM)

Les éléments traces métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une forte masse volumique supérieure à 5 g/cm³ (Soulaymani et Bencheikh, 2014).

Selon Frédéric et al (2011), Ce terme utilisé de manière inappropriée pour qualifier des éléments métalliques (cuivre, zinc, fer, plomb.....) et des éléments semi-métalliques (arsenic, fluor...) présent dans un sol, dans l'eau..., à l'état de traces. Qualifiés actuellement d'élément traces métalliques (ETM), la plupart de ces éléments sont nécessaires à la vie, mais en dose faibles. Ils peuvent se révéler très nocifs en quantités trop importantes, notamment lorsqu'ils sont présent en excès dans l'eau. Celle-ci insère les ETM dans la chaîne alimentaire (ex. par les poissons). Ils s'accumulent alors dans certains organismes (phénomène de bioaccumulation) et peuvent provoquer une intoxication par ingestion (ex. Intoxication de la chaîne halieutique au mercure méthyle par des rejets industriels).

I.2.2.1. Le cadmium (Cd)

I.2.2.1.1. Définition du cadmium

Le cadmium (stable) est un élément relativement rare présent dans l'écorce terrestre à des concentrations faibles. Ces principales formes cristallines sont le greenockite et l'hawleyite (Cd), l'otavite (CdCO₃), le montéponite (Cdo) et la cadmosélite (Cdse). La source de dispersion naturelle du cadmium dans l'atmosphère est principalement liée à l'activité volcanique.

L'enrichissement en cadmium des sols et des systèmes aquatiques résulte de l'altération des matériaux de la croûte terrestre et des retombés atmosphériques (Martingarnet simon, 2004), La concentration de cadmium dans les eaux douces y sont normalement peu élevées. Des teneurs de là 20 mg/l peuvent être adoptées comme niveau de base des eaux douces(Boutier et al, 1989).

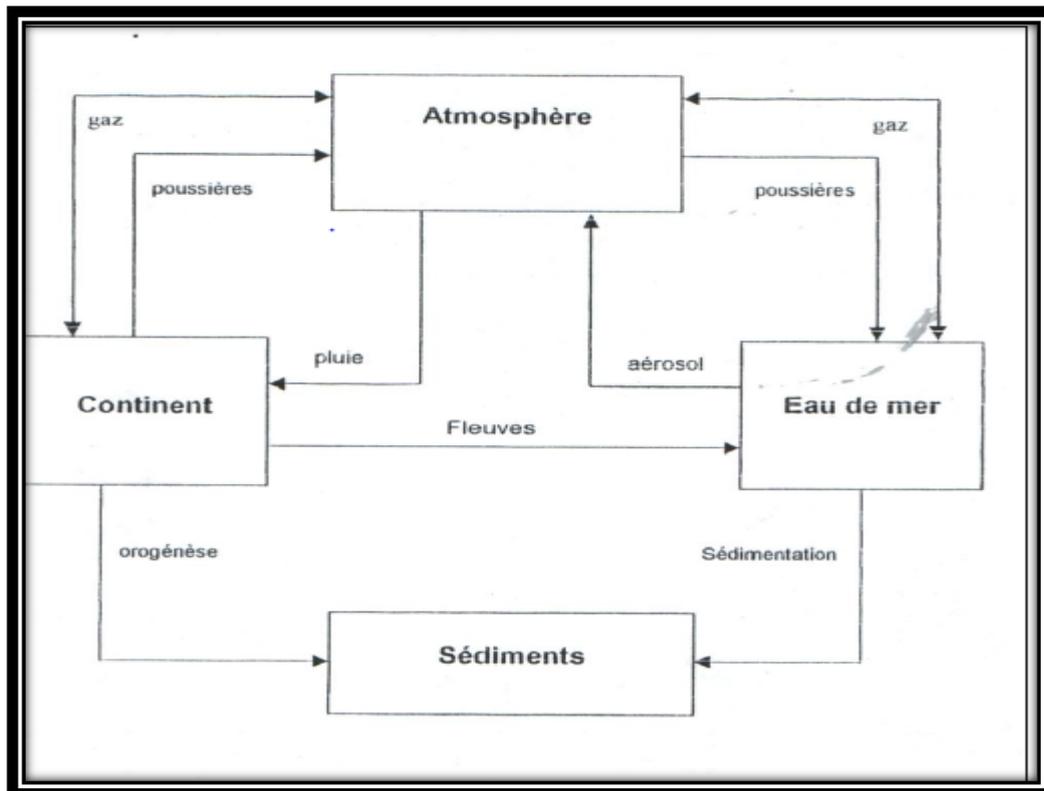


Figure 3 : Cycle géochimique du cadmium dans l'environnement(Cossa, 1993).

I.2.2.1.2. Propriétés fondamentale

Le cadmium a une grande résistance à la corrosion son point de fusion est bas, il a une bonne conductivité de électricité, ces produit dérivées ont une bonne résistance à la forte température, il caractéristique chimiques proche de celle du calcium, en particulier le rayon ionique, facilitant ainsi sa pénétration dans les organismes(Borchardt, 1985).

Le cadmium est un élément recentrées en milieu aquatique sous déverses forme physique (dissous,colloïde, particulaire) et chimique (minérale et organique).

Un ensemble de variable physico chimique du milieu (salinité et pH, potentielle redox, caractéristique sédimentologie...)gouvernent les transformations du cadmium dans l'environnement(Gonzalez et al ,1999).

La distinction entre les trois formes dissoutes colloïdales et particulières se fait par filtration et ultrafiltration dont les seuils sont fixés arbitrairement en fonction de leur taille, premièrement la formes dissoutes (<1nm)de cet éléments milieu aquatique qui sont des espèces libres (Cd^{+2})et formées par des associations (complexation) de cadmium avec des composés (ligands ou complexant)minéraux ou organique. Contrairement au mercure, l'ion libre du cadmium se trouve majoritairement dans le milieu. Ainsi, à pH=8, la quasi-totalité du cadmium est présente sous forme Cd^{+2} . Plus la salinité augmentée, plus la concentration en Cd^{+2} diminue (Campbell, 1995).

Pour des pH supérieurs à 8, le cadmium précipite avec les carbonates. En zone côtière, lors du mélange des eaux douces avec de mer, le cadmium forme des complexes très stables avec les chlorures : les chlorocomplexes (Cdc_{12} , Cdc^{+1} , Cdc_{13} , Cdc_{14}) (cossa et Lassus, 1989).

La deuxième c'est la formes colloïdales (de 45à 1 nm) lorsqu'il se fixe à des oxydes de fer, manganèse, de hydroxydes, des carbonates, des argiles ou de la matière organique colloïdale (Gonzalez et al, 1999). la formes particulières c'est la troisième forme de cadmium de la taille de(>0.4Um) se font par intégration du cadmium dans la structure cristalline de minéraux détritique(bruit de fond géochimique) par liaisonà une fraction d'origine organique (carbonates, restes d'organismes, pelotes fécales), par précipitation avec différents fractions minérales (carbonates, phosphates, oxydes et hydroxydes de fer ou de manganèse, sulfures) et par adsorption sur des phases de différentes natures (argiles, matière organique, oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse(Gonzalez et al,1999).

Tableau 2 : distribution selon la taille de quelques composés chimiques du cadmium dans les eaux (Bouhadiba et chenait,2010).

| | |
|------------------------------|---|
| <p>Solution vraie</p> | <p>Ions libres</p> <ul style="list-style-type: none"> -Complexes inorganique - Complexes organique <p>Ex : Cd^{+2}, CdC^{+1}</p> |
| <p>Colloïdales</p> | <ul style="list-style-type: none"> -Colloïdes minéraux -Complexes organiques -Métal adsorbé <p>Ex : $CdCO_3$, CdS, $Cd-Ac$. Humiques, Cd adsorbé sur des hydroxydes</p> |
| <p>Particulaires</p> | <ul style="list-style-type: none"> -Précipités inorganiques et organiques -Organismes vivants <p>Ex : Cd adsorbé sur particules, Cd adsorbé par les organismes</p> |

I.2.2.1.3. La toxicité

Contrairement à de nombreux métaux, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants, il remplace parfois le zinc dans des systèmes enzymatiques carencés en Zn chez le plancton (Price et Morel, 1990).

Le cadmium présente des risques chez les consommateurs. Même à de faibles concentrations, il tend à s'accumuler dans le cortex rénal sur de très longues périodes (50ans) où il entraîne une perte anormale de protéines par les urines (protéinurie) et provoque des dysfonctionnements urinaires chez les personnes âgées. Chez l'homme, les phénomènes de toxicité aiguë est connu depuis 1950 sous le nom de syndrome d'Itai -Itai défini par l'association d'une insuffisance rénale avec ostéoporose (déminéralisation et fragilisation des os) et ostéomalacies (déminéralisation et déformation des os) son nom provient des cris des malades (Bouhadiba et Chenait, 2010).

I.2.2. 2.Le zinc (Zn)**I.2.2. 2.1. Définition**

De numéro atomique 30 et de masse atomique 65.409 g/mole, est un métal de couleur bleu gris. Son état d'oxydation le plus commun est +2 (appelé ion zincique). Il provient des mines, de l'industrie métallurgiques ou d'opérations de traitement des métaux. Il peut réagir avec les éléments ambiants : humidité, oxygène, dioxyde de carbone, etc., pour former une patine. Cette patine se traduit par une diminution progressive de l'éclat métallique de la surface. La couche formée, insoluble, adhérente et protectrice, a comme constituant principal du carbonate basique de zinc. Le degré d'oxydation du zinc est 2, et il peut être monovalent dans des conditions anaérobies. Le Zn^{+2} domine à un pH acide et il commence à s'hydrolyser à pH (6,7, 7.5) en formant l'hydroxyde de zinc ($Zn(OH)_2$). Le zinc divalent peut s'adsorber sur les suspensions minérales et se complexer ainsi avec les matières organiques (Melghit, 2010).

I.2.2.2. Toxicité du Zinc

Le zinc induit la formation de composés insolubles au niveau des muqueuses recouvrant les branchies des mollusques et des poissons, perturbant la fonction respiratoire. Il affecte également la mue des crustacés.

Le plus inquiétant est que le zinc est désormais reconnu comme un cancérigène lent, mais puissant (Augier, 2008). Selon Brémond et Vuichard (1973), le zinc est considéré comme étant un élément toxique même si les huîtres possèdent la faculté de le concentrer chez les végétaux à forte concentration, l'ion Zn^{+2} provoque le rétrécissement du xylème et inhibe la photosynthèse (Melghit M, 2010).

Tableau 3: Exemples de concentrations des ETM ayant un effet sur la faune aquatique (Afri-Mehennaoui, 2009).

| Toxicité des ETM sur la faune aquatique | |
|---|--|
| Cd | <ul style="list-style-type: none"> - 0,03 à 0,05 µg/l si la dureté de l'eau = 90 à 150 mg/l - 0,28 à 3 µg/l effets défavorables sur les invertébrés aquatiques en laboratoire et <i>in situ</i> - 238 µg/l peu d'effets sur les insectes Aquatiques |
| Zn | <ul style="list-style-type: none"> - 7µg/l si la dureté de l'eau = 90 mg/l - 241µg/l si la dureté de l'eau = 400 mg/l |

I.2.2.3. Le Mercure (Hg)

Elément non essentiel et hautement toxique pour la vie des organismes, rare dans la croûte terrestre. C'est le seul métal liquide à température ordinaire et le seul à être volatil (Ramade, 1993). Les origines naturelles du mercure sont les éruptions volcaniques et l'érosion hydrique qui, par lessivage, entraîne dans les cours d'eau puis dans les océans une fraction du mercure contenu dans les roches superficielles (Ramade, 1978). Certaines bactéries des sédiments benthiques ont un rôle essentiel, car elles transforment le mercure minéral en monométhylmercure. Ce dernier reste dans l'hydrosphère, où il est incorporé aux chaînes alimentaires et provoque chez l'homme divers symptômes caractéristiques de la maladie du Minamata. Les principales causes de pollution par cet élément sont les usages industriels, agricoles ainsi que la combustion du charbon et du pétrole (Noppe, 1996).

I.2.2.4. Le cuivre (Cu)

Métal largement répandu dans le globe (0.01% de la croûte terrestre), sous la forme de cuprite, de chrysocolle, ou de malachite. En raison de ses propriétés physiques particulières, le cuivre métal a un large éventail d'utilisations industrielles.

Les sels de cuivre sont utilisés dans de nombreux domaines (agriculture, industrie textile, fabrication de pigments, industrie photographique). De plus, il est reconnu comme élément essentiel de l'alimentation des oiseaux, des plantes et des mammifères, et participe au métabolisme de la purine et au développement du système nerveux (Noppe, 1996). Le cuivre est un élément, présent dans les compartiments du système aquatique. La concentration limite de cuivre dans l'eau de boisson est de 2 mg/l. La teneur limite pour un nombre d'organismes aquatiques est très basse. La toxicité de ce métal pour les organismes aquatiques dépend de la forme chimique (est notamment de son état d'oxydation) dans laquelle il se trouve (Billon et al., 2010). Il se présente dans ces milieux sous différentes formes chimiques : les ions libres, les formes hydratées, les sels inorganiques et les cuivre organiquement liés. Parmi celles-ci, les ions libres (Cu^+ et Cu^{+2}) sont les formes les plus toxiques. Les formes absorbées est organiquement complexées ne représentent pas vraiment de menace toxique pour l'écosystème. Les formes Cu^{+2} existent en très faible concentration dans les solutions du fait de leur grande capacité à être complexé par la matière organique .

Le devenir du cuivre dans les milieux aquatiques dépend des paramètres tels que le pH, l'oxydoréduction, la capacité d'échange Cationique, la matière organique, la quantité d'oxyde-hydroxyde de fer et d'aluminosilicates (N'guessan, 2008).

I.2.2.5. Le plomb(Pb)

Le plomb se trouve principalement dans les batteries pour l'automobile, les pneumatiques et dans la peinture. Comme pour le zinc, son origine dans les eaux de ruissellement provient de la corrosion automobile. Il est très souvent associé au zinc dans les minerais mais aussi à de nombreux autres éléments (Fe, Cu, Cd, As...) qui sont en grande partie récupérés lors des opérations métallurgiques. Le seuil de toxicité du plomb inorganique en milieu aquatique apparaît à partir de 0,5 µg/L (où l'on observe par exemple un retard de croissance chez le phytoplancton) (Billon et al, 2010).

Le plomb est classé comme substance cancérigène par l'Union Européenne. Il peut pénétrer par voie digestive et par voie pulmonaire. Il provoque des douleurs abdominales, des vomissements et peut aboutir à la mort (lésion au niveau du système nerveux), à des cancers bronchiques et rénaux, à un risque d'infertilité en cas d'exposition prolongée (Maël, 2008).

I.2.2.6. Le chrome (Cr)

Est un élément chimique de symbole Cr et de numéro atomique 24, son poids atomique relatif est de 52. Son étymologie vient du grec « Chroma » qui signifie couleur d'où les composés dérivés de cet élément sont diversement colorés (Melghit, 2010). C'est un métal gris lustré qui résiste extrêmement bien aux agents corrodants ordinaires, sa teneur dans la croûte terrestre (Ramade, 2002). Presque tout le Cr trouvé dans les roches formant la croûte terrestre est trivalent bien que le chrome puisse prendre neuf états d'oxydation différents, de (-2) à (9). Le Cr est extrait essentiellement de la chromite, minéral qui contient entre 40 à 60 % d'oxyde de chrome. La présence de chrome dans l'environnement peut avoir une origine naturelle (altération des roches, précipitations, retombées atmosphériques) ou une origine anthropique (mise en décharge, rejets pétroliers, tanneries...) (Burnol et al, 2005).

I.2.2.7. L'arsenic (As)

L'arsenic est en effet l'un des éléments métalliques les plus toxiques et le métalloïde le plus fréquent dans les eaux et les sols, du fait de la géochimie ou du fait des activités humaines (principalement les industries et les anciennes mines). Or, sous certaines conditions physico-chimiques, certains composés arséniés sont particulièrement solubles dans l'eau et deviennent par conséquent très bio-disponibles.

L'arsenic (de symbole chimique as et de numéro atomique 33) est le vingtième élément le plus abondant dans la croûte terrestre) et le quarante septième élément le plus abondant sur terre parmi les quatre-vingt-huit éléments. C'est un métalloïde au comportement chimique intermédiaire entre les métaux et les non-métaux qui présentent de fortes analogies avec le phosphore. L'arsenic peut exister sous diverses formes inorganiques : sous sa forme métallique pure sans valence, sous sa forme trivalente ou sous sa forme pentavalente (Anonyme, 2009).

I.2.2.8. Le nickel (Ni)

Apports de nickel (essentiellement sous forme particulaire) au milieu aquatique proviennent de phénomènes naturels comme le volcanisme ou les incendies de forêt mais aussi de la combustion du pétrole et de l'industrie des métaux non ferreux. Le nickel à faible concentration est un élément essentiel pour les organismes aquatiques. Néanmoins, des effets sur la reproduction de certains bivalves ont été observés à des concentrations très élevées (rarement observées dans l'environnement), supérieures à 300 µg/L (Billon et al, 2009).

D'après Noppe (1996), Les minerais de nickel les plus communs sont les sulfures, les oxydes, les silicates et les arsenicaux. Les formes exploitées sont les amas sulfurés et les latérites nickélifères. Leur exploitation a provoqué de graves dommages à l'environnement, en particulier sur la végétation avoisinant les mines. La principale source de rejet de nickel dans les eaux résiduaires industrielles est représentée par l'industrie métallurgique, notamment les opérations de revêtement.

I.2.3. La source des ETM

Il existe deux sources différentes de ces éléments :

I.2.3.1. Source naturel (fond géochimique)

Le fond géochimique est par définition "la teneur naturelle ou originelle en éléments traces dans un sol en absence de tout processus d'apport ou d'exportation vers ou hors d'un site considéré" Cette teneur dépend aussi bien de la teneur de la roche originelle constituant le sol (roche dite primaire) que des processus, intervenus lors des périodes géologiques de formation du sol, dépendant de l'échelle spatiale considérée (région donnée, horizon de référence...). Tous les sols contiennent naturellement des éléments traces métalliques. Ainsi, leur seule présence n'est pas indicatrice d'une pollution. La concentration de métaux lourds et métalloïdes dans des sols non contaminés par l'activité humaine est essentiellement liée à la géologie du matériau parent à partir duquel le sol s'est formé. Selon la géologie locale.

Notons qu'il est important de distinguer les teneurs moyennes obtenues dans les roches primaires ou métamorphiques (saines) de celles des roches de la zone d'oxydation (au sein de la zone non saturée). En effet, cette zone d'oxydation correspond à la couche de surface d'une « dizaine de mètres » présentant des circulations d'eaux de pluie chargées en oxygène. Dans cette zone, certains minéraux des roches primaires qui comprennent des éléments avec plusieurs degrés d'oxydations (Fe, Mn, S) sont instables au contact de l'eau de pluie (Burnol et al, 2006).

I.2.3.2. Source anthropique (due à la pollution)

Dès la conception du modèle (conceptuel), il est indispensable de réaliser l'inventaire des différentes origines des pollutions sur un site (tableau 4). Elles peuvent être de différentes natures :

I.2.3.2.1. Pollutions locales (sites industriels et stockage de déchets minéraux)

Il s'agit principalement d'anciens sites industriels qui sont susceptibles d'être réutilisés. Ces anciens sites comportent des sources polymétalliques.

I.2.3.2.2. Pollutions de proximité : il s'agit par exemple des contaminations en provenance de stations d'épuration, des eaux d'inondation ou encore du dragage des sédiments des canaux et ports. Les concentrations en métaux lourds des sédiments issus des canaux et des rivières (Burnol et al, 2006).

I.2.3.2.3. Sites miniers : les zones minières constituent un cas particulier, les concentrations en éléments traces métalliques étant localement très élevées. Bien qu'à l'origine ces éléments soient en général inclus dans des structures cristallines, donc peu mobiles, les risques de migration résultent de l'oxydation des sulfures (au sein des galeries ou des stériles présents en surface). L'acidification des eaux qui en résulte permet le transport à l'état dissous des éléments (phénomène appelé drainage minier acide dans le cas d'une eau d'exhaure) ; bien qu'il soit nécessaire de citer ces apports métalliques éventuels dans un modèle conceptuel, il est bien souvent impossible de disposer de l'ensemble des données qui permettraient de quantifier ces différents apports dans un modèle prédictif (Burnol et al, 2006).

Tableau4: Liste non exhaustive de la provenance des métaux lourds et métalloïdes dans l'environnement(Burnol et al, 2006).

| Eléments | Sources |
|-----------------|--|
| As | Sous-produit minier, pesticides, déchets chimiques, préservateur de bois |
| Cd | Extraction et fonderie du plomb et du zinc, décharges industrielles, déchets miniers |
| Cr | Additif des eaux de refroidissement |
| Cu | Déchets domestiques et industriels, mine, lixiviation de minéraux |
| Hg | Déchets industriels, mines, pesticides, charbon |
| Ni | Sources géologiques naturelles, industrie, mine |
| Pb | Industrie, mines, plomberie, charbon, essence |
| Se | Sources géologiques naturelles, charbon |
| Zn | Déchets industriels, plomberie |

I.2.4. Distribution et mobilité des ETM dans la colonne d'eau

Dans des échantillons bruts, la concentration en métal total peut ainsi être élevée alors que la quantité de métal « bio-disponible » est faible. L'étude de la spéciation des métaux dans la phase dissoute apparaît plus adaptée dans le cadre d'une évaluation des risques pour l'environnement. Toutefois, la phase particulaire joue un rôle très important dans le cycle biogéochimique des métaux dans les systèmes aquatiques. En effet, à travers les matières en suspension et le sédiment, la phase particulaire est susceptible de transporter, de stocker voire de recycler de façon significative les métaux. En fonction des conditions environnementales, les métaux peuvent être facilement transférés de la phase particulaire vers la phase liquide.

La mobilité des métaux se traduit généralement par le passage de la forme colloïdale et particulaire à la forme dissoute.

Le pH, l'oxygène, la salinité, la dureté et la teneur en carbone organique sont les paramètres physico-chimiques qui influencent en majeure partie ce type d'échange dans l'eau, par exemple, lors d'une diminution du pH dans l'eau, la concentration des métaux sous forme ionique augmente du fait de la compétition avec un nombre croissant d'ions hydroniums (H_3O^+ , n H_2O) vis-à-vis des sites d'adsorption, ainsi la mobilité des métaux augmente généralement dans le milieu lorsque le pH diminue.

La matière organique joue également un rôle très important vis-à-vis de la mobilité de la « biodisponibilité » des métaux. Sa présence (dissoute ou particulaire) engendre beaucoup de réactions de complexations. Les concentrations en métal libre (considérées comme étant les plus assimilables par les organismes aquatiques) diminuent alors, entraînant par la même occasion une diminution de la biodisponibilité métallique (Billon et al, 2010).

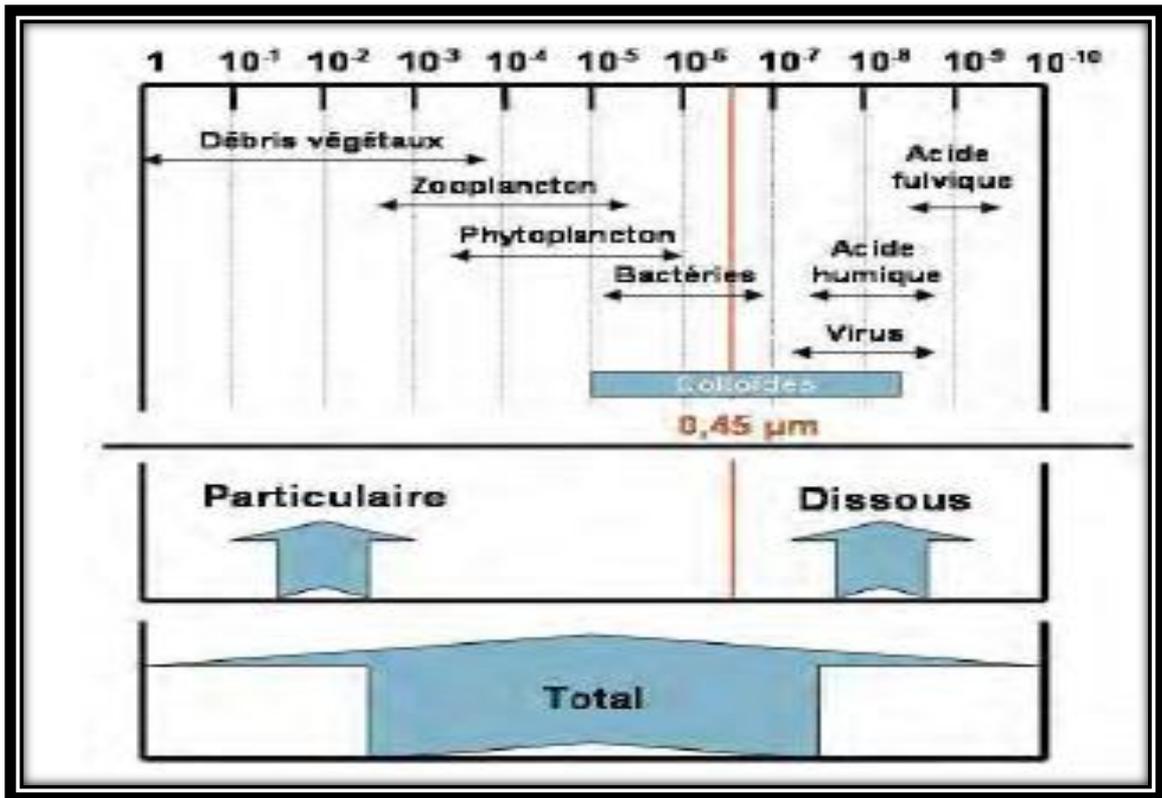


Figure 4 : Spectre des tailles (en mètre) de particules dans le milieu aquatique et schématisation des différentes fractions (Billon et al, 2010).

I.2.5. Impact des ETM sur les écosystèmes aquatiques

Contrairement aux polluants organiques, les éléments traces métalliques ne peuvent pas être dégradés biologiquement et chimiquement. Une des conséquences les plus sérieuses de la persistance des métaux est leur accumulation dans les chaînes alimentaires. Au bout de ces chaînes, les éléments traces peuvent atteindre des concentrations 10 fois supérieures à celles trouvées dans l'eau (Bliefert et Perraud, 2001). Ces éléments et leurs composés sont souvent transportés sur de grandes distances par l'eau avec ou sans modification chimique. Les réactions de transformation conduisent généralement à des composés plus toxiques que l'élément d'origine. En revanche, l'immobilisation des éléments traces par les particules diminue leur disponibilité pour les organismes aquatiques.

Les planctons, les micro-invertébrés, les invertébrés aquatiques, les poissons, les crustacés et mammifères aquatiques. Ces organismes, présents dans l'eau, sont particulièrement sensibles aux effets des métaux lourds (Bliefert et Perraud, 2001).

Le cuivre, par exemple, provoque l'altération des branchies de poissons et retarde leur ponte il rentre dans la composition des pigments respiratoires des mollusques et provoque le verdissement des huîtres (Gaujous, 1995). Les ETM peuvent aussi altérer les enzymes ou le métabolisme cellulaire des végétaux avec des dégâts plus importants lorsqu'ils pénètrent dans les cellules (Hernandez, 2003). La pénétration de zinc, de nickel, de cobalt, de cadmium, de cuivre et de plomb (dans l'ordre croissant) dans les cellules des végétaux supérieurs et d'algues photosynthétiques se traduit par leur fixation sur les radicaux thiols, et par le blocage direct, ou par substitution à des métaux cofacteurs (magnésium), de structures enzymatiques telles que la ribulosebiphosphate carboxylase. Pour des teneurs de 2,5 mg/l dans les végétaux, le nickel provoque des dégâts dans la structure lipidique des membranes et provoque une perte de récolte pour des concentrations comprises entre 1 et 2 mg/l. Le plomb, sous sa forme $PbCl_2$ (N'guessan, 2008).

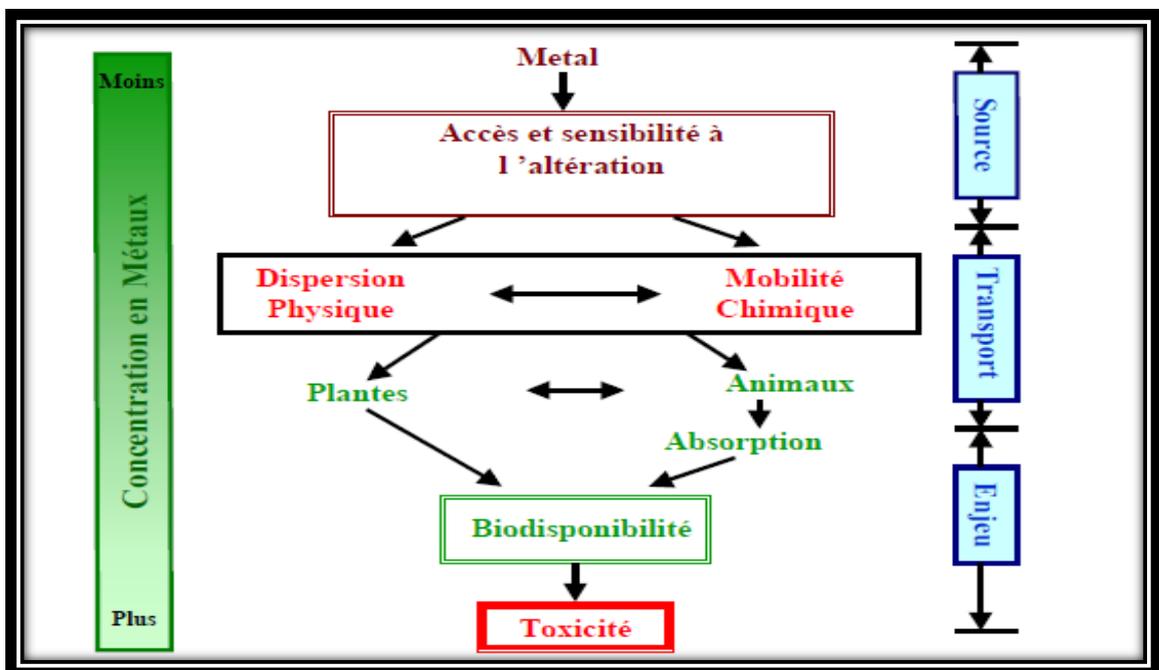


Figure 5: Diagramme de transfert des métaux (Chaguer, 2013).

Le tableau suivant représenté les principaux effets causés par élément traces métalliques sur les êtres vivants .

Tableau5 : principaux effets associés au élément traces métalliques (Burnol et al,2006).

| Eléments | Effets |
|-----------------|--|
| As | Toxique, possible cancérigène |
| Cd | Hypertension, dommages sur le foie |
| Cr | Cancérigène sous forme de Cr(VI) |
| Cu | Peu toxique envers les animaux, toxique envers les plantes et les algues à des niveaux modérés |
| Hg | Toxicité chronique et aigue |
| Ni | Allergies de peau, maladies respiratoires, Possible cancérigène |
| Pb | Toxique |
| Se | Essentiel à faibles doses, Toxique à doses élevées |
| Zn | Toxique pour les végétaux à de fortes teneurs |

CHAPITRE II:

LE FORTIFIE

II. Principaux paramètres mesurables de l'eau

II.1. Les paramètres physicochimiques

II.1.1. Température

La température de l'eau joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz, de l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique, par ailleurs la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 fois pour une augmentation de température de 10°C. L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc élevée lorsque la température de l'eau accroît (Devillers, 2005. in Bouhannèche et Hammada ,2014).

Selon Foussard et Etcheber (2011), la température de l'eau est un paramètre qui conditionne la présence des espèces selon leurs thermorésistantes. En fonction du degré de perturbation de la température, les variations peuvent avoir une influence sur le déplacement des espèces.

II.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, à pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 une eau dite acide et à un pH supérieur à 7, elle est dite basique. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. C'est d'ailleurs à l'intérieur de ces deux valeurs que se situe généralement le pH des eaux distribuées aux collectivités (Rodier, 2009).

II.1.3. Conductivité électrique (CE)

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 crée par des substances ionisées la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (Atrouz et Lefilef, 2012).

II.1.4. La matière organique (MO)

La matière organique naturelle est un ensemble de macromolécule provenant de la dégradation de débris animaux et végétaux ainsi que de la production primaire du phytoplancton dans les eaux naturelles (parlanti et budzinsk, 2009).

D'après Melhaoui(2009), les matières organiques sont des matières organiques mortes (nécromasse). Bien souvent, il s'agit de matières organiques d'origine fécale. Normalement, les matières organiques sont oxydées par l'activité des microorganismes aérobies présents naturellement dans les eaux. C'est ce que l'on appelle l'autoépuration.

Mais cette dégradation consomme de l'oxygène dont on sait qu'il n'est jamais dissous en grande quantité dans les eaux, ni facilement remplacé. Au-delà d'une certaine quantité, les matières organiques entraînent une désoxygénation partielle ou totale des eaux, d'abord préjudiciable à la vie aquatique, puis, dans un second temps, favorisant des organismes anaérobies peu compatibles avec la bonne santé des utilisateurs de ces eaux.

II.1.5. L'oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs, tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (Villers, 2005 in Merabet, 2010).

II.2. Les paramètres biologiques

Sont le plus souvent associés à des indicateurs biologiques ou bio-indicateurs, parmi les indices les plus couramment utilisés, on peut citer l'indice biotique, maintenant remplacé par l'indice biologique global normalisé (IBGN), l'indice diatomées, l'indice oligochètes, l'indice macro-invertébrés, l'indice poissons, l'indice macro-phytes ou l'indice oiseaux (Melhaoui, 2009).

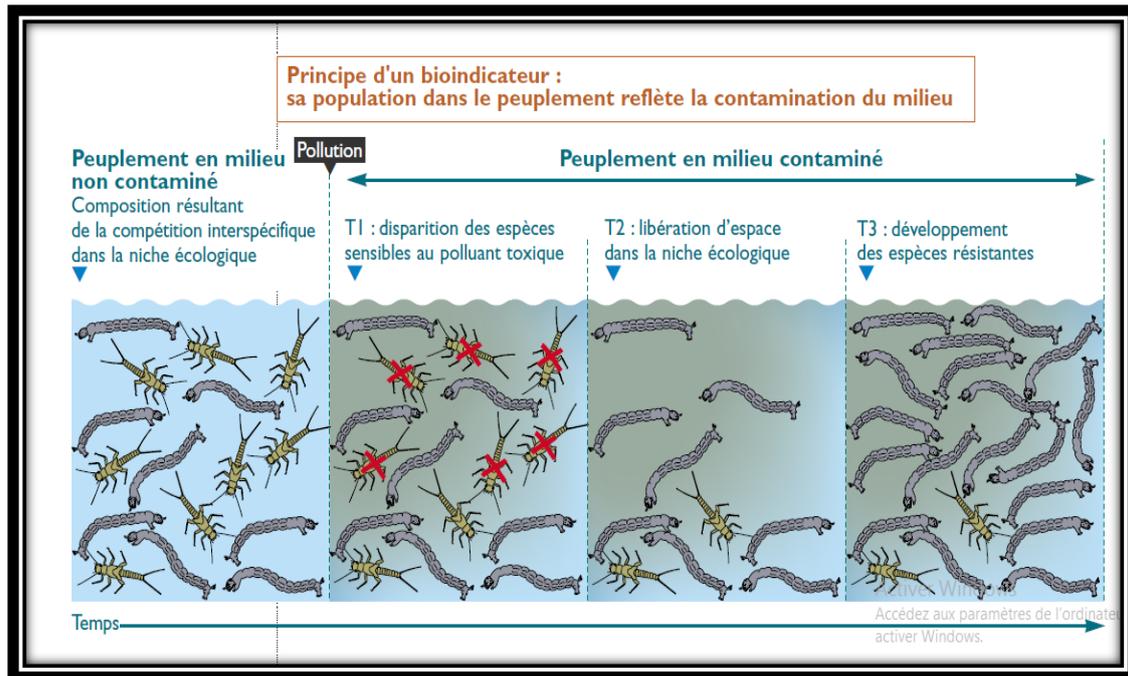


Figure 6 : Les bio-indicateurs des peuplements aquatiques, indique l'intensité de la pollution par leur présence/absence (Boucheseiche et *al*,2002).

II.2.1. Les macro-invertébrés benthiques en tant qu'indicateurs

Les macro-invertébrés benthiques sont des organismes qui vivent dans le fond d'un cours d'eau ou qui ne s'en éloignent que de peu durant la majeure partie de leur vie. Dépourvus de colonne vertébrale, ils sont visibles à l'œil nu. On retrouve dans cette catégorie les larves d'insectes aquatiques, quelques insectes aquatiques adultes, les crustacés, les mollusques et les vers.

Les principaux ordres d'insectes aquatiques appartenant à cette catégorie d'organismes sont les *Éphémères*, *Plécoptères*, *Trichoptères*, *Diptères*, *Coléoptères*, *Mégaloptères*, *Hémiptères*, *Odonates* et *Lépidoptères*(Touzin,2008)

a)Les mollusques : Peuvent être présents sous forme de larves ou d'œufs cas de chironomes pour les insectes (Bouhannèche et Hammada2014)



Figure 7:Exemple de Mollusque : *Physidae* et *Planorbidae* (Forcellini et al, 2008-2011)

b)Les insectes : Sous forme de larves, nymphes ou adultes ex : les Ephémères, les libellules,etc



Ephéméroptères

Trichoptère

Odonate

Figure8 :Exemple des insectes d'eau douce (Forcellini, 2008-2011).

c) **Autres invertébrés** : ex les éponges, les *hydracariens*, etc. Une partie au moins de leur cycle de vie est aquatique, ils sont visibles à l'œil nu ($> 0,5$ mm). De bons indicateurs de la qualité de l'eau (Dreal et al, 2011).

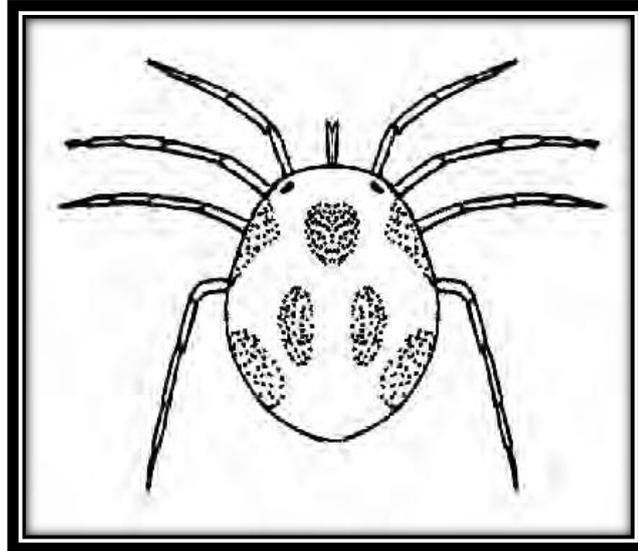


Figure 9 : Image d'une *Hydracarien* (Moisan ,2010).

Parmi les communautés biologiques, les communautés de macro invertébrées benthiques sont les plus utilisées pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques. Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux.

Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat. Ils intègrent les effets cumulatifs et synergiques à court terme (allant jusqu'à quelques années) des multiples perturbations physiques (modifications de l'habitat), biologiques et chimiques dans les cours d'eau. Ils sont abondants dans la plupart des rivières et faciles à récolter. De plus, leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résiduel (tableau 6) (Anonyme, 2013).

Tableau6 : La sensibilité des macro-invertébrés aux métaux lourds (Melhaoui ,2009).

| Macroinvertebré | La sensibilité au métaux lourd |
|-----------------|---|
| Plécoptères | Avis partagé des auteurs |
| Éphéméroptères | Paraissent globalement très sensibles aux métaux (zinc, cadmium, plomb) Les familles les plus polluosensibles : <i>leptophlebiidae</i> <i>Ephemeridae</i> - <i>heptageniidae</i> - <i>ephemerellidae</i> . <i>Caenidae</i> sensibles aux métaux - <i>Baetidae</i> tolérants |
| Trichoptères | Trichoptèreslibres paraissent globalement plus résistants que trichoptères à fourreau. <i>Sericostomatidae</i> - <i>leptoceridae</i> sont ponctuellement considérés comme résistants |
| Coléoptères | <i>Hydraenidae</i> sensibles au zinc. |
| Diptères | <i>Chironomidae</i> sont résistants. <i>Tipulidae</i> , <i>rhagionidae</i> sensibles. <i>Simuliidae</i> résistants (zinc + plomb) |
| Mégaloptères | Résistant au zinc et fer. |
| Odonates | Tolérants au zinc et au fer |
| Crustacés | Sensibles |
| Mollusques | Une forte sensibilité au zinc, plomb et cadmium |
| Achètes | <i>Leshirudidae</i> sont sensibles au zinc, fer. |

| | |
|--------------------|--|
| | Le genre <i>erpoibdellae</i> est résistant au plomb, cuivre, zinc. |
| Tricladés | Sensibles aux métaux <i>Dugesia</i> résistante au cadmium. |
| Oligochètes | Grande tolérance, en particulier le genre <i>tubifex</i> , au plomb, zinc, cadmium, cuivre |

II.2.2. Avantages d'utiliser les macro-invertébrés comme bio-indicateurs

- Ils réagissent aux toxiques rapidement et différemment selon les espèces, ils fournissent une réaction graduelle à des degrés d'agression différents ;
- Ils sont présents dans le milieu assez longtemps pour fournir une image représentative de la qualité de ce dernier, ils ont des cycles d'au moins plusieurs mois et en général d'un an (Anonyme, 2011).

Selon Mireille (2009), Les macro-invertébrés benthiques s'avèrent de bons indicateurs locaux de la santé des écosystèmes aquatique puisque ils sont abondants, facilement identifiables et présents dans une diversité de plans d'eau, incluant les cours d'eau.

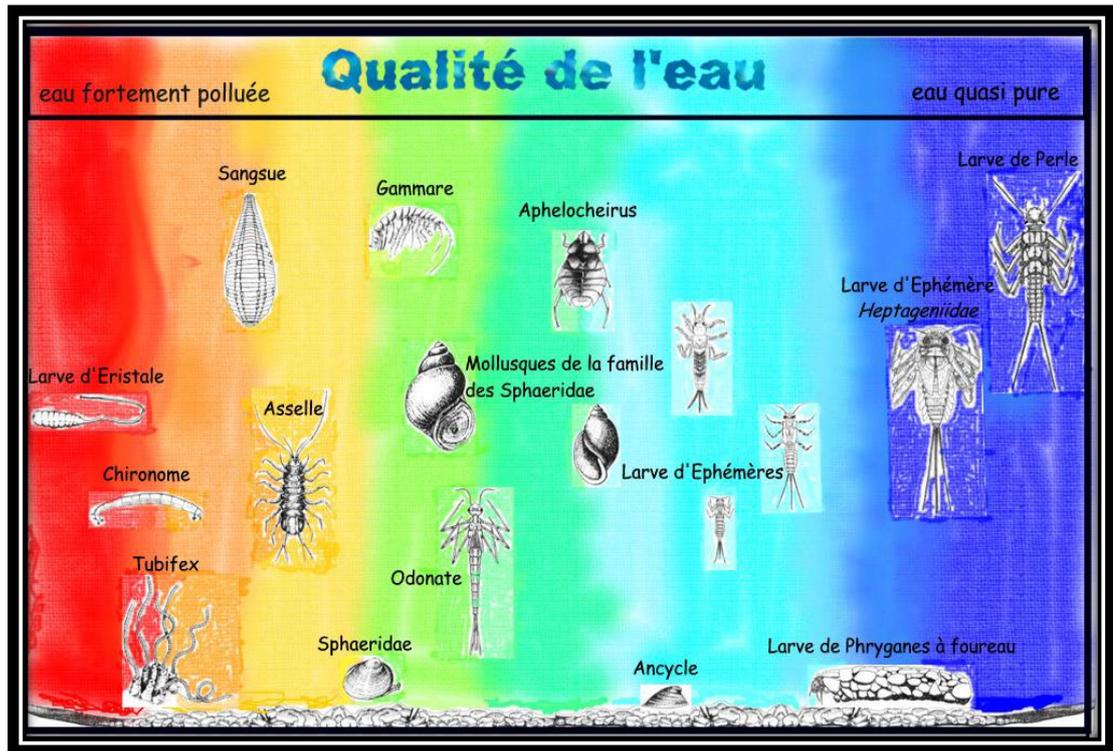


Figure 10: Les macro-invertébrée comme bio-indicateur de la qualité de l'eau (Melhaoui, 2009).

II.2.3. Quelques indice biologique

II.2.3.1. L'indice biologique global normalisé (IBGN)

Cet indice très utilisé depuis les années 1990, est une mise en œuvre relativement « complexe ». Les échantillons doivent être réalisés au filet « surber » de 1/20^e de m² pour les eaux peu profondes (Claude et *al.* 2012).

L'IBGN est une méthode d'évaluation de la qualité de l'eau et des habitats des petits cours d'eau peu profonds. Il constitue une information synthétique exprimant l'aptitude d'un site d'eau courante au développement des invertébrés benthiques (insectes, crustacés, mollusques, vers...), toutes causes confondues. Il est qualifié de « global » car il traduit les caractéristiques de l'eau et du substrat selon la présence ou l'absence de macroinvertébrés.

Les macro-invertébrés sont fortement influencés par :

- La modification de l'habitat ;
- La présence de matières organiques ;
- Une faible oxygénation des eaux (Anonyme, 2011).

Les prélèvements des échantillons effectués sur le terrain permettent d'avoir une idée de la qualité biologique de l'eau par la présence ou l'absence de groupes indicateurs choisis pour leur sensibilité plus ou moins grande aux pollutions diverses et aux modifications naturelles qui peuvent avoir lieu dans un cours d'eau. Ce premier paramètre est croisé avec l'abondance spécifique de la station (nombre de taxons différents prélevés) qui est un indicateur de la diversité des milieux présents dans la rivière (Berlemont et al, 2008).

Tableau7: Résultats de l'IBGN associés à une couleur. (Melhaoui, 2009).

| IBGN | >17 | 16-13 | 12-9 | 8-5 | <4 |
|---------------------|---------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Qualité | Excellente | bonne | passable | médiocre | mauvaise |
| Code couleur | Bleu | vert | jaune | Orange | rouge |

II.2.3. 2. Indice biologique diatomique (IBD)

Les diatomées sont des algues brunes unicellulaires pourvues d'un squelette siliceux comportant deux valves emboîtées. Il en existe des milliers d'espèces dans le monde et elles vivent dans les eaux douces, ou dans les milieux salins (estuaires et eaux de mer). Leur choix en tant que bio-indicateur est apparu comme pertinent puisque les diatomées peuplent les cours d'eau tout au long de l'année, qu'elles réagissent aux perturbations du milieu aquatique et qu'il est possible d'analyser la flore diatomique benthique avec une bonne fiabilité. Certaines pollutions chimiques, matière organique, composés azotés et phosphorés provoquent un changement des communautés de diatomées dans le tronçon concerné, les espèces sensibles disparaissant au profit d'espèces plus résistantes. L'examen des espèces (nature, nombre et fréquence) permet d'estimer l'état de pollution du cours d'eau au cours des semaines précédant le prélèvement (Rodier, 2009)



Figure 11: Exemple des diatomées (Van Vlaenderen,2012)

Tableau8: Les classes de qualité d'eau en fonction de la valeur de l'IBD(Rodier ,2009).

| IBD | <5 ,0 | 5 ,0≤IBD<9,0 | 9,0≤ IBD<13,0 | 13,0≤ IBD<17,0 | ≤17,0 |
|------------------|---------|--------------|---------------|----------------|----------|
| Qualité de l'eau | Mauvais | Médiocre | Moyen | Bon | Très bon |
| Code couleur | Rouge | Orange | Jaune | Vert | Bleu |

II.2.3. 3. L'indice Biologique Belge (IBB)

L'IBB est une méthode d'évaluation de la qualité de l'eau par l'examen des macroinvertébrés aquatiques benthiques. Il est applicable dans tous les cours d'eau peu profonds de Belgique et spécialement de Basse et Moyenne Belgique et permet principalement d'évaluer l'effet de pollutions organiques et inorganiques et de révéler le rejet de matières toxiques(tableau 9). Cet indice attribue une cote qui est lue dans un tableau à double entrée (Gaëtan, 2008).

Tableau9: Evaluation de la qualité d'une eau de surface par l'IBB (Gaëtan, 2008).

| Une cote de | Indique | Par une couleur | une eau |
|-------------|---------|-----------------|--|
| 9 à 10 | Bleue | | Peu ou pas polluée |
| 7 à 8 | Vert | | Peu polluée |
| 5 à 6 | jaune | | Polluée |
| 3 à 4 | Orange | | Très polluée |
| 1 à 2 | Rouge | | Excessivement polluée |
| 0 | Noire | | Excessivement polluée et sans macro- invertébrés vivants |

II.2.3.4. Indice oligochète de bio-indication des sédiments (IOBS)

Cet indice est basé sur la détermination de la richesse taxonomique en oligochètes d'un échantillon. Il est applicable à l'ensemble des cours d'eau (ainsi qu'aux eaux saumâtres) pourvus de sédiments fins ou sableux, permanents ou stables et son domaine d'application s'étend aux lacs et retenues. La classe des oligochètes se compose de vers annelés la plupart terrestres, parfois aquatiques et souvent limicoles. Mais ce sont les formes limicoles qui sont prises en compte dans l'indice oligochète. En relation directe avec la qualité de l'eau qui les baigne, ces oligochètes sont utilisés comme des descripteurs des activités anthropiques sur les milieux aquatiques. Les différences de sensibilité des familles d'oligochètes à la pollution permettent à l'indice oligochète de traduire l'impact des pollutions dans toutes les eaux courantes, y compris dans les lacs et les grands barrages (Rodier, 2009).



CHAPITRE III:

MATERIEL ET METHODES

III.1. Présentation de la zone d'étude

III.1.1. Présentation physique de bassin versant d'OuedElkebir

Le bassin de l'Oued El kebir est situé en grande partie sur le versant méridional du bombement tellien. Il représente à ce titre une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud. Cette entité hydrographique est composée de quatre sous bassins versant. Il est limité naturellement par :

- Au Nord-Ouest et Est le bassin des côtières Constantinois Est et Centre.
- Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois.
- A l'Ouest les bassins de l'Algérois- Hodna- Soummam.
- A l'Est le bassin de la Seybouse (Kerdoud S, 2006).

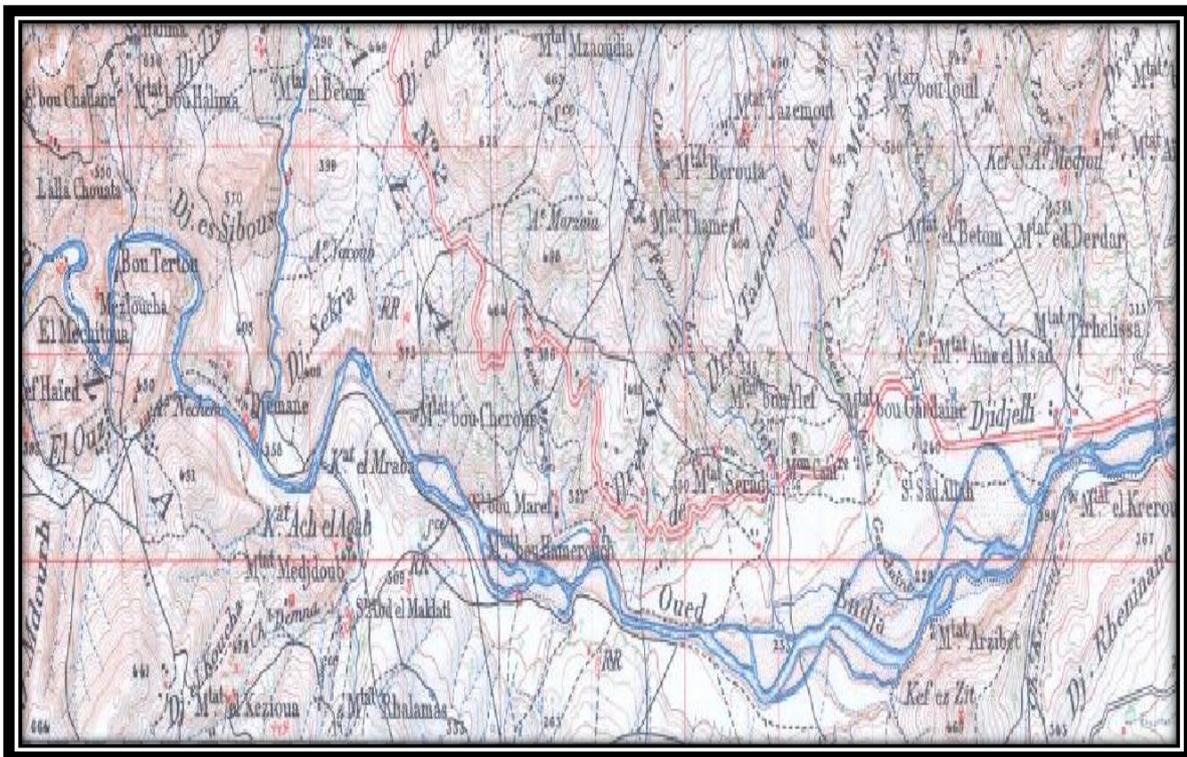


Figure 12 : Carte topographique représente le trajet d'Oued Endja(Agence Hydraulique de Mila).

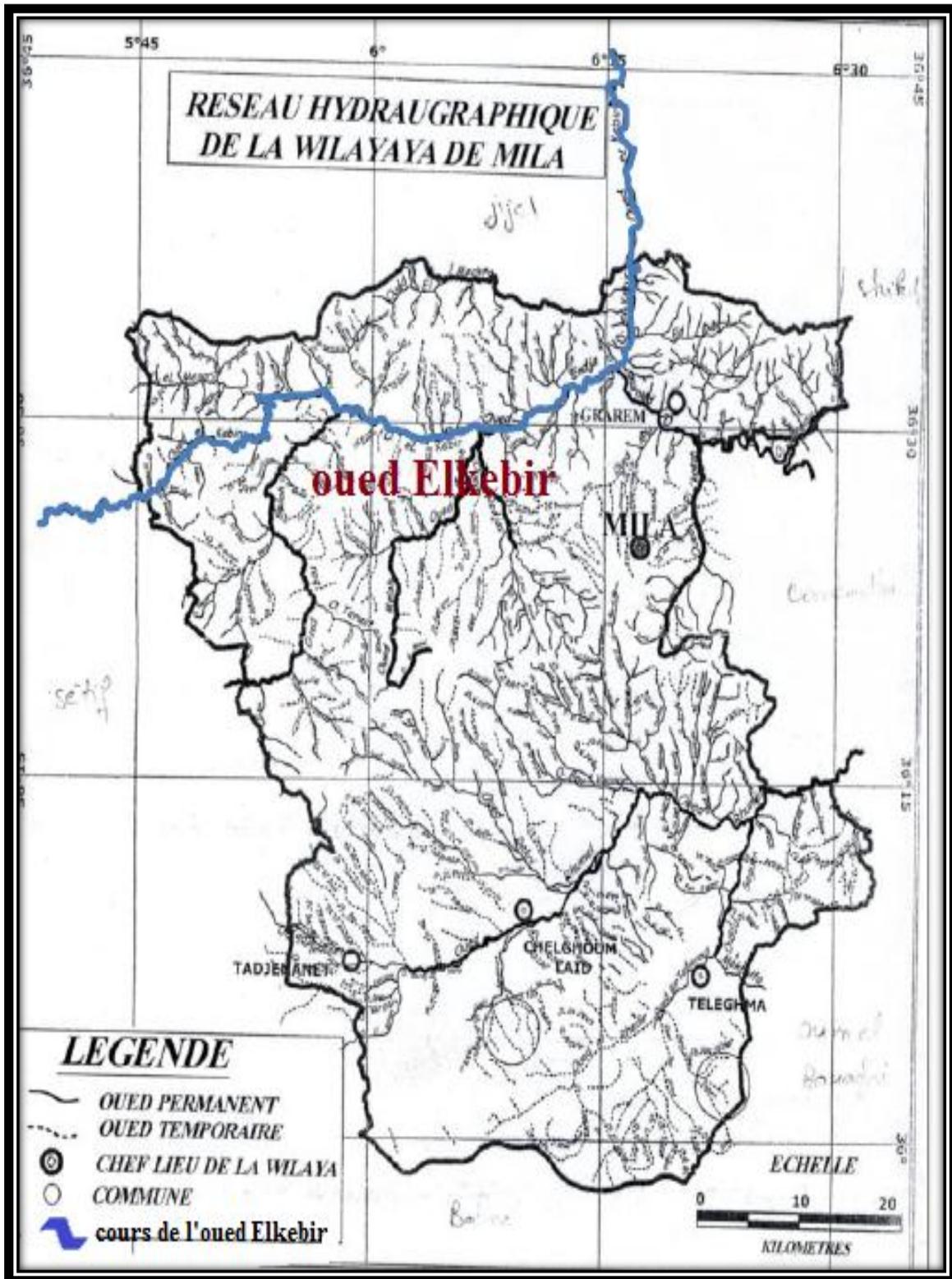


Figure 13 : La zone d'Oued Elkebir (Agence Hydraulique de Mila).

III.1.2. Géologie de la zone d'étude

L'histoire géologique du Bassin de l'Oued Elkebir est particulièrement mouvementée et marquée par un empilement d'unités structurales du Nord au Sud.

La carte géologique montre en relief l'existence d'une mosaïque de terrains et de structures plus ou moins complexes dont le résultat se traduit par une grande diversité des ressources souterraines tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

En effet, à l'opposition topographique par laquelle se caractérise le bassin, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au sud formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaire isolés, et d'un édifice beaucoup plus complexe au nord constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées durant les phases tectoniques successives (Kerdoud, 2006).

La région d'étude fait partie de l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale. Elle constitue une zone charnière entre, au Nord, le domaine interne allochtone, caractérisé par des nappes de charriages, à vergence sud, en relation avec une tectonique compressive polyphasée Cénozoïque et au Sud le domaine paraautochtone où s'installe le bassin néogène post-nappes constantinois (Marmietal, 2008).

Les terrains meubles sont constitués principalement de dépôts alluviaux sablo-graveleux dans le lit des oueds et sur plusieurs niveaux de terrasses, de colluvions provenant en grande partie de l'érosion des formations terrigènes et d'éboulements au pied des formations rocheuses (Mebarki, Benabbas et al, 2008).

III.1.3. Les caractères climatiques

Les caractéristiques les plus originales de toute la région sont réunies dans le bassin de l'Oued Elkebir. Le nord s'avère être une zone humide et pluvieuse et le sud avec un climat semi-aride à aride.

Selon Kerdoud, (2006), Cette opposition trouve son origine dans de multiples causes :

- Le nord influencé par un climat méditerranéen, le sud par un climat de type continental.
- La répartition des ensembles montagneux, les contrastes renforçant cette disparité géographique.

III.1.3.1. Les précipitations

Les précipitations constituent évidemment, le paramètre climatique essentiel. Leur intensité, leur continuité et leur périodicité sont l'origine même de l'écoulement, de sa localisation et de sa violence. Dans certaines régions, où le régime des écoulements est fortement lié aux précipitations (Kerdoud, 2006).

La région est caractérisé par une forte variabilité inter-mensuelle et interannuelle de la pluie avec une nette décroissance de pluviosité du Nord ($450\text{mm}^3/\text{an}$ en moyenne) au Sud ($320\text{ mm}^3/\text{an}$ en moyenne) montrent que la précipitation moyenne varie entre 200 et 1120 mm/an. La saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 104,86 mm/mois au mois de décembre (Merabet, 2010). Par ailleurs, notons que les régimes hydrologiques se calquent dans leurs grandes lignes sur celles des précipitations. On note une augmentation du débit annuel de l'amont vers l'aval. Cependant il faut souligner l'extrême irrégularité des régimes du cours d'eau qui vit au rythme des averses. D'un caractère torrentiel, parfois excessif en automne et en hiver, car les crues peuvent être violentes et dévastatrices, il est soumis, pendant la saison sèche, à une longue période de maigre. Les débits journaliers de la saison estivale peuvent être nuls mais peuvent fluctuer et augmenter rapidement suite à des orages (Sahli S, 2012).

III.1.3.2. La température

Actuellement, si le bassin de l'Oued Elkebir possède un réseau d'observation moyennement dense, en revanche, la carence en matière de mesures thermométriques se fait nettement sentir(Kerdoud, 2006).

III.1.3.3. Le Vent

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 l'Oued Elkebir sont ceux du Nord-est qui apportent les pluies et qui sont souvent secs et froids (Melghit, 2010).

III.1.3.4. Agriculture

Le bassin du l'Oued Elkebir 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 hm³. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture (Melghit, 2010).

III .2. Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous représentons la nature des prélèvements ainsi que les méthodes analytiques mises en œuvre.

Notre travail en générale consiste à étudier l'aptitude de contamination des sédiments par le cadmium et d'évaluer la qualité biologique de l'oued Endja en utilisant les indices biologiques (Tuffry et Vernaux et l'IBGN).

Au préalable a eu lieu une étape de choix et localisation des stations de prélèvement en fonction de l'objectif de notre travail. Une observation de l'ensemble du site, du bord du cours d'eau est réalisée pour définir le plan d'échantillonnage. Cette opération permet de caractériser le site et les différents supports (pierres, sable, végétation aquatique, etc.) qui le composent.

III.2.1. Choix et localisation des sites de prélèvement

Dans cette partie, nous présentons la localisation des stations de prélèvement des échantillons à l'aide de logiciel de Google Earth.

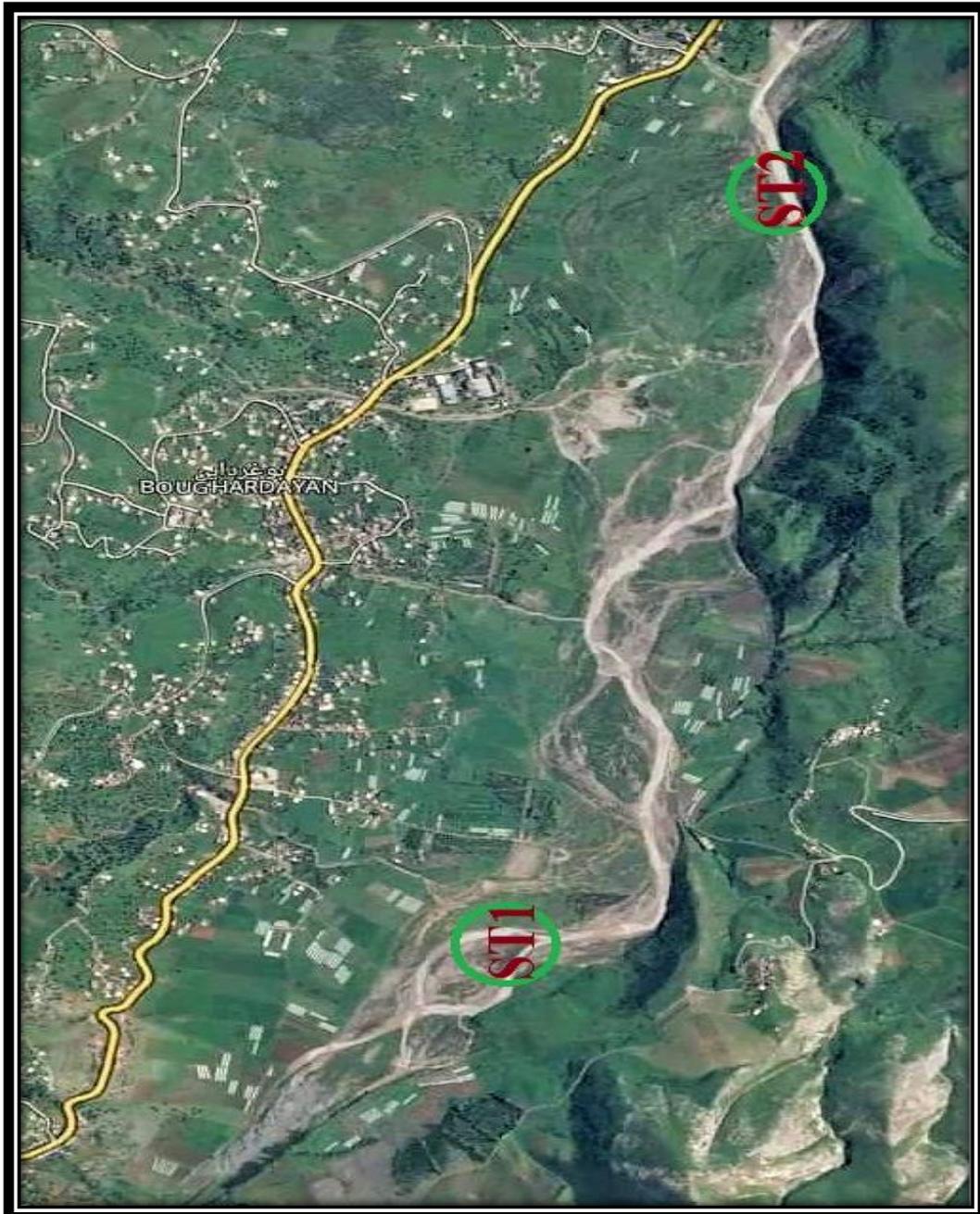


Figure14: Localisation des stations de prélèvement.

Une station (ST1): située en amont de l'oued Endja dans la commune de Tassala, mactet Elberja exactement bouchroure.



Figure 15: Vue générale de la station amont (ST1)

La deuxième station (ST2) : qui se localise en aval de l'oued Endja dans machtet Taghlissa exactement après le pont où la pollution causé par les agglomérations.



Figure 16: Vue générale de la station aval (ST2).

III.2.2. Calendrier de prélèvement

La série de prélèvements des sédiments a été réalisée en trois campagnes dans trois saisons successives selon le tableau suivant. A partir des travaux précédents qui ont révélé que le printemps et l'automne sont les saisons les plus favorables pour l'échantillonnage de la faune benthique, nous avons réalisés des prélèvements de macroinvertébrés sur deux campagnes (Septembre 2014 et Mai 2015).

Tableau 10 : Calendrier de prélèvement des échantillons.

| prélèvements Stations | C1 : Automne | | C2 : Hiver | | C3 : Printemps | |
|--------------------------|--------------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | Date | Heure | Date | Heure | Date | Heure |
| ST 2 | 16/09/2014 | 09 :45 | 19/11/2014 | 09 :15 | 3/05/2015 | 11 :30 |
| ST 1 | 16/09/2014 | 11 :00 | 19/11/2014 | 10 :30 | 3/05/2015 | 10 :00 |

III.2.4. Compartiment de l'eau

III.2.4.1. Mesures physico-chimiques de l'eau

Les valeurs de la température, du potentiel hydrique (pH), de la conductivité électrique (CE) et de l'oxygène dissous sont mesurées in situ après chaque prélèvement en utilisant des appareils portatifs.

a) La température :

L'opération de mesure de la température a été effectuée sur terrain, nous avons utilisés un pH mètre de type Hanna instrument (hi8314), qui indique la valeur de température et on lit directement les résultats exprimés en degré Celsius (C°).

b) Le potentiel hydrogène (pH) :

Pour cette détermination, nous utilisons un pH mètre de type Hanna instrument (hi8314), la méthode consiste à plonger l'électrode de l'appareil dans l'échantillon, et on lit directement la valeur du pH.

c) La conductivité électrique (CE):

La mesure de la conductivité s'est effectuée *in situ* avec un conductimètre de la marque Wtw d812wei lheim. La conductivité s'exprime en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$). Elle augmente avec la température et la concentration en sels dissous, sa valeur est théoriquement nulle pour l'eau distillée.

d) L'oxygène dissous :

Sa mesure a été réalisée *in situ*, à l'aide d'un Oxymètre de marque oxi 330WTW. La teneur en oxygène dissous s'exprime en mg /l. La concentration en oxygène dissous varie avec la température, la salinité du milieu et la pression atmosphérique.

III.2.5. Compartiment sédiment**III.2.5.1. Prélèvement des échantillons de sédiments**

Les prélèvements des sédiments ont été effectués selon la méthode par jugement linéaire (Melghit, 2010). Cette méthode consiste à prélever des échantillons de façon précise aux endroits ou aux zones jugées comme étant les plus pertinentes afin de mieux viser l'objectif de l'étude.

Nous prélevons nos échantillons, en raclant avec une cuillère en inox, les sédiments fins déposés en surface (profondeur ≤ 5 cm) sur les berges ou les rives où le courant est faible après le retrait des eaux, ce prélèvement doit se faire dans divers endroits aléatoirement. De telles zones favorisent la sédimentation des particules fines sur lesquelles se fixent les contaminants.

Afin d'assurer l'exactitude, les échantillons doivent être collectés dans des pots avec des étiquettes bien précises indiquant chaque échantillon.



Une balance



four a moufle



Agitateur



Calcimètre de Bernard

Figure 17 : Quelques matériels utilisés.

III.2.5.2. Préparation des échantillons

Dans le laboratoire, les sédiments prélevés sont transvasés dans des cristallisoirs, et séchés dans une étuve à 105°C pendant 48heures, 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, Conductivité, Calcaire total et la matière organique), où les sédiments sont tamisés à 2 mm
- Les échantillons destinés au dosage des métaux lourds sont tamisés à 63µm.

III.2.5.3. Paramètres physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques concerne la détermination du : potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique, le calcaire total et la matière organique.

a) 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 à l'aide d'un pH mètre modèle (WTW HI 8014). La lecture des valeurs se lit directement sur l'appareil. (Rodier et *al*, 2005)

b) Conductivité électrique:

Dans un bécher, 50 ml d'eau distillée sont ajoutés à 10 g de sédiments secs broyés et tamisés à 2 mm. Après agitation de l'échantillon préparé pendant 1 heure à l'aide d'un agitateur, on le laisse un temps de repos d'environ 30 minutes, ensuite on fait l'opération de centrifugation de vitesse de 2000 tours pendant 2 minutes.

La mesure de la conductivité électrique s'effectue à l'aide d'un conductimètre modèle (WTW HI 8014). Les lectures sont exprimées en (µs/cm).

c) Calcaire total (CT) :

La détermination du calcaire total se fait par la méthode duDuchauffour (1977), cette technique est basée sur le dosage des carbonates dont la quantité est proportionnelle au volume du CO₂ dégagé lors de leur réaction avec l'acide chlorhydrique selon la réaction suivante : $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightleftharpoons \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Les résultats de ce paramètre sont exprimés en (mg/l).

d) La matière organique :

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).

III.2.5.4. Analyses des métaux lourds**III.2.5.4.1. Technique d'extraction des métaux lourds**

Une combinaison de deux méthodes (Rodier, 1984, Grumiaux et al, 1995) a été adoptée. C'est une minéralisation par calcination à 450°C en présence de nitrate d'ammonium (Rodier, 1984) suivie d'une solubilisation des métaux par un mélange de deux acides oxydants, l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique (Grumiaux et al, 1995).

Dans un creuset, 2ml de solution de nitrate d'ammonium sont ajoutés à 1 gramme de sédiment. Le mélange est séché dans une étuve à 110°C. La calcination se fait dans un four à moufle en augmentant la température progressivement pour éviter les inflammations brutales de l'échantillon qui provoquerait des pertes : soit 150°C pendant 1 heure, 300°C pendant 1 heure et 450°C pendant 2 heures.

La solubilisation des métaux se fait en ajoutant 4ml d'HCl (pur, d=1,19) et 10ml HNO₃ (d=1,42) pendant 12 heures à froids dans le creuset couvert d'un verre de montre.

L'échantillon couvert (chauffage à reflux) est de nouveau chauffé pendant 2 heures à 150°C sur bain de sable à découvert, puis repris deux fois par 10ml d'HCl 1N. Le liquide obtenu est transféré par filtration (papier Whatman sans cendre) dans une fiole de 50ml et complété avec de l'eau bidistillée. Les dosages du cadmium sont effectués par spectrométrie d'absorption atomique à flamme.

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

Tableau 11: Les teneurs certifiées en cadmium dans les sédiments du lac Canadien

(Échantillon de référence LKSD 1)

| ETM | Teneur (µg/g) |
|-----|---------------|
| Cd | 1.2 |

III.2.5.4.2. Principe de la Spectrophotométrie d’Absorption Atomique

Le principe de la SAA est basé sur la proportion d’absorption d’un rayonnement lumineux par un élément en fonction de sa concentration dans la solution à analyser. Les atomes d’un élément donné sont capables d’absorber l’énergie apportée par les photons dont la fréquence est caractéristique de l’élément à doser (Loi de Kirchof). L’élément à doser dans l’échantillon est préalablement dissocié de ces composés chimiques et porté à l’état non excité et non ionisé dit « état fondamental ». Cette dissociation thermique est obtenue par combustion de l’échantillon dans une flamme ou dans un four en graphite.

Une fois dissocié, l’élément est alors capable d’absorber des radiations de longueurs d’ondes bien définies, qu’il est capable d’émettre. L’appareillage utilisé comprend une source de radiation, un système d’atomisation, une flamme composée d’un mélange air-acétylène ou d’un four en graphite, un monochromateur, un ensemble optique, un dispositif de réception électrique et de mesure et un détecteur.

III.2.5.4.3. Dosage du cadmium

Les dosages du cadmium est effectué par spectrophotométrie d’absorption atomique à four en graphite de type Perkin-Elmer A analyst100. Avant de doser ce métal dans les échantillons, il faut établir une courbe d’étalonnage. Pour cela des gammes d’étalonnage sont préparées, à partir d’une solution mère (à 1 g/l) de cadmium. Des solutions filles à 100 mg/l sont préparées en diluant 10 fois la solution mère. A partir de cette solution intermédiaire, on prépare la gamme d’étalonnage par des dilutions.

Tableau 12: Gamme d'étalonnage du cadmium.

| Elément | Etalons (ppb) | | | |
|--------------|---------------|---|---|---|
| Dosé | | | | |
| Cadmium (Cd) | 0 | 1 | 2 | 5 |

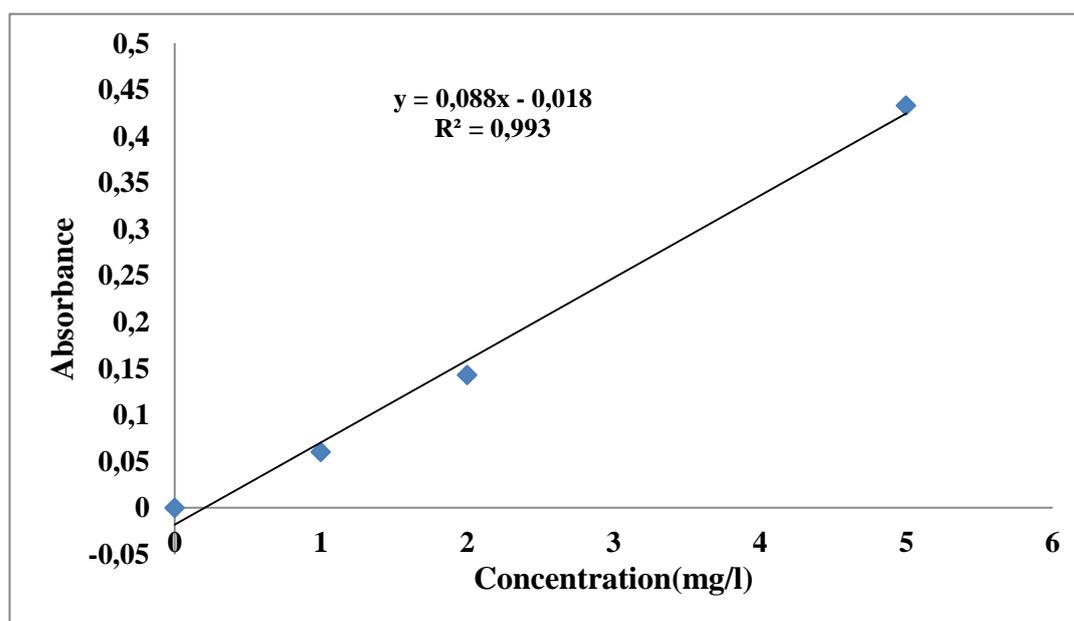


Figure 18 : Courbe d'étalonnage du cadmium.

III.2.5.4.4. Traitement des résultats du dosage

Dans un premier temps différents graphiques sont réalisés afin de mieux visualiser les mesures et les analyses effectuées et par conséquent les commenter aisément. Les teneurs en cadmium dans les sédiments sont comparées aux valeurs naturelles et aux concentrations de références déterminées à travers le monde. Dans un second temps, l'ensemble des résultats obtenus sont traités sur un plan statistique en mettant en œuvre une Analyse en Composantes Principales (ACP) grâce au logiciel XI STAT. L'ACP permet de déceler et d'établir les différentes relations entre les stations étudiées d'une part, et d'autre part entre les différents paramètres mesurés et analysés.

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

a) 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 :

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

b) Analyse en Composantes Principales(ACP) :

Nous avons effectués une analyse en composantes principales des paramètres physico-chimiques analysés (eau, sédiments et cadmium) entre les stations étudiées.

La phase essentielle de l'ACP consiste à transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elle en P nouvelle variable quantitatives non corrélées, appelées composante principale. Chaque composante principale est déterminée par un ensemble de valeurs propres déterminantes sur les différents axes vectoriels. 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).

III.2.6. Les paramètres biologiques

Dans cette étape nous avons réalisés des prélèvements de la faune macroinvertébrés qui vivent dans le fond d'oued Endja sur deux stations en amont et en aval.

III.2.6.1. Matériel de prélèvement

Il est souhaitable de rentrer dans l'oued avec des bottes. Les prélèvements s'effectuent à l'aide d'un échantillonneur de type « surber » équipé d'un filet d'ouverture de maille de 500µm. Mais dans notre cas où les zones sont difficiles d'accès nous avons utilisé l'échantillonneur avec un manche, donc de type « haveneau ».

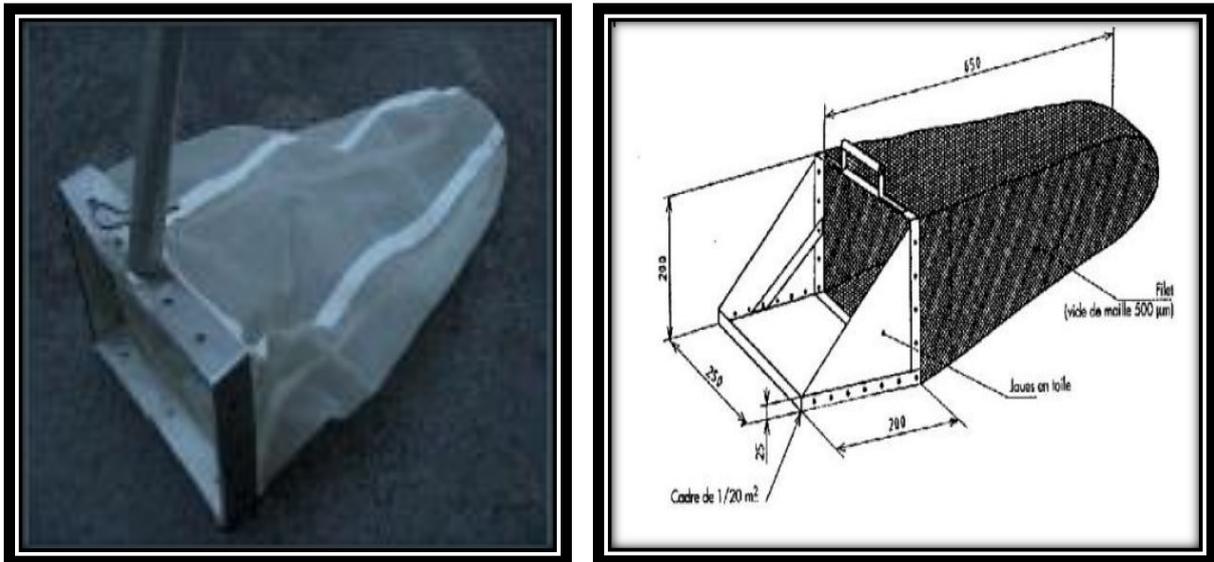


Figure19: Les deux types de filet Surber et Haveneau (Diren, 2007).

III.2.6.2. Mode de prélèvement

La récolte des macroinvertébrés benthiques a avant tout un caractère qualitatif. pour cela, tous les micro- habitats susceptibles d'être abriter (micro-biotopes) sont explorés.

La technique de prélèvement consiste à déposer le filet à main sur le fond de la rivière, l'ouverture du filet face au courant. L'opérateur, placer en amont du filet met le

sédiment en suspension par le mouvement des pieds. Il fouille le substrat du fond et des berges délogeant les organismes qui entraînés par le courant, sont alors récoltés dans le filet.

L'opération est effectuée sur une section de rivière de 10 à 20m. Tous les habitats caractéristiques sont échantillonnés. Le but de l'échantillonnage consiste à rassembler la plus grande diversité faunistique représentative du milieu à étudier. Comme l'échantillonnage au filet n'est pas toujours applicable à tous les habitats, il faut parfois l'effectuer à la main. L'opérateur doit être de préférence le même pour une série d'échantillonnage.

III.2.6.3. Traitement du prélèvement

La boue et le sable sont éliminés par sédimentation après plusieurs rinçages consécutifs. Les organismes vivants flottent en surface peuvent être recueillis dans le filet et après dans les récipients en plastiques. Les gros débris sont séparés par tamisage sur tamis des grandeurs de mailles 0.5 à 2 mm. Les organismes récupérés sur chaque tamis sont transféré dans un récipient, et on les fixés sur place avec une solution de formaldéhyde jusqu'à concentration finale de 35%.

L'opération de tri des organismes s'effectue proprement 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 sont classés suivant les groupes taxonomiques.

III.2.6.4. L'identification des organismes

L'identification des macro-invertébrés a été réalisée à l'aide d'une binoculaire électronique et un microscope avec des guides d'identification (guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec 2010) et (atlas des macroinvertébrés des eaux douces de l'île de la réunion 2011).

Il est parfois souhaitable d'examiner par le microscope certaines structures morphologiques telles que branchies, yeux, mandibules, soies.

Le premier but de cette détermination est le dénombrement des unités systématiques présentes dans l'échantillon. Les organismes récoltés sont déterminés jusqu'au niveau précisé ou bien des taxons (genres et familles) par le tableau ci-dessous.

Tableau13: limites de détermination des unités systématiques (Tuffery et Verneaux, 1978).

| Groupe Taxonomique | Niveau de détermination |
|---------------------------|--------------------------------|
| <i>Plecoptères</i> | Genre |
| <i>Trichoptères</i> | Famille |
| <i>Ephéméroptères</i> | Genre |
| <i>Odonates</i> | Genre |
| <i>Coléoptères</i> | Famille |
| <i>Mollusques</i> | Genre |
| <i>Crustacés</i> | Famille |
| <i>Mégalopodes</i> | Genre |
| <i>Hémiptères</i> | Genre |
| <i>Hirudinées</i> | Genre |
| <i>Oligochètes</i> | Famille |
| <i>Hydocariens</i> | Présence |
| <i>Diptères</i> | Famille |

III.2.6.5. Détermination de l'indice biotique

La détermination de l'indice biotique se base sur les deux méthodes Tuffery et Verneaux en (1982) et l'IBGN (1992).

- 1) La détermination de l'indice selon le tableau standard de Tuffery et Verneaux (1982).

Tableau14 :détermination des pollutions en fonction des indices biotiques

| Groupes faunistiques | Nombre d'unités systématiques du groupe | Nombre d'unités systématiques dans le prélèvement | | | | |
|---|---|---|-------|--------|---------|-----|
| | | 1 | 2 à 5 | 6 à 10 | 11 à 15 | >15 |
| | | Indices biotiques | | | | |
| 1.  Plécoptères, Ephéméroptères (Ecdyonuridés) | >1 | - | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 1 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 2. Trichoptères à fourreaux  | >1 | - | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | 1 | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 3. Ancyliidés (Mollusques), Ephéméroptères (sauf Ecdyonuridés)  | >2 | - | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | < ou =2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 4. Aphelocheirus (Hémiptère), Odonates, Gammaridés, Physes (Mollusques)    | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 5. Aselles (Crustacés), Sphaeridés (Mollusques), Hémiptères (sauf Aphelocheirus)  | | 2 | 3 | 4 | 5 | - |
| 6. Tubifex (Annélides), Chironomes (Annélides)   | | 1 | 2 | 3 | - | - |
| 7. Eristales (Diptères)  | | 0 | 1 | 1 | - | - |

2). La détermination de l'indice selon l'IBGN :

Tableau 15 : le tableau utilisé pour le calcul de l'IBGN(Rodier, 2009).

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

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



CHAPITRE IV:

RESULTATS ET DISCUSSION

IV. Résultat et discussion

IV.1. Paramètres physico-chimiques des eaux

Les résultats des analyses physico-chimiques de trois campagnes réalisées pendant trois saisons successives à partir d’automne sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau 16: Résultats des paramètres physico-chimiques de l’eau.

| Sites Paramètres | Oued Endja | | | | | | Moyenne ± Ecart type |
|---------------------------------|------------|------|--------|------|------|------|----------------------------|
| | C 1 | | C 2 | | C 3 | | |
| | ST 1 | ST 2 | ST 1 | ST 2 | ST 1 | ST 2 | |
| Température(°C) | 28 ,2 | 27,2 | 16,3 | 12,9 | 14,7 | 17,2 | 19,41 ± 6,58 |
| pH | 8,62 | 8,25 | 8,49 | 8,44 | 8,30 | 8,37 | 8,62 ± 0,13 |
| Conductivité électrique (µs/cm) | 2233 | 1939 | 2420 | 2340 | 4009 | 2086 | 2504,5±757,14 |
| O ₂ dissous(mg/l) | 10,13 | 9,66 | 10 ,54 | 9,40 | 9,42 | 9,62 | 9,79 ±0,45 |

IV.1.1. La température

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. L’élévation de la température s’accompagne toujours d’une modification des propriétés de l’eau, la densité et la viscosité (Rodier et *al*, 2005).

La figure 19 représente la température de l'eau au niveau des deux stations au cours des trois campagnes de prélèvements.

Pour la première campagne; La température de l'eau est relativement chaude et varie entre 28,2°C pour la station amont et 27,2°C pour la station aval, autre fois elle diminue pour la saison froide puisque on a noté 16,3°C en amont et 12,9°C en aval. Alors qu'on constate toujours des valeurs très basses pour la troisième campagne (printemps) en indiquant la valeur de 14,7°C en amont et 17,2°C pour la station aval.

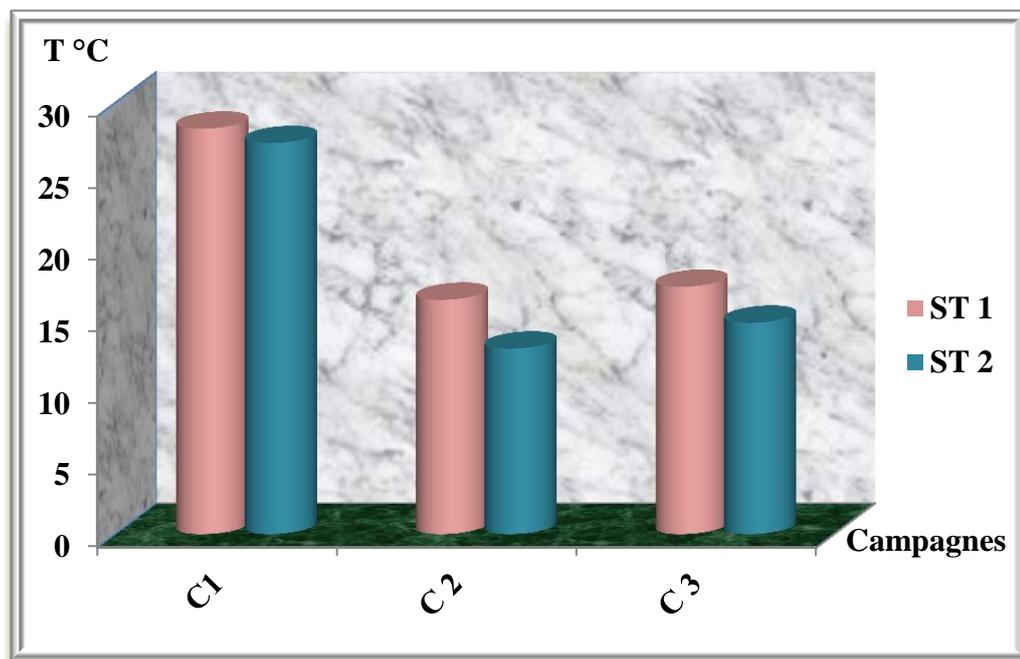


Figure 20 : Variations spatio-temporelles de la température des eaux de l'Oued Endja

Les variations de la température de l'eau sont très importantes d'une station à une autre et d'un prélèvement à un autre. La température de l'eau dépend essentiellement de celle du milieu ambiant (Ramade, 1993). Elle conditionne les possibilités de développement et la durée du cycle biologique des espèces aquatiques (Angelier, 2003).

Les deux stations de l'Oued Endja (amont et aval) présentent des variations thermiques pendant les différents saisons de prélèvement ou on remarque une température relativement élevée en automne pendant la première campagne, basses en hiver ; ce qui est enregistré en deuxième campagne et troisième campagne (pendant la moitié du printemps).

Nous constatons un refroidissement dans le temps d'origine saisonnière. Un tel résultat n'est pas surprenant ; le radoucissement de la température de l'hiver à l'été est une caractéristique des régions à climat méditerranéen.

Selon le test de BONFERRONI il existe une différence non significative entre les stations amont et aval avec un p(coefficient de variance) égale à 0.921, qui indique un groupe (amont, aval) homogène A.

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau de Masson (1988), la température des eaux d'oued Endja est de qualité médiocre pendant l'automne alors qu'elle indique une qualité normale pendant l'hiver et le printemps.

Tableau17: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Masson, 1988).

| Température | Qualité |
|---------------|----------|
| ≤ 20 C° | Normale |
| 20 C° - 22 C° | Bonne |
| 22 C° – 25 C° | Moyenne |
| 25 C° – 30 C° | Médiocre |

Selon tableau 18, les températures enregistrées des eaux d'oued Endja sont aux alentours de 20 °C, donc considérées comme "très bonne" en termes de qualité pour la biologie aquatique.

Tableau 18: Aptitude à la biologie en fonction de la température (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|---------|------------|-------|----------|----------|---------------|
| T(°C) | 20 | 21,5 | 25 | 25 | >25 |

Ces résultats concordent avec ceux de Sahli (2012), Melghit (2013) et Bouhannèche et Hammada (2014). Ces auteurs ont enregistré des températures semblables dans des études réalisées sur l'oued Endja.

IV.1.2. Le pH

Le pH des eaux de l'Oued Endja est légèrement alcalin. Il oscille entre 8,25 et 8,62 (fig. 20). La valeur la plus élevée est relevée aux mois de septembre à la station amont (8,62) alors que la plus faible est enregistrée au même mois à la station aval (8,25). Le pH de ce cours d'eau présente une moyenne de 8,41 pour l'ensemble des deux stations durant les trois campagnes de prélèvement.

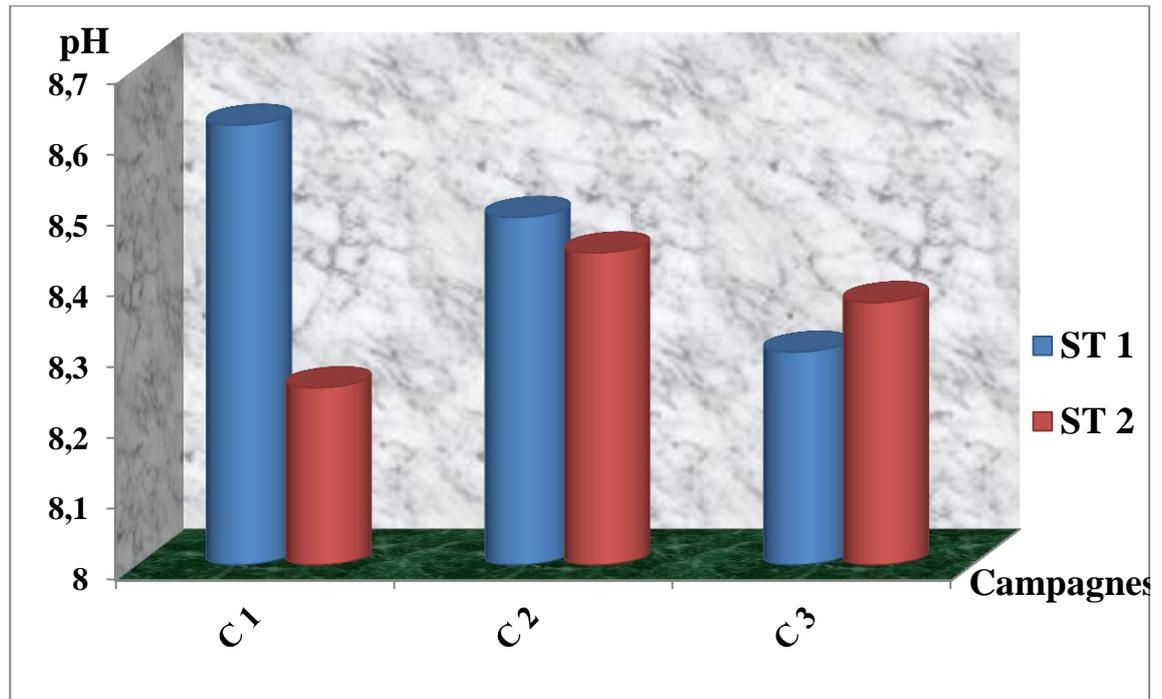


Figure 21: Variations spatio-temporelles du pH des eaux de l'Oued Endja.

Le pH est un paramètre qui mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité des écosystèmes aquatiques. Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique (Sahli, 2002). En effet, les organismes vivants sont très sensibles aux variations brutales même limitées du pH.

Selon Rodier et *al.* (2005), le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans des phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température. La zone de pH favorable se situe entre 6 et 7,2. Toutefois, cette valeur ne doit pas être séparée de celle des autres paramètres (température, oxygène dissous, salinité, etc.). et on obtiendra de bons résultats si l'écart varie entre 6,5 et 8,5.

Dans notre cas le pH des eaux de l'oued Endja présente des variations d'une campagne à l'autre où on remarque une régression des valeurs du pH de l'automne jusqu'au printemps. Les fluctuations du pH dans l'espace sont peu remarquables. Le pH reste assez stable et varie peu entre l'amont et l'aval.

Le test de BONFERRONI confirme qu'il y a une différence non significative entre les stations amont et aval avec un p (coefficient de variance) égale à 0.342, qui indique un groupe (amont, aval) homogène A.

Ces valeurs du pH traduisent une alcalinité relativement variable pour les deux stations amont et aval pendant les trois saisons de prélèvement. Donc on remarque que les eaux de l'oued Endja sont de mauvaise qualité en amont pour la première campagne et de bonne qualité pour les autres campagnes. Nos résultats viennent confirmer ceux du travail précédent sur les eaux de l'Oued Endja par Bouhannèche et Hammada (2014).

Le pH joue également un grand rôle dans l'absorption et l'accumulation des ETM chez les organismes vivants, qui s'accroît en milieu acide. Comparativement aux données de la grille du Système d'Évaluation de la Qualité des cours d'eau (SEQ-Eau), (tableau 19), les valeurs du pH de l'eau d'oued Endja sont à la moyenne de 8,6 qui indique une qualité biologique bonne pour l'existence de la vie aquatique.

Tableau 19: Aptitude à la biologie en fonction du pH (SEQ-Eau, 1999).

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

IV.1.3. La conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées le long de cet oued est de 2233 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la station amont, puis elle diminue relativement pour la station aval où on enregistre une valeur de 1939 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pendant la première campagne. Ainsi on note une valeur de 2420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont et 2340 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval pendant la deuxième campagne et enfin 4009 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont et 2086 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval pour la troisième campagne.

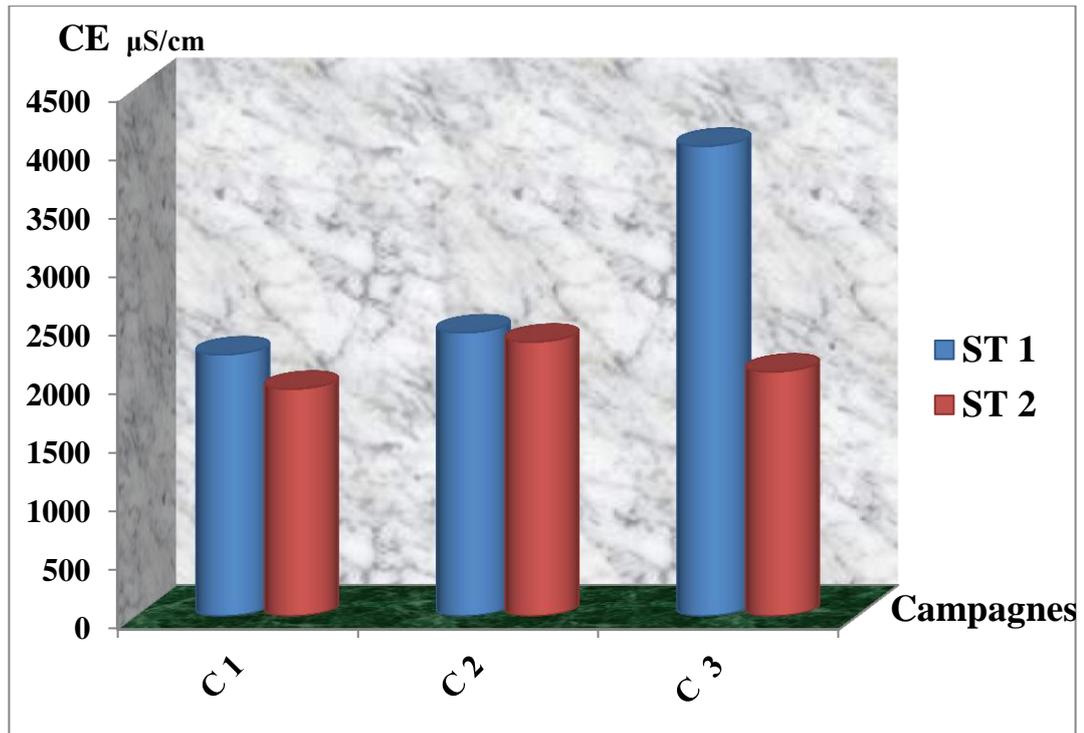


Figure 22: Les valeurs spatio-temporelles de la conductivité électrique de l'Oued Endja.

Plusieurs auteurs (Bremond et Vuichard, 1973 in Djeddi, 2007. Rodier, 1984. Bouhannache et Hammada ,2014), ont défini La conductivité électrique d'une eau comme étant la conductance d'une colonne d'eau Comprise entre deux électrodes métalliques, elle s'exprime en $\mu\text{S}/\text{cm}$. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

Dans notre étude les résultats de mesure de la conductivité régresser de l'amont vers l'aval pour les trois campagnes. Et on remarque une progression faible de deuxième campagne par apport au premier, pour la troisième campagne on enregistrer la valeur la plus élevée en amont.

D'après le test de Newnan –keuls il ya une différence non significative entre les deux stations amont et aval avec un coefficient de variance égale à 0.254, qui indique un groupe (amont, aval) homogène A.

Selon le tableau (20) de relation entre la minéralisation et la conductivité électrique, on conclut que les eaux de l'oued Endja présentent une minéralisation élevée.

Tableau 20: Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Merabet , 2010).

| Conductivité électrique | Taux de minéralisation |
|-------------------------|----------------------------------|
| CE < 100 µs /cm | minéralisation très faible |
| 100 < C.E < 200 µs /cm | minéralisation faible |
| 200 < C.E < 333 µs / cm | minéralisation moyenne |
| 333 < C.E < 666 µs / cm | Minéralisation moyenne accentuée |
| 666 < C.E < 1000 µs/ cm | Minéralisation importante |
| C.E > 1000 µs/cm | Minéralisation élevée |

Bien que la CE des eaux du bassin versant Endja soit supérieure à la norme internationale qui est (1 mS/cm) définissant une eau de bonne qualité à usage agricole, les eaux continuent à être utilisées à des fins domestiques notamment l’irrigation des rivages. Et selon le tableau (21) elles sont considérées comme de très bonne qualité pour la vie aquatique.

Tableau 21: Aptitude à la biologie en fonction de CE (SEQ-Eau, 1999).

| Qualité | Très bonne | Bonne | Passable | Mauvaise | Très mauvaise |
|------------|------------|-------|----------|----------|---------------|
| CE (µS/cm) | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | > 4000 |

Comparativement aux résultats des travaux précédents Melghit (2013),Bouhanneche et Hammada (2014),nos résultats viennent les confirmer. Et sont assez semblables à ceux du travail de Sahli (2012) qui concerne les eaux d’oued Rhumel.

IV.1.4. L’oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous sont peu variables dans l’espace et dans le temps pour l’ensemble des trois campagnes, Les valeurs de O₂ dissous varient entre 10,13 mg/l en amont et 9,66 mg/l en aval pour la première campagne et entre 10,54 mg/l en amont et 9,40 enaval mg/l dans la deuxième campagne, ainsi en dernier échantillonnage nous avons enregistré en amont 9,42 et en aval 9,62.

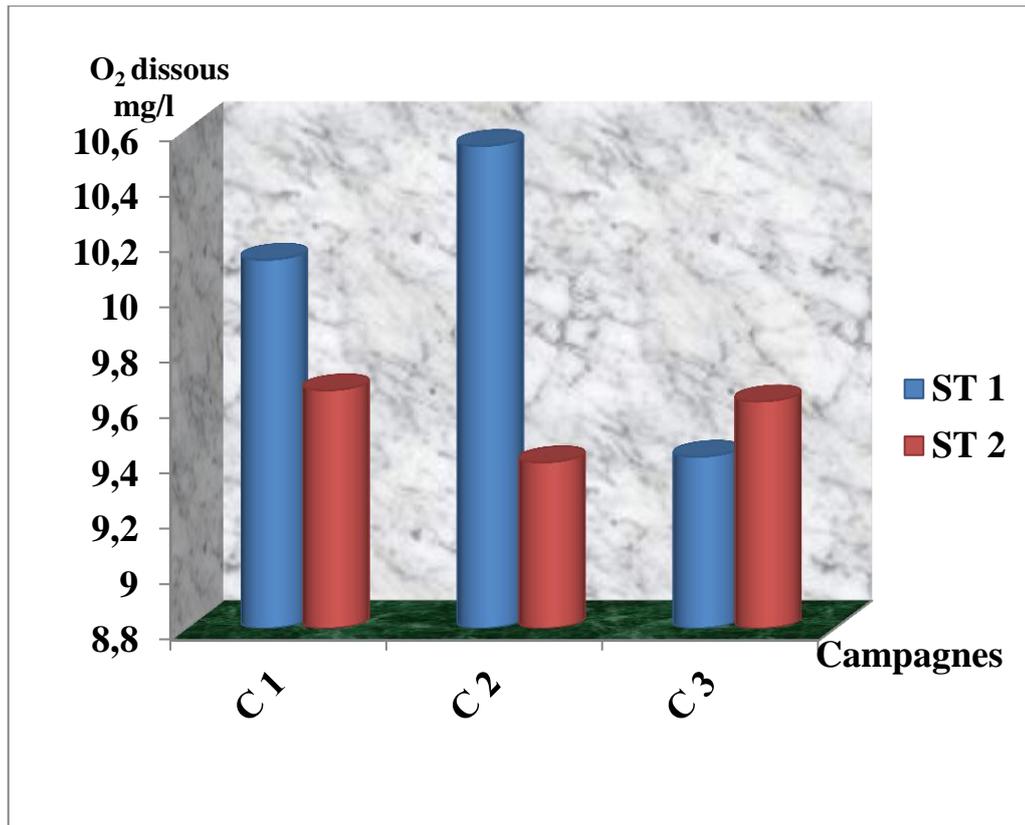


Figure 23 : Les valeurs spatio-temporelles de l'oxygène dissous des eaux de l'Oued Endja.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est un paramètre qui dépend essentiellement de la température. La Concentrations en oxygène dissous, constitue avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique (Villers, 2005 in Merabet, 2010).

Les concentrations en oxygène diminuent brusquement car il est utilisé par les organismes aérobies (micro- et macrofaune) pour respirer et pour dégrader la MO venant de la colonne d'eau ou déjà présente dans le sédiment. Il est aussi un oxydant privilégié pour les éléments réduits plus en profondeur lors de la respiration anaérobie (Lagauzère, 2008).

Une valeur d'oxygène inférieure à 1 mg d'O₂ par litre d'eau, 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. (Villers, 2005 in Merabet, 2010). L'oxygène représente environ 35 % des gaz dissous dans l'eau, sa forme dissoute est d'une importance primordiale dans les eaux de surface puisqu'elle conditionne les processus d'auto-épuration et de préservation de la vie aquatique (Gaujous, 1995).

Les concentrations moyennes en oxygène dissous enregistrées au niveau des eaux de l'oued Endja sont de l'ordre de 10,13 mg/l et 9,66mg/l en (ST1) et en (ST2) respectivement en première campagne et comme même pour les deux autres campagnes. Ces teneurs sont augmentées en hiver et en printemps dans les deux sites de l'oued, ce qui pourrait être liée à l'augmentation du débit de l'oued au cours de cette période et au brassage de ces eaux.

Selon le test Newman-Keuls, l'oxygène dissous de l'eau indique une variation non significatif entre l'amont et l'aval avec un $P=0,236$ et représente un groupe homogène A (amont, aval). Nos résultats sont voisins à ceux obtenues par Melghit (2013), et présentent une forte oxygénation des eaux de l'oued ce qui confirme la bonne qualité pour les deux stations de prélèvement.

IV.2. Les paramètres physicochimiques des sédiments

Les résultats marqués dans le tableau suivant sont encaissés à partir des analyses spécifiques

Tableau 22: Les variations des paramètres physico-chimiques des sédiments.

| Sites Paramètres | Oued Endja | | | | | | Moyenne |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | C 1 | | C 2 | | C3 | | ± |
| | ST 1 | ST 2 | ST 1 | ST 2 | ST 1 | ST 2 | Ecart type |
| pH | 9,54 | 9,14 | 7,80 | 7,71 | 8,21 | 8,07 | 8,41±0,75 |
| Conductivité électrique (μS/cm) | 437 | 728 | 772 | 817 | 237 | 527 | 586,33±226,09 |
| Calcaire total(%) | 0,94 | 0,64 | 0,76 | 0,70 | 0,71 | 0,73 | 74,66±10,27 |
| Matière organique (mg) | 28,7 | 27 | 57,6 | 54,7 | 34,1 | 38,4 | 40,08±13,11 |
| Cadmium (ppm) | 0,074 | 0,134 | 0,175 | 0,189 | 0,164 | 0,193 | 0,15±0,04 |

IV.2.1. .Le potentielle hydrique des sédiments (pH)

Les valeurs du pH sont relativement élevés dans les deux stations au cours des trois campagnes réalisés, elles diminuent de l'amont à chaque fois successivement (9,54 ; 7,80 ;8,21) vers l'aval (9,14 ;7,71 ;8,07) pour les trois campagnes

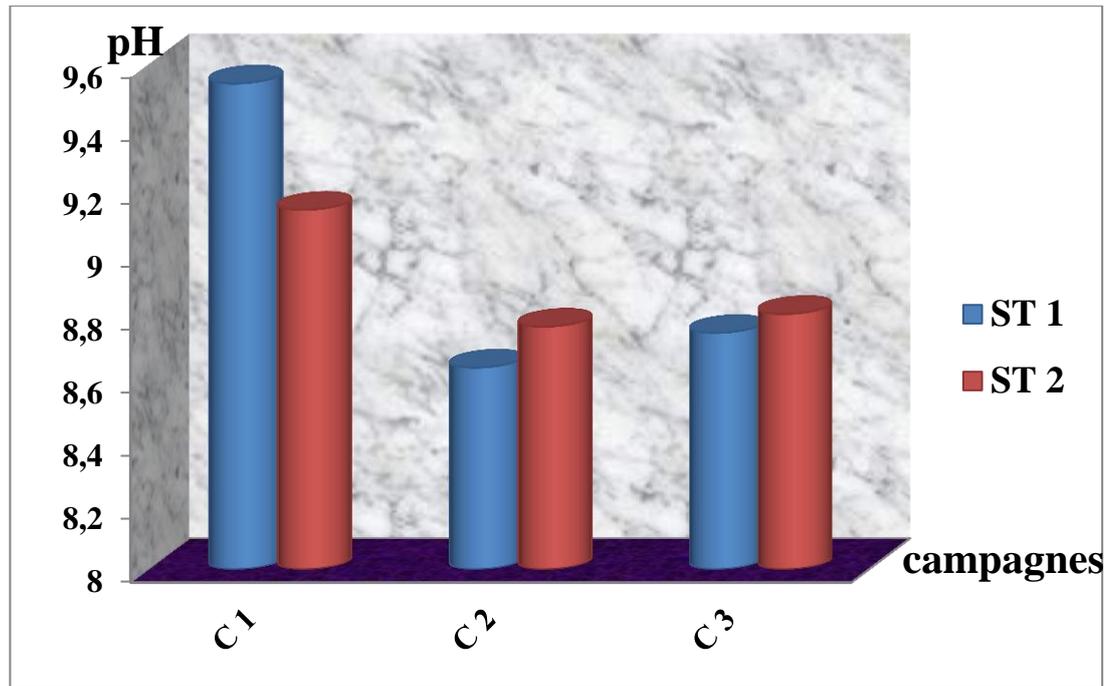


Figure 24 : Variations des valeurs du pH de sédiments d'oued Endja.

Bourg et Lock (1995) confirment que le changement du pH des sédiments dépendra de l'un des trois facteurs principaux suivants :

- la vulnérabilité du sédiment ou la faculté à résister à des variations du pH ;
- les apports de polluants, de donneurs, accepteurs de protons et d'électrons ;
- les pratiques environnementales pouvant induire des changements de solubilité des espèces chimiques stockées.

Ainsi, l'élévation du pH favorise l'absorption métallique sur la fraction réductible des sédiments (oxydes de fer et de manganèse) après échange des cations métalliques avec les ions H^+ sur certains sites de surface.

La formation de sulfure, la biodégradation de la matière organique ; toutes deux fonctions de l'acidité du milieu permettent d'interpréter la spéciation des ETM dans les Sédiments et leur biodisponibilité (Serpaud et al, 1994). Le pH des sédiments a une influence considérable sur la biodisponibilité des ETM et par conséquent sur leur écotoxicité.

En effet, la toxicité de certains ETM décroît avec l'augmentation du pH, simultanément à d'autres paramètres tel que la matière organique (Lock et al, 2000).

Le pH des sédiments de l'oued Endja présente des variations considérables entre les trois campagnes où on remarque les valeurs les plus élevées pendant la première campagne (en automne), tandis que la deuxième et la dernière campagne possèdent des valeurs voisines. Donc on conclue que les sédiments de l'oued Endja sont alcalins, Ces valeurs élevées traduisent les rejets urbains ainsi que brassage et décantation résultant des évènements pluvieux.

Selon le test Newman-Keuls, le potentielle hydrique de l'eau indique une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un $P= 0,772$ et représente un groupe homogène A (amont, aval).

IV.2.2. La conductivité des sédiments

La conductivité des sédiments a des valeurs variés aux cours des trois campagnes, pour la première campagne on enregistre 437 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont et 728 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval, pour la deuxième campagne ; 772 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont et 817 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'aval, concernant la dernière campagne nous enregistrons 237 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en amont et 527 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'aval.

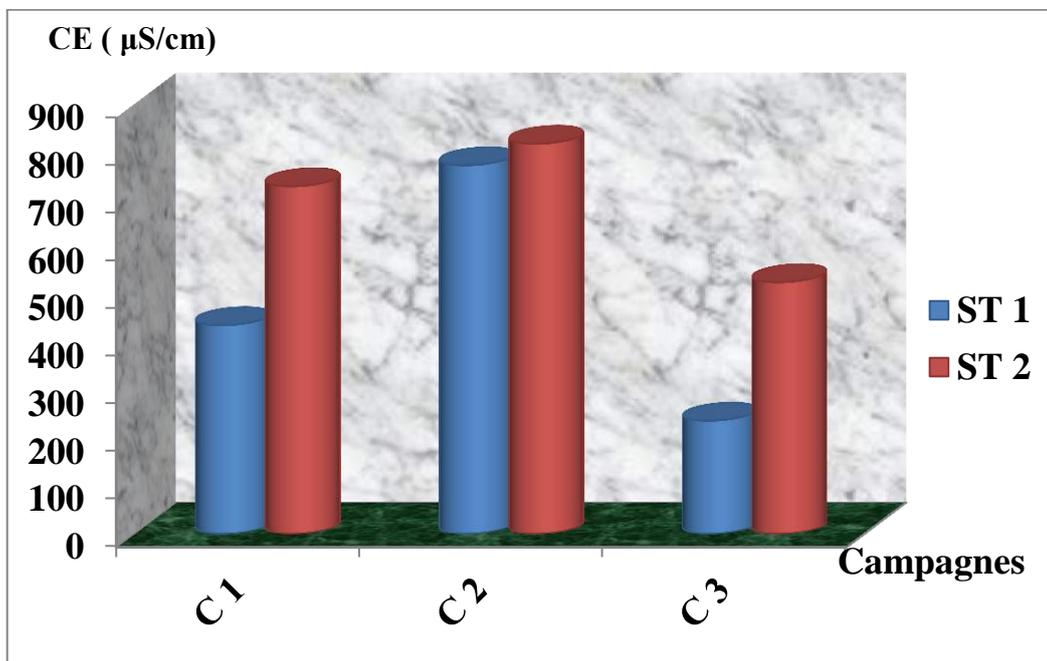


Figure 25 : Variation des valeurs de la conductivité des sédiments de l'oued Endja.

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale des eaux des rivières, et des sédiments des bords des oueds. Cette mesure est liée à la qualité des sels ionisables dissous (Melghit, 2010).

La CE électrique des sédiments de l'oued Endja présente des variations irrégulières où on remarque les valeurs les plus élevées pendant la deuxième campagne. Ces valeurs traduisent les rejets urbains ainsi que la salinité des sols drainés par les eaux de l'oued, les valeurs de la dernière campagne sont les plus faibles. Aux cours de l'évaluation de ce paramètre on observe une régression de la conductivité de l'amont par rapport à l'aval où on enregistre la plus faible valeur en amont pour la troisième campagne.

Si on établit des comparaisons avec les études précédentes on remarque une ressemblance avec celle de Melghit, (2010) et celle de Sahli (2012) en ce qui concerne Oued Rhumel.

IV.2.3. Le calcaire total

Le calcaire total présente des variations différentes peu proches d'une station à une autre. Ces variations sont importantes, s'observant d'une station à une autre et d'un prélèvement à un autre. La valeur la plus élevée (0,94%) a été enregistrée à la station amont au mois de septembre et la plus faible (0,64%) en aval de même prélèvement. Le reste des valeurs oscillent entre 0,70% et 0,76%.

Les carbonates jouent un rôle important dans les sédiments des écosystèmes aquatiques. Une teneur élevée en carbonates rend le milieu alcalin favorable à la fixation des cations. La surface des carbonates favorise les phénomènes de rétention des ions métalliques tels que la précipitation (smithsonite ($ZnCO_3$), cérusite ($PbCO_3$)), la coprécipitation, l'absorption et l'adsorption et par substitutions isomorphes dans le réseau cristallin comme par exemple Cd/Ca (Alloway, 1995 in Sahli, 2012).

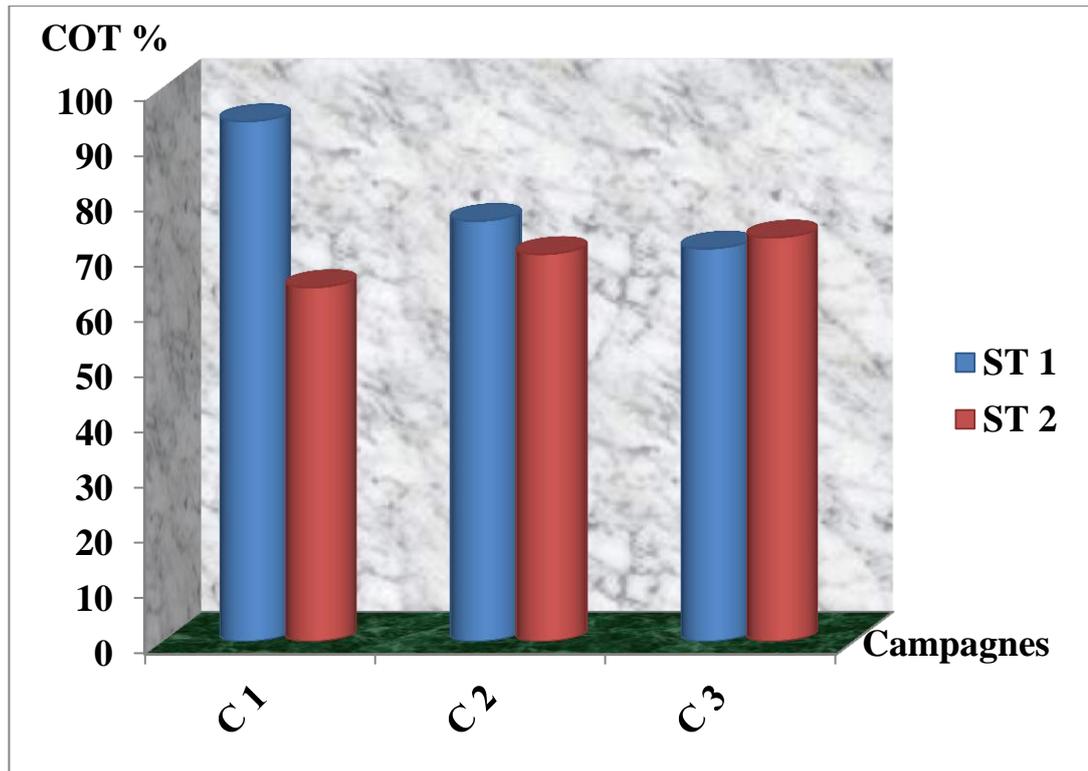


Figure 26 : Variations spatio-temporelles des valeurs du calcaire total des sédiments de l'Oued Endja.

Les carbonates de calcium CaCO_3 (calcaire total) dans les sédiments permettent d'impliquer un bon effet de dilution et donc une diminution de la toxicité des ETM en particulier en hiver. La présence et la distribution des carbonates dans les sols et les sédiments dépendent étroitement de la roche mère et du climat. Sous un climat aride, les CaCO_3 restent dans le sol et s'accumulent près de la surface. Si d'autres facteurs sont constants une augmentation des précipitations entraîne une augmentation du déplacement des carbonates par ruissèlement vers les cours d'eau (Melghit, 2010).

Dans notre étude sur les eaux de l'oued Endja le calcaire total présente des taux relativement élevés mais avec des pourcentages variables.

Pendant l'hiver l'amont présente le taux le plus élevé que l'aval. En printemps on constate le taux le plus élevé en aval.

D'après la grille de la qualité de sédiment en fonction de taux de calcaire totale on conclut que la qualité des sédiments de l'oued est très mauvaise.

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

| Indice | Très bonne | Bonne | Moyenne | Médiocre | Mauvaise |
|---------------------|------------|-----------|---------|-----------|----------|
| COT En %de prod sec | <0,6 | 0,6 à 2,3 | 2,4 à 4 | 4,1 à 5,8 | >5,8 |

D'après le test BONFERRONI, le calcaire totale des sédiments montre que il y a une variation non significatif entre l'amont et l'aval avec un $P= 0.204$ et un groupe homogène A (amont, aval)

IV.2.4.La matière organique

L'étude de la matière organique des sédiments d'oued Endja présente les valeurs suivant respectivement de l'amont vers l'aval pour la première campagne 28.7 et 27mg.

La deuxième campagne enregistre des valeurs de 57.6mg en amont et 54.7mg pour l'aval, concernant la troisième campagne on note 34.1mg pour l'amont et 38.4 mg pour l'aval.

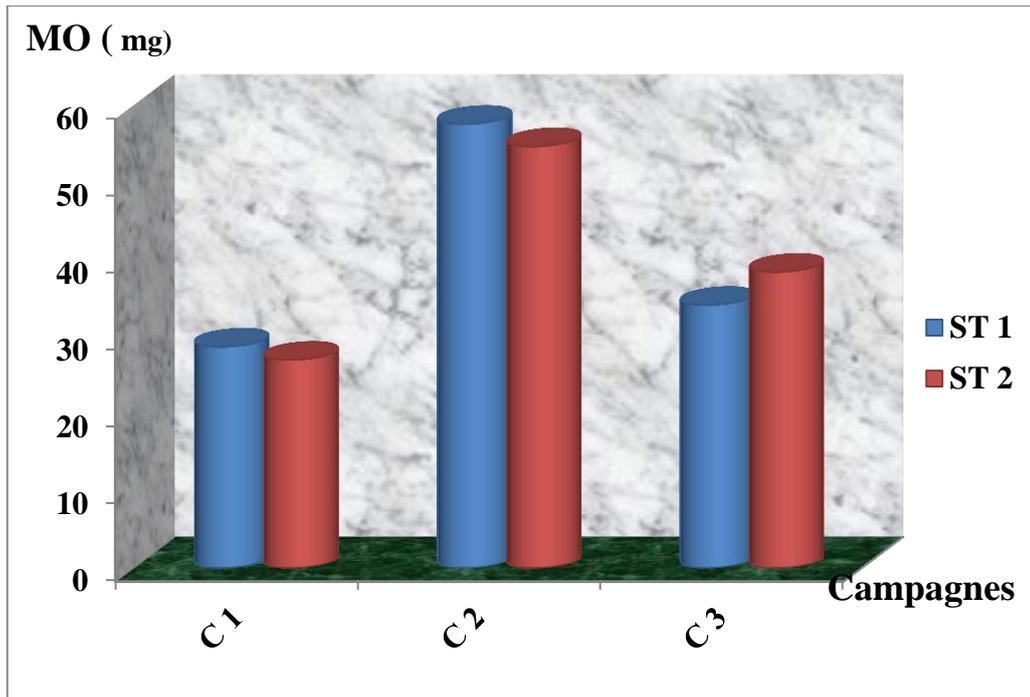


Figure 27 : Variations dans l'espace et le temps de la matière organique des sédiments de l'Oued Endja

Les sédiments peuvent être composés d'argiles, d'hydroxyde de fer ou de quartz, de carbonates, de grès...etc, ainsi que de matières organiques plus ou moins dégradées d'origine animale ou végétale (Rodier, 1984).

Puisque la matière organique est issue de la décomposition des matières végétales ou animales, ces teneurs peuvent être expliquées par les conditions de cette décomposition qui changent d'une station à l'autre.

Les teneurs en matières organiques des sédiments montrent que ces derniers sont fortement chargés en éléments organique c'est le cas de notre résultat où on observe les valeurs les plus élevés pendant la deuxième campagne et les valeurs les plus bas pendant la première et la dernière campagne .L'amont présente des valeurs élevées par rapport à l'aval pour les deux premières campagnes. Alors que pour la troisième campagne la teneur en matière organique des sédiments de l'aval est plus élevée que l'amont.

Cette augmentation de la concentration de la matière organique se traduit par l'activité agricole de la région.

Selon le test Newman-Keuls, La matière organique des sédiments de l'oued présente une variation non significative entre l'amont et l'aval avec un $P= 0,994$ avec et un groupe homogène A (amont, aval).

La matière organique est un agent complexant des charges métalliques, En effet, dans un milieu riche en matière organique, les ETM se complexent à cette dernière et deviennent par conséquent non disponibles pour les organismes vivants. Notons aussi que le sédiment est un milieu complexe au sein du quel existent des équilibres et des gradients de contaminants et de matière organique et inorganique d'origine naturelle et/ou anthropique entre le compartiment aqueux (eau interstitielle/eau surnageant) et le compartiment particulaire (matière en suspension et sédiments) (Sahli, 2012).

IV.2.5. L'élément trace métallique (Cadmium)

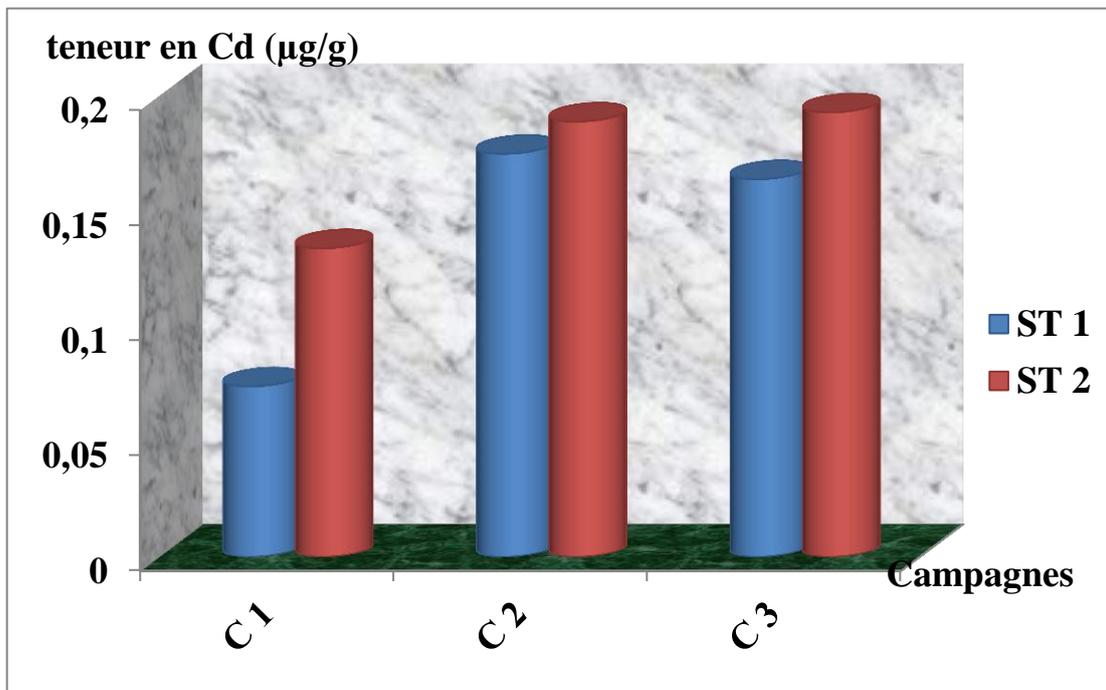


Figure 28 : Teneurs en Cadmium dans les sédiments de l'oued Endja

Le cadmium est un élément non indispensable aux écosystèmes. C'est un élément toxique cumulatif qui agit à de très faibles concentrations (Djeddi, laouar H. 2011). Des fluctuations des concentrations en cadmium apparaissent d'une station à l'autre et d'une campagne à l'autre. Nous avons enregistré une augmentation de la concentration de cet élément au cours des saisons de prélèvement où on remarque les valeurs les plus bas au niveau de la première campagne et les plus élevées au niveau de la troisième campagne .

Les principaux secteurs d'utilisation du Cd sont les pigments, la galvanoplastie, les stabilisants, les activités métallurgiques. La combustion de produits pétroliers, de charbon et l'incinération des ordures ménagères sont à l'origine de la contamination de l'atmosphère puis des sols et des eaux continentales. Il est possible de distinguer des contaminations diffuses et d'autres ponctuelles. Les transferts jusqu'aux eaux de surface s'effectuent par le ruissellement sur les sols agricoles qui occupent les berges de l'oued Endja et sont révélés déjà aux niveaux des deux stations amont et aval. Il faut y ajouter les sources industrielles, le Cd étant principalement associé au Zn.

La teneur du Cd dans les minerais de Zn est évaluée de 0,01 à 0,05% (Thompson et al, 1997); il est donc un sous-produit de la métallurgie de ce dernier mais il est aussi associé au Pb et au Cu. Le lessivage des sols cultivés se traduit par un enrichissement des sédiments de l'oued Endja dont ses bordures sont occupées par des terres agricoles, en métaux durant les saisons pluvieuses après l'application des pesticides. Ceci explique les teneurs élevées en Cd en hiver et au printemps.

Les concentrations en cadmium régressent de l'amont vers l'aval dans la zone d'étude. D'après le test BONFERRONI, le cadmium des sédiments montre qu'il y a une variation non significatif entre l'amont et l'aval avec un P= 0.409 et un groupe homogène A (amont, aval).

D'après les normes de la concentration des éléments traces métallique proposé par Hammi (2010) Nous avons conclu que les sédiments de l'oued sont très contaminés par le cadmium. Cette contamination est due à une origine agricole de la région d'étude, ainsi à une origine urbaine de rejets non contrôlés. Nos résultats sont comparables avec ceux obtenus par Melghit (2010).

Tableau 24 : Teneur métallique naturelles dans les sédiments (Hammi, 2010).

| Elément | Limite |
|------------|-----------|
| cadmium Cd | 0,003mg/L |

IV.3. Résultat d'ACP

Tableau25: Matrice des corrélations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, des sédiments et de cadmium.

| Variabes | T°C eau | pH eau | CE eau | O2 eau | pH sed | CE sed | COT sed | MO sed | Cd sed |
|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| T°C eau | 1 | | | | | | | | |
| pH eau | 0,172 | 1 | | | | | | | |
| CE eau | -0,466 | -0,249 | 1 | | | | | | |
| O2 eau | 0,290 | 0,620 | -0,296 | 1 | | | | | |
| pH sed | 0,959 | 0,170 | -0,250 | 0,140 | 1 | | | | |
| CE sed | -0,069 | 0,056 | -0,694 | 0,235 | -0,294 | 1 | | | |
| COT sed | 0,396 | 0,897 | -0,087 | 0,537 | 0,461 | -0,331 | 1 | | |
| MO sed | -0,740 | 0,257 | -0,034 | 0,263 | -0,843 | 0,584 | -0,149 | 1 | |
| Cd sed | -0,869 | -0,448 | 0,142 | -0,325 | -0,933 | 0,301 | -0,681 | 0,654 | 1 |

Le tableau 24 représente la matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques déterminés. D'après les résultats de cette matrice, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Le cadmium dans les sédiments (Cd) corréle négativement avec les paramètres de l'eau (température, pH et oxygène dissous) et les paramètres des sédiments : le pH et le calcaire total, il corréle positivement avec la conductivité électrique de l'eau et des sédiments ainsi que la MO avec un coefficient de corrélation estimé à 0,654.

La matière organique (MO) corréle positivement seulement avec le pH et l'oxygène dissous de l'eau avec des faibles coefficients de corrélation qui sont respectivement 0,257 et 0,263.

Le calcaire total dans les sédiments corrèle positivement avec tous les paramètres sauf la conductivité électrique de l'eau et des sédiments, le plus fort coefficient de corrélation significative est de 0,897 qui est avec le pH de l'eau.

La conductivité électrique des sédiments corrèle positivement avec le pH et l'oxygène dissous avec des faibles coefficients de corrélations qui sont respectivement 0,056 et 0,235 ainsi, elle corrèle négativement avec la température et conductivité de l'eau dont les coefficients sont respectivement de -0,069 et -0,694.

Le pH dans les sédiments corrèle positivement avec la température avec un coefficient de corrélation très significative de 0,959 et avec le pH et l'oxygène dissous, mais il corrèle négativement avec la conductivité de l'eau. En fin, la conductivité de l'eau corrèle négativement avec la température, le pH et l'oxygène dissous qui corrèle positivement avec la température et le pH, d'autre façon la Température corrèle aussi positivement avec le pH de l'eau.

La projection de l'ensemble des paramètres sur le plan formé par les deux premières composantes principales (axe 1 et axe 2) est illustrées par la figure suivante. Ces deux axes expliquent respectivement 46,35% et 27,51% d'inertie et décrivent bien la plupart des paramètres étudiés.

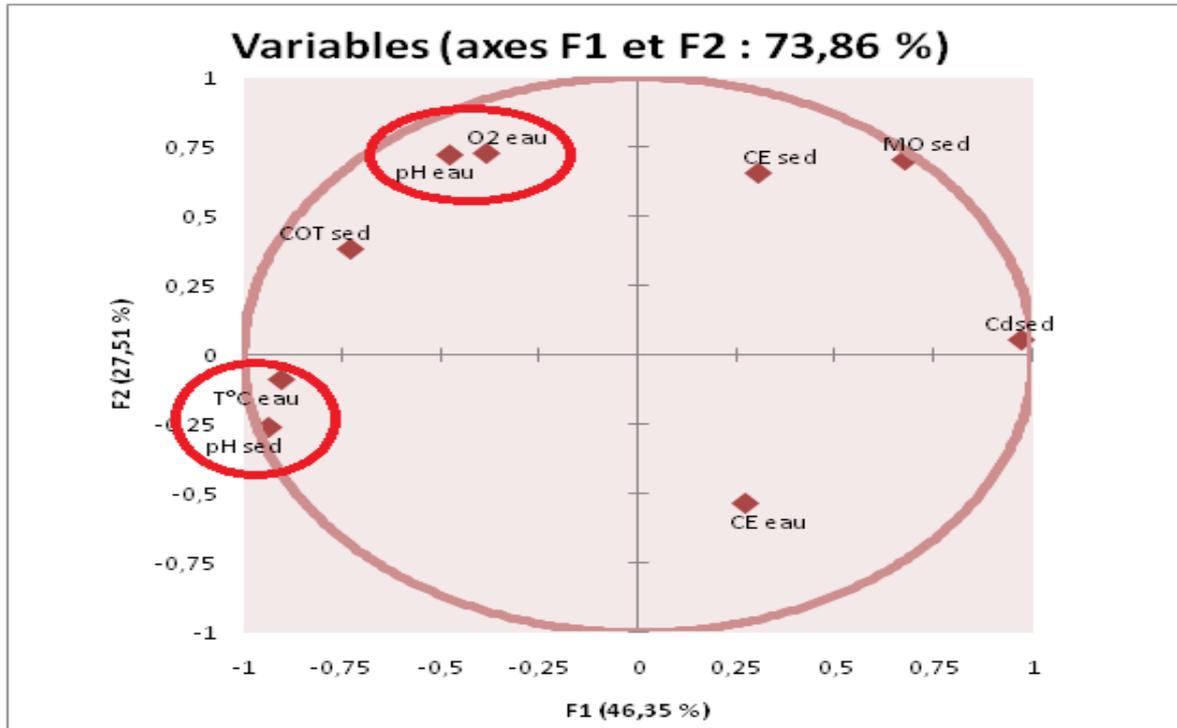


Figure 29 : Cercle de corrélations et projection des variables (ACP)

La figure montre deux groupes homogènes. Le premier groupe formé par le pH et l'O₂ dissous, le deuxième formé par la température et le pH des sédiments, ces groupes sont corrélés négativement.

IV.4. les paramètres biologiques

Après l'opération de trie des êtres vivants que nous avons récoltés pendant les deux campagnes de prélèvement, nous pouvons identifier les différentes espèces de macroinvertébrés benthiques qui existent dans l'oued Endja, ces organismes considérés comme bioindicateur de l'évaluation de la qualité de l'eau. Le tableau suivant représente les taxons identifiés sur 2 campagnes, la 1^{ère} en automne et la 2^{ème} en printemps.

Tableau 26 : Classification des macroinvertébrés selon les stations.

| Unités systématiques | | C 1 | | C 2 | |
|----------------------|------------------------|------|------|-----|------|
| | | ST 1 | ST 2 | ST1 | ST 2 |
| Ephéméroptères | <i>Baetidae</i> | + | | + | + |
| | <i>Caenidae</i> | + | | + | |
| | <i>Ephemerellidae</i> | | | + | |
| | <i>Isonychiidae</i> | + | | + | |
| Trichoptères | <i>hydropsychidae</i> | + | + | + | |
| Hémiptères | <i>Gerridae</i> | | + | | |
| | <i>Nepidae</i> | | + | | |
| Odonates | <i>Aeshnidae</i> | + | + | + | |
| Diptères | <i>Chironomidae</i> | + | | | + |
| | <i>Ceratopogonidae</i> | + | | + | |
| | <i>Simuliidae</i> | + | | | |
| Coléoptères | <i>Hydrophilidae</i> | + | | | |
| Hétéroptères | <i>Corixidae</i> | + | | | |
| Nombre des taxons | | 10 | 4 | 7 | 2 |
| L'indice biotique | IB | 7 | 6 | 6 | 6 |
| | IBGN | 6 | 4 | 5 | 2 |

Après le calcul de l'indice biotique selon la méthode de Tuffry et Verneau qui est très ancienne, nous avons trouvés qu'il est égal à 7 pour la première station qui se situe en amont, puis l'indice diminue en aval (IB=6) pour la première campagne de prélèvement. Alors que pour la deuxième campagne nous avons enregistré le même résultat pour les deux stations amont et l'aval (IB=6). En revanche, l'indice biotique selon la méthode de l'IBGN qui est la plus récente et la plus précise, l'IBGN indique la valeur de 6 pour la station amont et 4 pour l'aval de la première campagne, alors qu'il est de 5 pour l'amont et 2 pour l'aval pendant la deuxième campagne en printemps.

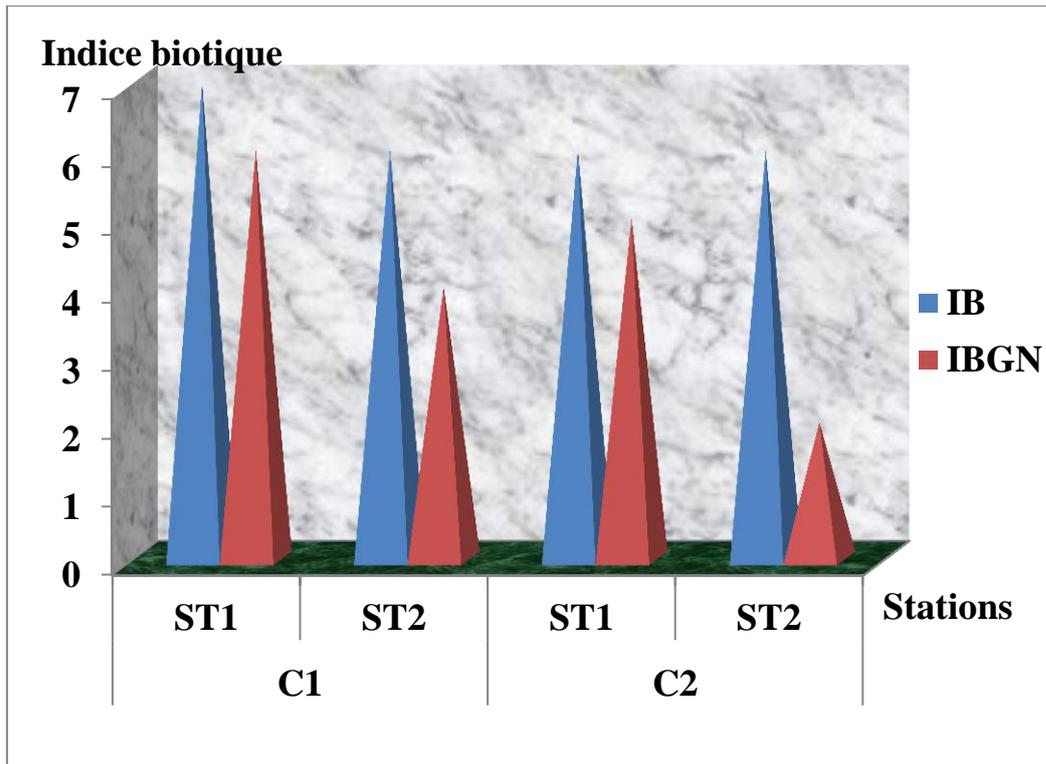


Figure 30 : Variations de l'indice de l'oued entre les deux stations selon Tuffry et Verneaux et par l'IBGN.

A partir du tableau de classification des organismes récoltés, nous remarquons une grande richesse des macroinvertébrés dans l'amont par rapport à l'aval, parmi ces organismes, il existe abondamment le groupe le plus résistant à la pollution métallique tels que les Diptères qui sont représentés par trois familles (*Chironomidae*, *Ceratopogonidae* et *Simuliidae*) aussi les Odonates qui sont des êtres résistants à la pollution et tolérants la contamination par le zinc et le fer. Les Epheméroptères aussi sont présentés par trois familles (*Baetidae*, *Isonychiidae*, *Caenidae*) représentant des indicateurs peu sensibles à la pollution mais très sensibles au zinc, cadmium et plomb sauf les *Baetidae* sont tolérants, ils ont besoin d'une eau bien oxygénée et peu polluée à une température assez fraîche. On note aussi la présence d'autres groupes tels que les Coléoptères, Trichoptères, Hémiptères et Hétéroptères. Au contraire dans la station aval il y a seulement quatre groupes faunistiques tels les Odonates et les Trichoptères qui représentent une résistance contre la pollution.

Les Chironomidaes et les Syrphidaes sont les groupes les plus tolérants. Ils peuvent vivre dans une eau peu oxygénée avec une bonne quantité de polluant à une température plus élevée. Si on observe une abondance de ces espèces et une absence des espèces sensibles, on peut en conclure que l'eau est de mauvaise qualité (Touzin , 2008).

Tableau 27: Classification de la qualité biologique d'un site (Pauwet Vanhooren, 1983).

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

A partir de tableau de classification de la qualité biologique des cours d'eau selon l'indice biologique, nous établissons le tableau qui contient les valeurs d'indice et leurs significations concernant l'oued Endja (tableau 28).

Tableau 28 : Indices biotiques et classes de qualité écologiques des deux stations.

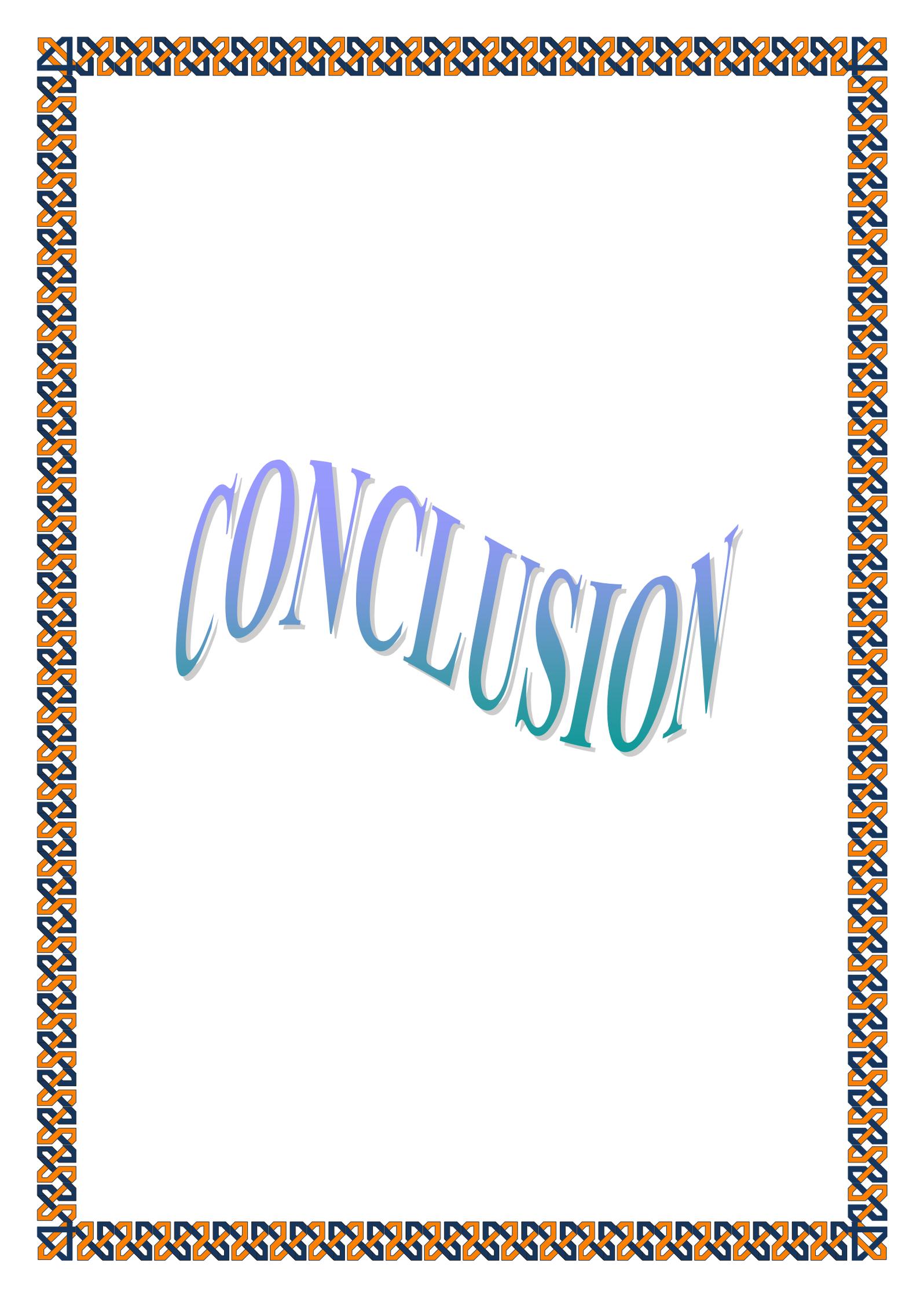
| Stations | IBGN | classe de pollution | Qualité biologique | |
|----------|------|---------------------|--------------------|----------------------|
| C 1 | ST 1 | 6 | III | pollution moyenne |
| | ST 2 | 4 | IV | pollution élevée |
| C 2 | ST 1 | 5 | III | pollution moyenne |
| | ST 2 | 2 | V | pollution très élevé |

L'ensemble des valeurs obtenues par l'indice biotique IB et IBGN nous permettons de regrouper nos stations comme Suits :

Pour la première campagne, le cours d'eau prend un état de pollution faible pour l'amont (selon l'IB) et de pollution moyenne (selon l'IBGN) et un état de pollution moyenne (selon IB) mais selon l'IBGN prend une classe d'eau IV c'est à dire une pollution élevé pour l'autre station de la même campagne.

Pour la deuxième campagne, L'IB a révélé un état de pollution moyenne dans les deux stations, d'autre façon, l'IBGN a révélé un état de pollution moyenne en amont et une situation de pollution très élevé en aval.

Aux cours des deux saisons de prélèvement on remarque des variations irrégulières entre l'IBGN et l'indice biotique selon Tuffry et Verneau (IB) dont les valeurs de ce dernier sont les plus élevés par apport à l'IBGN.



CONCLUSION

Conclusion

Oued Endja l'une des ressources en eau les plus importantes dans la wilaya de Mila, et l'un des cours d'eau qui alimente le barrage de Beni Haroun constituent un grand réceptacle de tout type de rejets de diverses natures. Ce cours d'eau est soumis à des pressions urbaines très importantes, ce qui affecte au premier rang la qualité des eaux de l'oued. L'objectif principal de notre travail est d'évaluer la contamination des sédiments d'oued Endja par le cadmium, l'appréciation de la qualité physico-chimique de l'eau et des sédiments, ainsi que des paramètres biologique.

Les résultats des paramètres physico-chimiques montrent que :

La température des eaux de cet oued est saisonnière de qualité médiocre pour la première campagne normale pour les deux autres campagnes, avec une moyenne de 19,41°C ;
Le pH des eaux est dite alcalin de moyenne de 8.41, avec une qualité mauvaise de l'amont pendant la première campagne et de bonne qualité pour les campagnes restantes ;
La mesure de la conductivité électrique de l'eau montre une minéralisation relativement élevée au cours des saisons de prélèvement avec une moyenne de 2504,5µS/cm ;
Ainsi que les valeurs mesurées de l'oxygène dissous qui est un facteur vital pour la faune macroinvertébrés, présente une moyenne de 9,79mg/l, traduisant la bonne qualité des eaux de l'oued.

Les analyses physico-chimiques des sédiments traduisent les résultats suivants :

Le pH de sédiments apparaît comme alcalin avec une moyenne de 8,41.
La conductivité électrique de moyenne de 586,33µS/cm, présente une minéralisation assez importante et une salinisation élevée.

La mesure du calcaire totale montre que la qualité des sédiments de l'oued Endja est très mauvaise, ce paramètre enregistre la moyenne de 74,66%.

La matière organique se présente par des taux très élevés ce qui indique la richesse en substances organiques due à l'activité agricole de la région, et elle indique la valeur 40.08 mg comme moyenne.

Concernant les teneurs des sédiments en cadmium avec une moyenne de 0.04µg/g en conclut que les sédiments de l'oued sont très pollués par ce métal au niveau des deux stations de prélèvement le long des saisons d'échantillonnage. Cette contamination est due à une origine agricole de la région d'étude, ainsi à une origine urbaine de rejets non contrôlés.

Conclusion

L'utilisation des paramètres biologiques progressivement imposée comme moyen d'apprécier la qualité globale des eaux des écosystèmes aquatiques car elles présentent une complémentarité par rapport aux variables physico – chimiques.

Les communautés des macroinvertébrés sont très sensibles à la variabilité environnementale. Par conséquent, la diversité des espèces présentes et leur abondance peut apporter des indications importantes sur la qualité du milieu aquatique.

L'analyse de la faune macroinvertébrés benthique et le calcul des deux indices biologiques ; indice biologique globale normalisées et indice biotique de Tuffry et Verneau montrent qu'il y a des perturbations considérables dans le temps et dans l'espace de ces paramètres qui traduisent une nette dégradation surtout au niveau des stations aval, donc on conclut que les eaux d'oued Endja présentent un mauvais état écologique.

Vue nos résultats, on peut dire que les eaux de l'Oued Endja sont affectées par une pollution métallique, qui altère la qualité physico-chimique et biologique de ces eaux.

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable de continuer nos travaux de recherche sur les eaux de cet oued, et il faudrait multiplier les études qui concernent les analyses physico-chimiques, biologiques et surtout l'appréciation de la contamination par les différents métaux lourds des sédiments pour assurer une bonne évaluation de l'état écologique de l'oued Endja cours d'eau très important dans la région de Mila.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des références

A

Afri-mehennaoui F.Z ., Sahli L., Mehennaoui S. 2009.Évaluation de la contamination par le cadmium, le plomb et le zinc de l'eau, des sédiments de l'oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug, et leur transfert vers une plante semi-aquatique : *Rorippa Nasturtium-Aquaticum*. UniversitéMentouri, Constantine. 46p.

Alain G. 2007. Hydrologie fluviale. Ellipses édition marketing S. A. 262p.

Atrouz F., LefilefA. 2012. Évaluation de la qualité des eaux de l'oued Rhumel, Paramètres physico-chimiques et biologiques.Diplôme de Master.Centre Universitaire de Mila.51p.

Aurelien G .,GeraldineD. 2008 .La connaissance des éléments traces Métalliques : un défi Pour la gestion de L'environnement. 19p.

Anonyme. (2009). Pollution des eaux par l'arsenic et acceptabilité des procédés de biotraitement.105p.

Anonyme.(2011).Étudehydrobiologique des petits cours d'eau du val-de-marne. 42p.

Anonyme. (2006). La pollution de l'eau, comité de recherche et de sensibilisation d'eau secours.319 p.

B

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.176 p

Berlemont D., Benoît T., florence B., Berliment M., lauters M. (2008). Étude du réseaud'hydraulique de la station biologique de Paimpont. 6 p.

Billon G., Magnier A., Lourino-Cabana B., Baeyens W., Fischer J.C., Ouddane B. (2010). Mise en place d'un suivi en continu d'éléments tracesmétalliques dans la colonne d'eau du canal de la Deûle.Université de lille. 42p.

Bliefert C., Perraud R.(2001). Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. 477 p.

Bourhardt T. (1985). Etat actuel de la pollution marine par les métaux lourds et son impact sur les cétacés dans le bassin algérien. Thèse de mastère .université d'oran.138p.

Références Bibliographiques

Bouchareb N. (2013) Transferts et géochimie de l'azote, Du phosphore et du silicium des bassines versent d'Oued Kebire -Rhumal, Kebirouest et Saf-safau littoral. Université Badji Mokhtar-Annaba. 28 p.

Boucheseiche C., Cremille E., Pelte., Pojer K. (2002). Pollution Toxique et écotoxicologie. 11p.

Bouhannèche F., Hammada L. L'évaluation physico-chimique et biologique de la qualité des eaux de l'oued Endja. L'obtention du diplôme de Master. Centre Universitaire de Mila. 47p.

Bourg A. C. H., Lock J. P. C. (1995). Mobilization of heavy metals as affected by Ph and redox conditions. In Biogeochemistry of pollutants in soils and sediments: Risk assessment of delayed and nonlinear responses, Ed. *Salomons W and Stigliani WM*, Berlin. 307 p.

Bourrain X., Demortier G., lascombe C., Stroffek S., Lalanecassou C., ferlin P., Meny., Mazuer P., Galvin Y., martinet F., Compagnat P., Vancayseele F., Rumeau A. (2000). Indice biologique global. 2ème édition. .

Brémond R., Vuichard R. (1973). Les paramètres de la qualité de l'eau. 173p.

Burnol A., Duro., M. (2006). Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines. p 25

C

Chaguer M. (2013). Analyse et spéciation des Métaux dans un Oued en zone Minière Cas de l'Oued Essouk. Diplôme de doctorat science en chimie. Université Constantine I. p7.

Chamley H., Deconinck J.f. (2011). Bases de sédimentologie. 3eme édition. Environnements fluviaux modernes. 163 p.

Claude F., Ferra C., Médou P., Dévaux J., Hemptinne J.L. (2012). Ecologie, approche scientifique et pratique, 6e édition, 488 p.

Cosandey C. (2003). Les eaux courantes géographie et environnement. Éditions belin. La charge sédimentaire. 239p.

Coulibaly K. (2005). Étude de la qualité physicochimique bactériologique de l'eau des putts de certains quartiers de la distribution Bamako. Université de Bamako. Mali. 19 p.

D

Devillers J., Squilbin., Yourssowsk y. (2005). Les paramètres physicochimiques. Paris.in

Eugène Angelier. (2009) .écologie des eaux courantes. Editions TEC et DOC. 199p.

Dreal L. (2011). Des eaux superficielles pleines de vie. Laboratoire d'hydrobiologie.
France.

Diren L. (2007). Comparaison de deux pratiques d'échantillonnage des macroinvertébrés
aquatiques en rivière, (agitation et récolte du support).France.

F

ForcellinI M., Mathieu C., Merigoux S. (2011).Atlas des Macroinvertébrés des eaux
douces de l'île de la Réunion.Office de l'Eau de la Réunion.

Förstner U. (2004). Métal spéciation, général concepts and applications. 72p.

Foussard G., Etcheber K. (2011). Proposition d'une stratégie des surveillances des
paramètres physico-chimique pour les entières de la saine, se la Loire et de la gironde
Université Bordeaux. France. 59 p.

Fromont N. (2010).Les cahiers de l'eau du réseau des CPIE. 21p.

G

Gaëtan V.(2008). Comparaison de la potentialité et de la vulnérabilité de plusieurs
Sources dans le bassin du viroin.Diplôme de master en sciences et gestion de
l'environnement.Université libre de Bruxelles. 45 p.

Gaujous D.(1995). La pollution des milieux aquatiques. Ed Technique et documentation.
Lavoisier, Paris. 220p.

Gisèle B. (2007).Pollution des eaux de rivière et impact sur les populations riveraines: cas
de la rivièremgoua dans la zone industrielle de douala- bassa (Cameroun).diplôme de
Master of Science en Gestion de l'eau. Université de Dschang ..

Grumiaux F., Demuyneck S., Lepretre A., Dhainaut- Courtois N. (1997). Teneurs
métalliques et organiques dans les sédiments et effets sur les communautés benthiques

Références Bibliographiques

dans deux cours d'eau représentatifs de la région Nord/Pas-de-Calais. In: Contaminatedsoils.

H

Hammi H. (2010). la pollution des eaux par les métaux lourds. Les IIIème Olympiades Tunisiennes de chimie 2010.

Hernandez L. (2003). Dynamique des éléments traces métalliques dans les sols de différents écosystèmes forestiers Français : origine, distribution physique et chimique et facteurs de contrôle. Thèse de doctorat, Toulouse III. 266p.

Hoffmann F., Auly T., Marie Meyer A. (2014). L'eau. Edition confluence.119p

K

KerdoudS.(2006).Le bassinversant de Beni Haroune eau et pollution. L'obtention du Diplôme de magister. Université Mentouri- Constantine. 7-31 p.

Khaled A. (1995). La pollution, un phénomène universel qui s'aggrave et nécessite une lutte. 54p.

koller E. (2009). Traitement de la pollution industrielle. 2eme édition. Les polluants présents dans l'eau.123p.

L

Lagauzère S. (2008).Influence de la bioturbation des macroinvertébrés benthiques sur le comportement biogéochimique de l'uranium au sein des sédiments d'eau douce,obtenir le grade de docteur de l'université de la méditerranées Aix-Marseille II .98p

M

Maël S, (2008). Colmatage et rétention des éléments traces métalliques dans les systèmes d'infiltration des eaux pluviales. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon .21-427p

Marami R ., Kacimi M., Boularak M. (2008). Les mouvements de terrain dans la région de Mila (Algérie nord-orientale): impact sur les infrastructures Université de Constantine, Algérie. 51 p.

Masson J. P.(1988). Suivi de la qualité des eaux superficielles : l'expériencefrançaise.Palazzo dei Congressi. 99-100 p.

Références Bibliographiques

Mebarki A., Benabbas C., Grecu F. (2008). Le système « Beni -Haroun » (Oued kebir Rhumel, Algérie): aménagements hydraulique et contraintes morphogéologiques. Algérie. 41 p.

Melhaoui M. (2009). Echantillonnage et étude des macro-invertébrés de la Moulouya. Maroc. 17 p.

Melghit M. (2010). Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. diplôme de Magistère. Université Mentouri Constantine. 132 p.

Merabet S. (2010). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Diplôme de Magister. Université Mentouri Constantine. 89p.

Merouani M., Bouguedah A. (2013). Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux Souterraines de la cuvette d'Ouargl : Les principaux polluants des eaux .18p.

Michaud C. (2010). Notion de cours d'eau. 45p.

Mireille D. (2009). Le suivi de l'intégrité écosystémique sur le territoire québécois. Emplacement et avancement sur l'échiquier environnemental international. Université de Sherbrooke. Canada. 2.

Moisan J. (2013). Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. 82p.

N

N'guessan Y. (2008). Dynamique des éléments traces dans les eaux de surface des Bassins versants agricoles de Gascogne. Diplôme de doctorat de l'université de Toulouse. 195p.

Nollet P. (1996). Problèmes d'environnement. Dires d'experts. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris. 288 p.

NOPPE K. (1996). Contamination métallique des sédiments des cours d'eau du bassin Artois-Picardie et son impact sur la contamination des chairs et des foies de poissons. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI. 39p.

P

Parlanti E., Budzinsk H. (2009). Étude des interactions matière organique dissoute – contaminants organiques dans l’environnement aquatique. L’université bordeaux. 25p

Pauw N., Vanhooren G.(1983). Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. Hydrobiologia.

R

Ramade F. (2002). Dictionnaire encyclopédique de l’écologie et des sciences de L’environnement. 2ème Ed. Paris. 689 p.

Rodier J.(2009) .l’analyse de l’eau. 9ème édition.1511p.

Rodolph P. (1990). Le grand livre de l’eau, la manufacture.Cité des sciences. Paris. 370p.

S

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 Présentée. Université Mentouri de Constantine. 34 p.

Serpaud B., Al-ShukryR., Casteignau M., et Matjeka G.(1994). Adsorption des métaux lourds(Cu, Zn, Cd et Pb) par les sédiments superficiels d’un cours d’eau : rôle du pH, de la température et de la composition du sédiment. 67p

SEQ-Eau. (1999). Les outils d’évaluation de la qualité des cours d’eau. Les études des Agences de l’Eau n°72.

T

Touzin D. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l’eau des rivières au Québec. Université Laval. 39p.

Thompson E.S., Pick F.R., Bendell-Young L.I. (1997).The accumulation of cadmium by the yellow pond lily, *Nuphar variegatum* in Ontario peatlands. Arch. Environ. Contam. Toxicol..

V

Van Vlaenderen R.(2012).Microflore et macroinvertébrés de nos rivières, un indicateur du bon état, Service Eau, Sous-Sol pôle expertise de la qualité des eaux et des milieux aquatiques.48p.

Références Bibliographiques

Villers J., Squilbin M., Ssowsky Catherine Y. (2005).Qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement.93p.



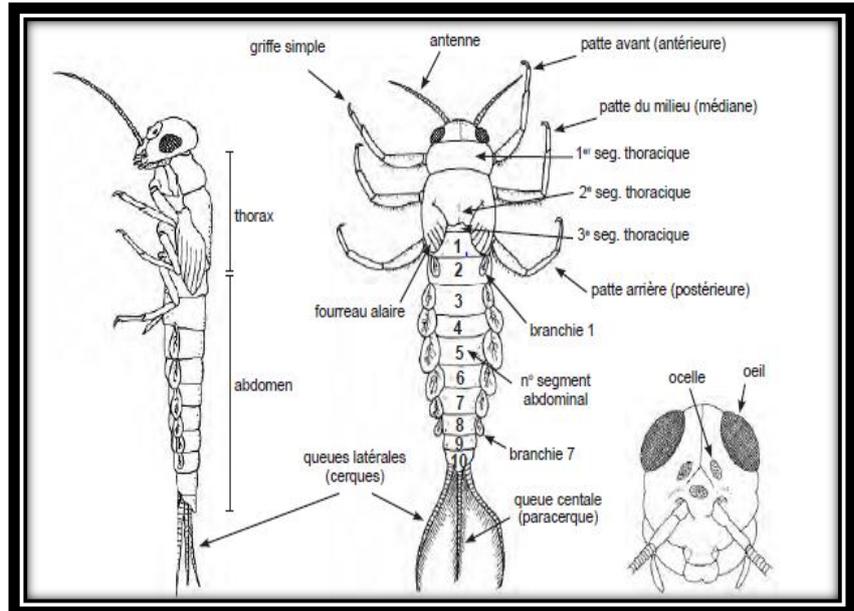
ANWEYES

Annexe 1 : Systématique des Ephéméroptères

Embranchement: Arthropodes.

Classe: Insectes.

Ordre : Ephéméroptères.



Les familles des Ephéméroptères :

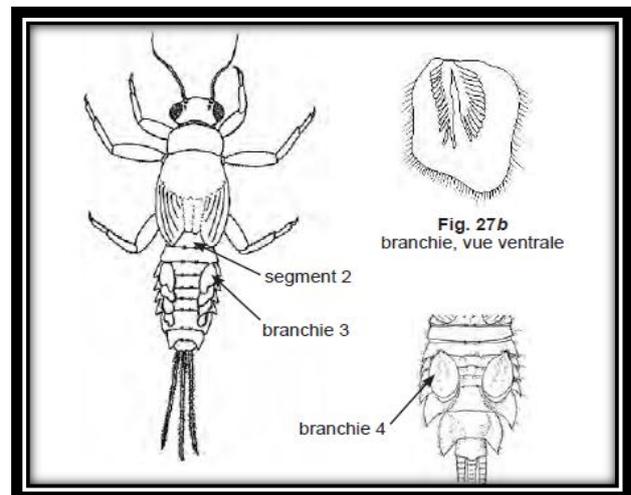
1. Famille : *Ephémérididae*.

Caractéristiques particulières :

Aucune branchie sur les premier et deuxième segments abdominaux; elles commencent sur le segment 3 ou 4. (Parfois, branchies peu développées en forme de filament sur le premier segment).

Branchies en forme de petits disques ovaux plaquées sur le dos de l'abdomen.

Branchies 4 parfois operculées et couvrant en grande partie les branchies des segments 5 à 7.



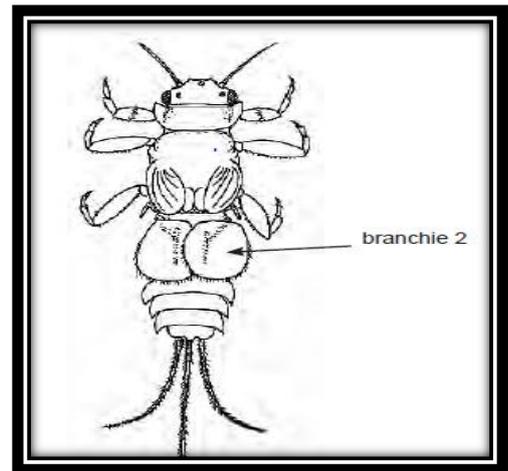
ANNEXES

2. Famille de *Caenidae*

Caractéristiques particulières :

Branchies du deuxième segment de l'abdomen en plaques carrées se chevauchant au centre de l'abdomen.

Branchies du deuxième segment couvrant les branchies suivantes.



3. Famille d'*Isonychiidae*

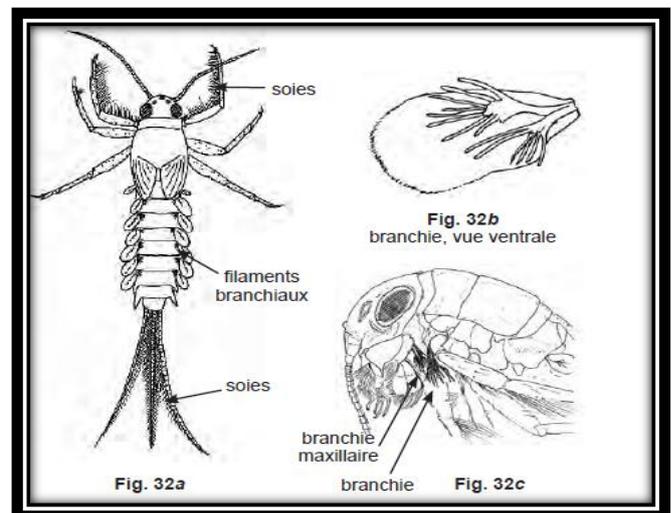
Caractéristiques particulières :

Marge intérieure des tibias et fémurs des pattes avant bordées de longues soies.

Branchies avec une partie filamenteuse sous les plaques ovales

Soies des queues latérales sur la partie interne seulement.

Région buccale poilue dotée de branchies à la base des maxilles.



4. Famille de *Baetidae*

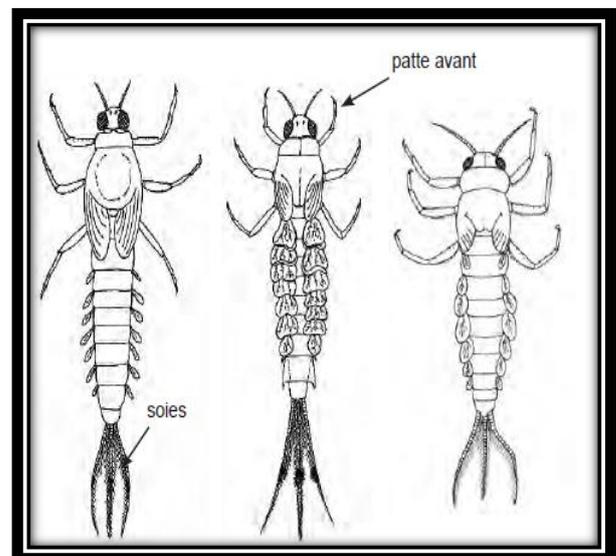
Caractéristiques particulières :

Absence de soies sur la marge interne des pattes avant.

Branchies simples ou doubles sans partie filamenteuse.

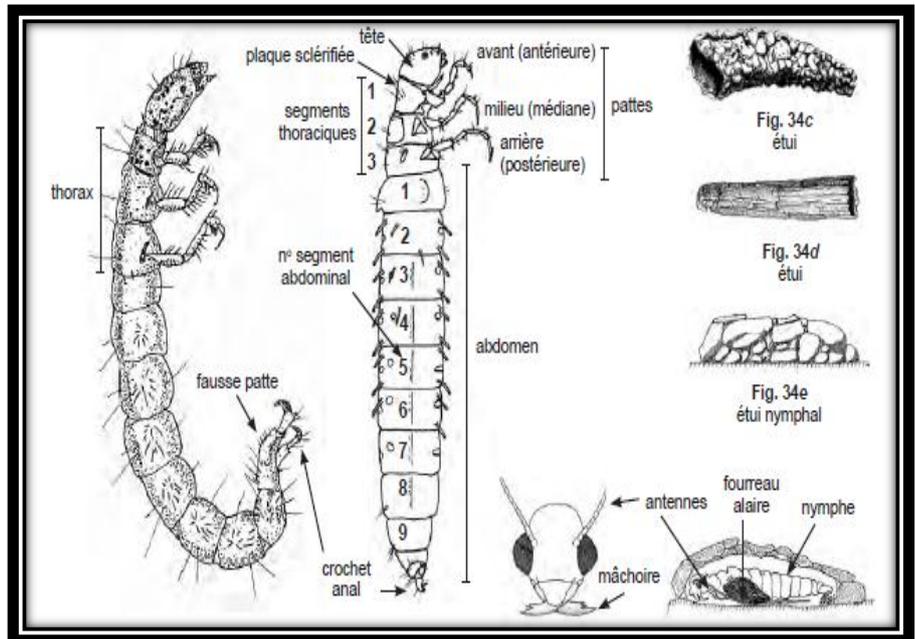
Soies des queues latérales sur la partie interne seulement.

Corps plutôt cylindrique et allongé.



Annexe 2 : Systématique des Trichoptères

- E. Arthropode
- C. Insecte
- O. Trichoptère
- F. Hydropsychidae



La famille de *Hydropsychidae* :

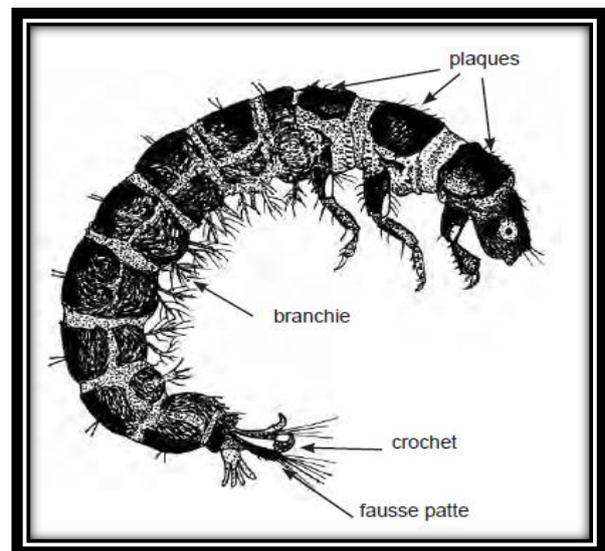
Caractéristiques particulières :

Plaques dures recouvrant entièrement le dos des trois segments du thorax.

Libre, sans étui lors de la récolte. Les larves construisent cependant une retraite fermée par un filet pour capturer leur nourriture.

Présence de branchies filamenteuses semblables à de petits arbres sur la plupart des segments de l'abdomen.

Deux crochets bien développés sur de fausses pattes à l'extrémité de l'abdomen.



Ces deux crochets sont habituellement surmontés de soies noires disposées en éventail.

Tolérance moyenne à la pollution.

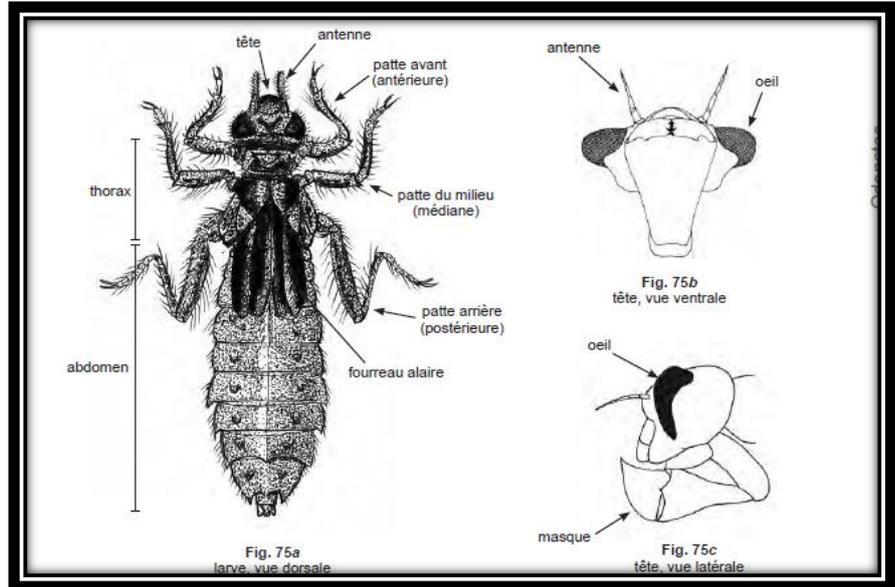
Annexe 3 : Systématique des Odonates

Ordre :odonate

E. Arthropode

C. Insecte

O. Odonate

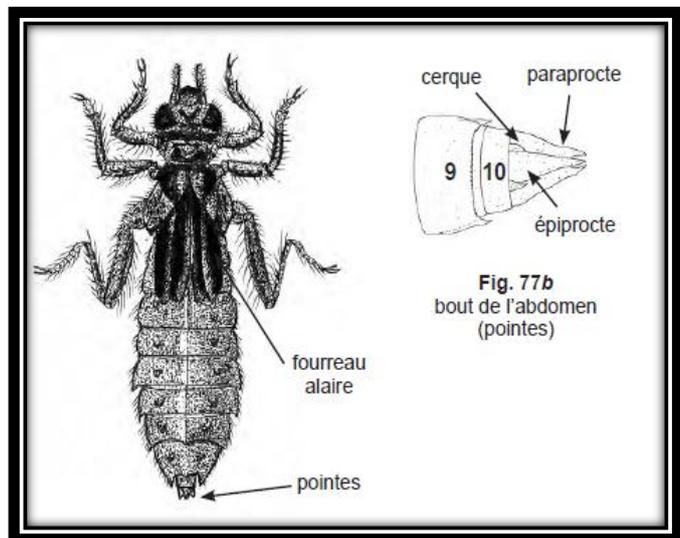


Famille d'Anisoptères

Caractéristiques particulières :

Abdomen se terminant par cinq petites pointes triangulaires. Corps relativement massif (abdomen large).

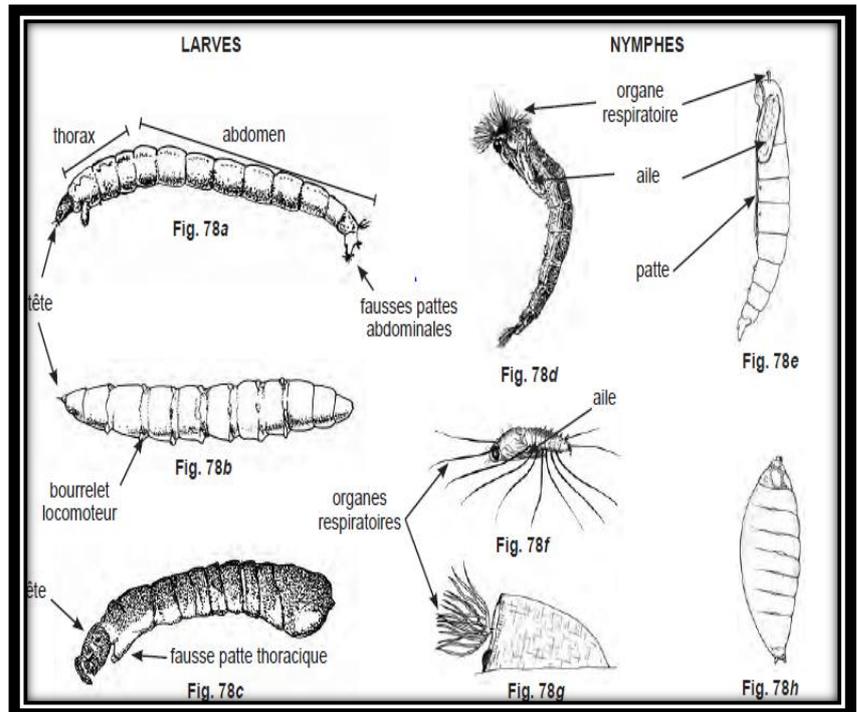
Tête habituellement plus étroite que le corps. Communément appelés libellules.



Annexe 4 : Systématique des Diptères

Ordre : Diptères

E. Arthropode
C. Insecte
O. Diptère



1. La famille de Chironomidae

Caractéristiques particulières :

Corps vermiforme (mince et allongé).

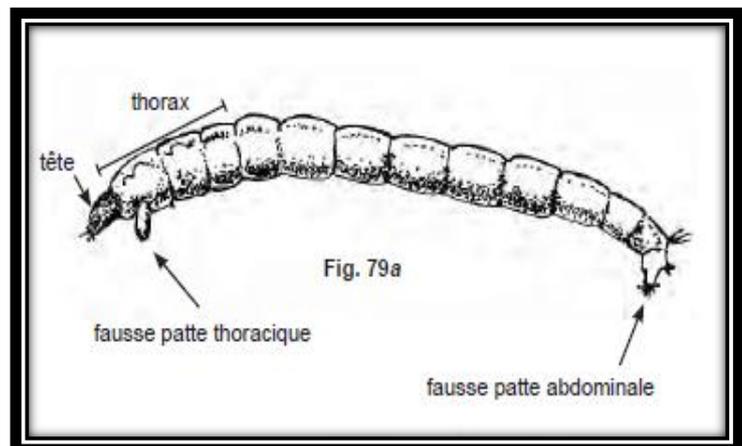
Tête distincte du thorax sans panache de soies.

Segments du thorax distincts.

Présence d'une paire de fausses pattes au début du thorax et d'une paire à la fin de l'abdomen.

Petits crochets sur les fausses pattes.

Fréquemment retrouvé dans un tube de vase, plus rarement dans un étui souple ou un étui rigide



ANNEXES

2. Famille de Simuliidae

Caractéristiques particulières :

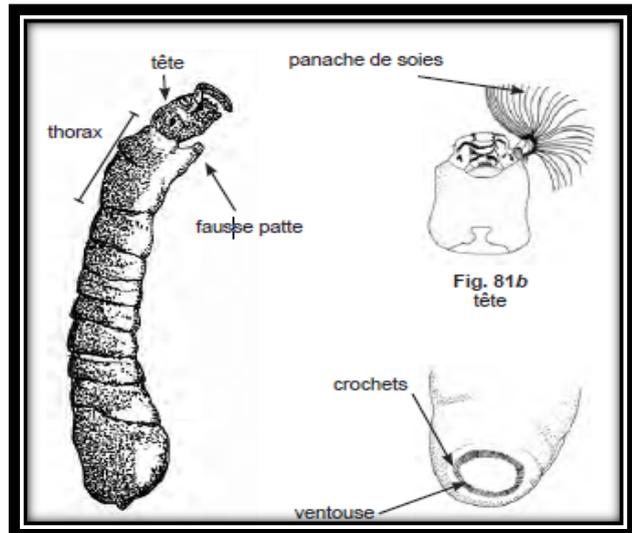
Tête distincte portant deux • panaches de soies

Partie postérieure de l'abdomen • élargie et terminée

par une ventouse entourée de crochets (fig. 81c).

Segments du thorax indistincts. •

Fausse patte thoracique unique.



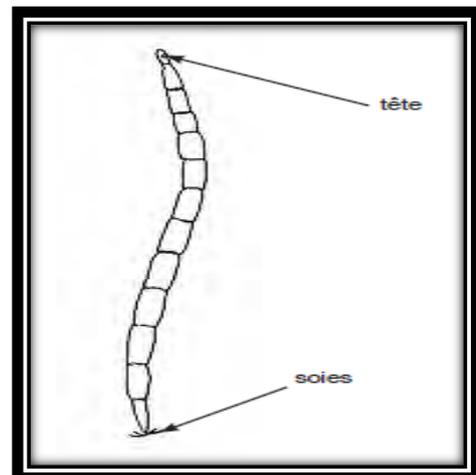
3. La famille de Ceratopogonidae

Caractéristiques particulières :

Corps de couleur crème, mince, allongé et segmenté dont la forme générale ressemble à celle d'un serpent.

Tête petite et mince, distincte du thorax.

Fausse pattes thoraciques et abdominales généralement absentes.



ANNEXES

Annexe 5 : 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

ANNEXES

Tableau : description des stations

| Stations | Date | Heure | Macrhabitat | | | Type de substrat | | Condition de substrat | Transparence | Couleur d'eau | Couverture |
|----------|--------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------|-----------------------|--------------|---------------|------------|
| | | | Largeur | Profondeur moyenne | Vitesse de courant | Dominante | Accessoire | | | | |
| ST 1 | 16 :09 :2014 | 9.45 | 2-3m | 0.1-0.5m | Très rapide | Blocs-cailloux | Cailloux- | Pur | Trouble | Brunâtre | Couvert |
| | 19 :11 :2014 | 9.15 | | | | | | | | | |
| | 03 :05 :2015 | 11.30 | | | | | | | | | |
| ST 2 | 16 :09 :2014 | 11.00 | >3m | 0.1-0.5m | Lent | Blocs-cailloux | Cailloux-sable | Pur | Trouble | Brun claire | Couvert |
| | 19 :11 :2014 | 10.30 | | | | | | | | | |
| | 03 :05 :2015 | 10.00 | | | | | | | | | |

ملخص

الهدف من عملنا هو تقييم تلوث الرواسب النهريّة بواد النجاء بعنصر الكاديوم عن طريق قياس المعايير الفيزيائية في قسمين: المياه (درجة الحرارة، درجة الحموضة، والموصليّة، الأوكسجين المذاب)، والرواسب (درجة الحموضة، والموصليّة، والمواد العضويّة، وإجمالي الحجر الجيري والكاديوم) وقياس المعايير البيولوجية وذلك عن طريق تحديد مؤشر الحيويّة Tuffry et Verneaux ومؤشر الحيويّة IBGN. هذه الدراسة تقتصر على موقعين لأخذ العينات؛ الأول يمثل المنبع و يقع في مشته بوشرور ، والمصب يقع في مشته تاغليسة يتم أخذ العينات خلال ثلاثة مواسم على التوالي. الخريف والشتاء والربيع بالنسبة للرواسب، واثنين (الخريف والربيع) بالنسبة للافقاريات المائية. التحاليل الفيزيائية تظهر المياه في درجات الحرارة موسمية درجة الحموضة القلوية، التوصيل الكهربائي يشير المياه مع درجة تمعدن عالية وكذلك مستويات عالية من الأوكسجين المذاب. التحاليل الفيزيائية والكيميائية للرواسب تظهر درجة الحموضة القلوية، التوصيل الكهربائي بنسبة ملحوظة عالية، وارتفاع معدلات الكالسيوم والمواد العضوية و يحتوي على نسبة عالية من الكاديوم. وتشير الدراسة البيولوجية سوء نوعية المياه لكل من محطات أخذ العينات. بعد هذه الدراسة نستنتج أن مياه واد النجاء ملوثة بأنواع مختلفة من المعادن بما في ذلك التلوث بعنصر الكاديوم.

الكلمات المفتاحية: التلوث المعدني، كاديوم، المعايير الفيزيو كيميائية , المعايير الكيميائية, اللافقاريات

المائية.

Abstract

The aim of our work is to evaluate the contamination of river sediments Endja cadmium by measuring physicochemical parameters concern two compartments; of the water are the temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen. And the sediment compartment (pH, conductivity, organic matter, the total limestone and cadmium assay) and measuring biological parameters; by determining the biotic index with Tuffry and Verneaux and overall biotic index normalized. This concerned two sampling point study; upstream located at machtetbouchrou, and downstream at machtettaghlissa for three successive season; autumn, winter and spring for sediment and two companions (fall, spring) for wildlife macroinvertebrates. The physicochemical analyzes of water show that seasonal temperature, alkaline pH, electrical conductivity indicating water with high mineralization, As well as high levels of dissolved oxygen.

The physicochemical analyzes of sediments show an alkaline pH, electrical conductivity has a high salinity, high rates of TOC and organic matter, cadmium has a high content.

The biological parameter study indicates poor water quality for both sampling stations. After this study we conclude that the waters of OuedEndja are contaminated with various types of metal including pollution.

Key words: Métal pollution, Cadmium, physicochemical parameters, biological parameters , Macroinvertebrates

| | |
|--|---|
| Nom : AMROUCHE Prénom : Chahinaz KEZIOUHA Ahlam | Date de soutenance 03/06/2015 |
| Titre : contamination des sédiments de l'oued Endja par le cadmium | |
| La nature de diplôme : Diplôme de Master 2 en Ecologie. Option : Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers. | |
| <p>Résumé</p> <p>L'objectif de notre travail est l'évaluation de la contamination des sédiments d'oued Endja par le cadmium par la mesure des paramètres physico-chimiques concernent deux compartiments ; de l'eau qui sont la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous et le compartiment des sédiments(le pH, conductivité, la matière organique, le calcaire totale et le dosage du cadmium) ainsi que la mesure des paramètres biologiques ; par la détermination de l'indice biotique de Tuffry et Verneaux et l'indice biotique globale normalisées (IBGN). Cette étude concerne deux point de prélèvement ; amont situé au niveau de machtet bouchrou,et aval au niveau de machtet taghlissa, pendant trois saisons successives ; l'automne, l'hiver et le printemps pour les sédiments et deux compagnes(automne, printemps) pour la faune macroinvertébrés.</p> <p>Les analyses physico-chimiques des eaux montrent une température saisonnière, un pH alcalins, une conductivité électrique indiquant des eaux à forte minéralisation. Ainsi que des fortes teneurs en oxygène dissous.</p> <p>Les analyses physico-chimiques des sédiments montrent un pH alcalin, une conductivité électrique traduisant une salinisation élevée, un taux élevé de COT et de matière organique, le cadmium présente une teneur importante.</p> <p>L'étude des paramètres biologiques indique une mauvaise qualité de l'eau pour les deux stations de prélèvement.</p> <p>Après cette étude nous pouvons conclure que les eaux de l'Oued Endja sont contaminées par diverse type de pollution notamment métallique.</p> | |
| Mots clés : Pollution métallique, Cadmium, Paramètres physicochimiques, Paramètres biologiques, Macroinvertébrés | |
| Promoteur : Djeddi Hamssa | Grade : Maitre-assistant classe«A» |