

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité/ Option : Biodiversité et Environnement
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

THEME

**Les macroinvertébrés benthiques bioindicateurs de la qualité
écologique des milieux lotiques : cas d'Oued Bouhamdane et
affluents Nord- Est d'Algérie**

Présenté par :

BOUATI Besma

BOUALLEG Sarra

Devant le jury composé de :

Président : Dr. NEDJAH Riad

Université 8 Mai 1945 Guelma

Examinatrice : Dr. YALLES SATHA Amina

Université 8 Mai 1945 Guelma

Encadreur : Dr. BOUCHELACHEM EL Hadi

Université 8 Mai 1945 Guelma

Juin 2019

REMERCIEMENTS

- Après avoir rendu grâce à DIEU,
 - Nos premiers et chaleureux remerciements sont adressés à :
 - Nos parents que nous ne remercierons jamais assez,
- Dr. BOUCHELAGHEM El Hadi, qui a permis à ce mémoire d'être, qui l'a accompagnée dans ses développements et qui a assuré les conditions matérielles de sa réalisation. Merci pour vos conseils qui ont nourri et guidé mon apprentissage de la recherche et mon intérêt pour la restauration. Merci pour la qualité de votre encadrement fait de rigueur, de confiance, de disponibilité, de critiques et d'encouragements, d'enthousiasme et de pragmatisme.
 - Nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir bien voulu lire et corriger ce manuscrit. Merci à Dr. NEDJAH Riad d'avoir accepté d'être le président du jury. Merci également à Dr. YALLES SETHA Amina d'avoir accepté d'être examinatrice.
- Tout le corps enseignant de la faculté SNVSTU de l'Université 8 Mai 1945 Guelma pour la qualité de leur enseignement.
 - Nous remercions par la même occasion les responsables du Labo de la STEP de Hammam Debagh, Monsieur CHAALAL Mohammed., Directeur de l'Algérienne des Eaux de Guelma ; Messieurs : ELLAGOUNE Abd Elghani, Chef de Station (ADE) et AMRAOUI Salah chef de labo, pour avoir bien accueilli et facilité notre intégration.
- Que Mesdemoiselles, BAOUT Mebarka et RABAI Hannen, Mesdames; CHOUAREF Radia, FISLI Amel trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour nous avoir accueillie dans leur laboratoire et nous avoir offert les moyens et beaucoup de facilités techniques dans nos expériences et de nous soutenir sans cesse renouvelée durant notre stage sur les analyses physicochimiques des eaux.
- Tout le personnel de la Station météorologique de Guelma, pour la cordialité des échanges et la facilité qu'ils nous ont accordé dans la phase de collecte de données.
 - Nous voudrions remercier nos techniciennes et ingénieurs de laboratoires pédagogiques, fidèles complices et compagnons mémorables pour leurs soutiens multiformes et pour la bonne ambiance dans laquelle elles nous ont permis de travailler. Merci à nos camarades étudiants(es), pour le soutien inestimable qu'ils nous ont apporté.
- Enfin, que toutes celles et tous ceux qui ont bien voulu nous aider d'une manière ou d'une autre dans la réalisation de ce travail acceptent le témoignage de notre profonde gratitude.

Je dédie ce modeste travail

A mes plus chers êtres au monde :

Ma mère (Ziloukha) et mon père (Abdallah). Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes chères sœurs: Assia, Hajer

A mes chers frères: Khaled, Mohammed

A le prince de la famille : Djoud Elyaqine

A mon fiancé et ma belle famille

A toutes les fleurs de mon cœur : Besma, Amira, Asma, Asma, Amira

« Nous avons vécu un bon moment, certains événements pleins de bonheur et de joie pendant les 5 Années de cursus universitaire que je n'oublierai jamais »

A toute ma famille, et mes amis «Laila, Racha, Fouzia, Hadda»

Et les personnes qui ont aidé dans notre Travail :

Manal et Riad.

SARRA



Je dédie ce modeste travail

A mes plus chers êtres au monde :

Ma mère (Zakia) et mon père (Mabrouk). Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes chères sœurs: Manal, Assia

A mes chers frères: Mohammed, Nahel

A le prince et les princesses de la famille : Mohammed Amine, Anfal, Amina, Hannin

A toutes les fleurs de mon cœur : Sarra, Asma, Asma, Amira, Amira.

« Nous avons vécu un bon moment, certains événements pleins de bonheur et de joie pendant les 5 Années de cursus universitaire que je n'oublierai jamais »

A mes cousines: Amani et Maymmona

A toute ma famille, et mes amis «Fouzia, Assia, Hadda, Manal, Rayen»

Et les personnes qui ont aidé dans notre Travail :

Redouane

BESMA



TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
INDEX DES FIGURES	i
INDEX DES TABLEAUX	ii
INDEX DES PHOTOGRAPHIES	ii
INDEX DES ANNEXES	ii
INDEX DES ACRONYMES	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
ملخص	vi
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Problématique.....	1
2. Portrait de la situation.....	2
3. Pourquoi utiliser les macroinvertébrés benthiques.....	3
CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA REGION D'ETUDE	5
1.1. Caractéristiques physique du milieu.....	5
1.1.1. Situation et cadre géographique.....	5
1.1.2. Réseau hydrographique.....	5
1.1.3. Contexte géologique.....	6
1. 1.3.1. Structure géomorphologique.....	6
1.1.4. Occupation du sol.....	7
1.1.4.1. L'influence de l'agriculture intensive sur la qualité des eaux Souterraines.....	7
1.1.5. Les conditions climatiques et hydrologiques.....	8
1. 1.5.1. Régime des précipitations.....	8
1. 1.5.2. Les températures.....	9
1.1.5.3. Humidité relative.....	10
1.1.5.4. Vent.....	10
1.1.5.5. Relations entre la température et la précipitation.....	11
1.1.5.5.1. Diagramme de Bagnouls et Gaussen(1957).....	11
1.1.5.5.2. Quotient pluviométriques et étages bioclimatiques d'Emberger.....	12
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	14
2.1. Méthodologie.....	14
2.1.1. Démarche générale.....	14
2.1.2. Caractéristiques des stations d'étude.....	14
2.1.3. Matériel.....	18
2.1.3.1. Matériel de terrain.....	18
2.1.3.2. Matériel de laboratoire.....	18
2. 1.4. Protocole et Stratégie d'échantillonnage.....	19
2.1.4.1. Méthode d'échantillonnage.....	19
2.1.4.2. Pré-tri et conservation des échantillons.....	21
2.1.4.3. Tri et détermination.....	21
2.1.4.4. Mesure des caractéristiques physiques in situ.....	22
2.1.4.5. Mesure de caractéristiques chimiques.....	23
2.1.4.6. Identification des macroinvertébrés et analyses des données.....	27
2.1.4.6.1. Les Ephéméroptères.....	27
2.1.4.6.2. Les Diptères.....	27
2.1.4.6.2. Les Plécoptères.....	28
2.1.4.6.4. Les Coléoptères.....	29
2.1.4.6.5. Les Trichoptères.....	30
2.1.4.6.6. Les Hétéroptères.....	31

2.1.4.6.7. Les Odonates.....	32
2.1.4.6.8. Les Planaires.....	33
2.1.4.6.9. Les Annélides.....	33
2.1.4.6.10. Les Mollusques.....	34
2.1.4.6.11. Les Crustacés.....	35
2.1.4.6.12. Les Hydracariens.....	36
2.1.5. Analyse de données.....	36
2.1.5.1. Descripteurs biologiques.....	36
2.1.5.2. Détermination de l'indice biologique global (IBGN)	39
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	41
3.1. Résultats.....	41
3.1.1. Paramètres physiques de l'eau.....	41
3.1.1.1. Température.....	41
3.1.1.2. Potentiel hydrogène.....	41
3.1.1.3. Conductivité électrique.....	42
3.1.1.4. Oxygène dissous.....	42
3.1.1.5. Salinité.....	43
3.1.1.6. Potentiel d'oxydoréduction.....	43
3.1.1.7. Totale des solides dissouts.....	44
3.1.1.8. Turbidité.....	44
3.1.2. Paramètres chimiques de l'eau.....	45
3.1.2.1. Calcium.....	45
3.1.2.2. Dureté totale (titre hydrotimétrique total).....	45
3.1.2.3. Chlorure.....	46
3.1.2.4. Sulfates.....	46
3.1.3. Paramètres de pollution.....	47
3.1.3.1. Nitrates.....	47
3.1.3.2. Nitrites.....	47
3.1.3.3. Ammonium.....	48
3.1.3.4. Ortho phosphates.....	48
3.1.3.5. Matière en suspension.....	49
3.1.3.6. Bicarbonates.....	49
3.1.4. Analyse globale de la faune benthique d'oued Bouhamdane et ces affluents.....	50
3.1.4.1. Check-list des taxa faunistiques.....	50
3.1.4.2. Analyse globale des macroinvertébrés benthiques.....	51
3.1.4.3. Richesse taxonomique.....	51
3.1.4.4. Abondance.....	52
3.1.4.5. Fréquence relative des macroinvertébrés par station d'étude.....	52
3.1.4.6. Indices écologiques	54
3.1.4.7. Détermination de l'indice biologique global (IBGN).....	56
3.2. Discussion.....	63
3.2.1 Caractéristiques environnementales.....	63
3.2.1.1 Qualité physico-chimique de l'eau.....	63
3.2.1.2 Indices de diversité.....	65
3.2.1.3 Evaluation de la qualité hydro biologique des cours d'eau	66
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	68
BIBLIOGRAPHIE.....	70
ANNEXES	79

INDEX DES FIGURES

Figure 1.1 : Variations mensuelles des précipitations (mm), années 1994-2018.....	9
Figure 1.2: Courbe d'évaluation des températures à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2018).....	9
Figure 1.3 : Evaluation mensuelle des humidités relatives à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2018).....	10
Figure 1.4 : Variations moyenne mensuelle de la vitesse de vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2018)	11
Figure 1.5 : Diagramme de Bagnouls et Gausson (1957) à la station météorologique de Guelma (1994 –2018)	12
Figure 1.6 : Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1994-2018)	13
Figure 2.1 : Localisation des stations de prélèvement sur le cours d'eau de Bouhamdane et ses affluents.....	14
Figure 2.2 : Morphologie générale des larves d'éphéméroptères (Moisan, 2010).....	27
Figure 2.3 : Différentes formes des larves des diptères (Moisan et <i>al.</i> , 2010).....	28
Figure 2.4 : Morphologie générale des larves des plécoptères (Moisan, 2010).....	29
Figure 2.5 : Morphologie générale des larves des coléoptères(Moisan, 2010).....	30
Figure 2.6 : Morphologie générale des larves des trichoptères (Moisan, 2010).....	31
Figure 2.7 : Morphologie générale des larves des hétéroptères (Tachet et <i>al.</i> , 2012).....	31
Figure 2.8 : Morphologie générale des larves d'odonates (Société générale d'otonatologie, 2007 <i>in</i> Bouchelaghem, 2008).....	32
Figure 2.9 : Morphologie générale de la planaire (Moisan, 2010).....	33
Figure 2.10 : Morphologie générale des larves d'oligochètes et d'achète (Moisan, 2010).....	34
Figure 2.11 : Morphologie générale des mollusques (Moisan, 2010).....	35
Figure 2.12 : Morphologie générale des larves des crustacés (Moisan, 2010).....	36
Figure 2.13 : Morphologie générale des hydracariens (Moisan, 2010).....	36
Figure 3.1 : Fluctuation de la température moyenne mensuelle selon les stations.....	41
Figure 3.2 : Fluctuation du potentiel hydrogène selon les stations.....	41
Figure 3.3 : Fluctuation de la conductivité électrique selon les stations.....	42
Figure 3.4 : Fluctuation d'oxygène dissous selon les stations.....	42
Figure 3.5 : Fluctuation de la salinité selon les stations.....	43
Figure 3.6 : Fluctuation du potentiel d'oxydoréduction selon les stations.....	43
Figure 3.7 : Fluctuation du total des solides dissouts selon les stations.....	44
Figure 3.8 : Fluctuation de la turbidité selon les stations.....	44
Figure 3.9 : Fluctuation du calcium selon les stations.....	45
Figure 3.10 : Fluctuation de la dureté totale selon les stations.....	45
Figure 3.11 : Fluctuation des chlorures selon les stations.....	46
Figure 3.12 : Fluctuation des sulfates selon les stations.....	46
Figure 3.13 : Fluctuation des nitrates selon les stations.....	47
Figure 3.14 : Fluctuation des nitrites selon les stations.....	47
Figure 3.15 : Fluctuation de l'ammonium selon les stations.....	48
Figure 3.16 : Fluctuation des ortho phosphates selon les stations.....	48
Figure 3.17 : Fluctuation des matières en suspension selon les stations.....	49
Figure 3.18 : Fluctuation des bicarbonates selon les stations.....	49
Figure 3.19 : Abondance de la faune globale des macroinvertébrés dans la zone d'étude.....	51
Figure 3.20 : Richesse taxonomique des stations étudiées.....	51
Figure 3.21 : Abondance relative des groupes faunistiques selon les stations.....	52
Figure 3.22 : Fréquence des macroinvertébrés de Medjez Amar.....	52
Figure 3.23 : Fréquence des macroinvertébrés de Mermoura.....	53

Figure 3.24 : Fréquence des macroinvertébrés de Taya.....	53
Figure 3.25 : Fréquence des macroinvertébrés de Gheraib.....	53
Figure 3.26 : Fréquence des macroinvertébrés d'Oued Zenati.....	54
Figure 3.27 : variation de l'indice de diversité et d'équitabilité selon les stations.....	54
Figure 3.28 : variations de l'indice de Simpson selon les stations.....	55
Figure 3.29 : variations de l'indice de Hill selon les stations.....	55

INDEXDES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Humidité relative mensuelles moyennes à la station de Guelma entre 1994-2018.....	10
Tableau 1.2 : Profil des variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent à la station Météorologique de Guelma (années 1994-2018).....	11
Tableau 2.1 : Détermination de la classe de variété taxinomique.....	39
Tableau 2.2 : Détermination du groupe faunistique indicateur.....	40
Tableau 3.1 : Détermination de la classe de variété taxinomique.....	56
Tableau 3.2 : Détermination du groupe faunistique indicateur.....	56
Tableau 3.3 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Medjez Amar selon l'IBGN.....	57
Tableau 3.4 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Mermoura selon l'IBGN.....	58
Tableau 3.5 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Taya selon l'IBGN.....	59
Tableau 3.6 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Gheraib selon l'IBGN.....	60
Tableau 3.7 : Relevé des macroinvertébrés benthique da la station Oued Zenati selon l'IBGN..	61
Tableau 3.8 : Exemple de classification de la pollution à partir de la valeur de H', dans les habitats sableux/vaseux (d'après Simboura et Zenetos, 2002).....	66
Tableau 3.9 : Appréciation de la qualité des eaux en s'appuyant sur les résultats de l'indice IBGN.....	67
Tableau 4.1 : Résultats des analyses hydro biologiques des eaux de la zone d'étude.....	69

INDEXDES PHOTOGRAPHIES

Photo 2.1: Oued Bouhamdane, station B1 Medjez Amar.....	15
Photo 2.2: Oued Bouhamdane, station B2 Mermoura.....	15
Photo 2.3: Oued Bouhamdane, station B3 Taya.....	16
Photo 2.4: Affluent, station G4 Gheraib.....	17
Photo 2.5: Affluent, station Z5 Oued Zenati.....	17

INDEX DES ANNEXES

Annexe 01. Evaluation des températures mensuelles de la région d'étude (Années 1994-2018).....	79
Annexe 02. Variations mensuelles des précipitations en (mm) (1994-2018).....	79
Annexe 03. Données climatiques (Précipitations et Températures) de Guelma (Années 1994-2018).....	79
Annexe 04. Les normes européennes d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (Oudin et Maupas, 2003).....	80
Annexe 05. Les valeurs de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) selon Afnor, 1992...80	80
Annexe 06. Liste des 138 taxons (extrait de la norme AFNOR T 90-350, 1992).	80

INDEX DES ACRONYMES

ADE : Algérienne des eaux
AEP : Alimentation en eau potable
AFNOR: Association française de normalisation
Ca²⁺: Calcium
CaCO₃ : Carbonate de calcium
Cl⁻: Chlorure
EC : Conductivité électrique
Eh : Potentiel d'oxydoréduction
GPS: Global Positioning System
MDDEP : Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
MES : Matières en suspension
NH₄⁺: Ions d'ammonium
NO₂⁻ : Nitrite
NO₃⁻ : Nitrates
OD : Oxygène dissous
pH : Potentiel hydrogène
PO₄³⁻ : Ortho phosphates
PSU: PracticalSalinity unit.
IBGN : Indice biologique global
MIB : Macroinvertébrés benthiques
NQE : Norme de Qualité Environnementale
RS :Richesse spécifique
SAL : Salinité
SEQ-Eau : Grille du système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau
SO₄⁻ : Sulfates
T : Température
THT : Dureté totale (titre hydrotimétrique total)
TU : Turbidité
TDS : Total des solides dissouts

RÉSUMÉS

Le maintien de la qualité de l'eau est une préoccupation majeure pour une société qui doit subvenir à des besoins en eau de plus en plus importants, et ce, tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Pour accomplir ce travail essentiel, nous disposons aujourd'hui d'outils biologiques et physico-chimiques permettant d'évaluer la qualité des eaux. Pour tenir compte du cadre général d'orientation de la politique de l'eau en région de Guelma (Oued Bouhamdane) et du besoin croissant en information, il paraît primordial de se munir des meilleurs outils possibles et de les adapter à ces nouvelles réalités. Parmi ces outils, nous avons choisi les macroinvertébrés benthiques (MIB), qui s'avèrent de bons indicateurs locaux de la santé des écosystèmes aquatiques et qui sont déjà utilisés dans de nombreux pays, pour estimer l'intégrité biotique du milieu aquatique. Les observations biologiques peuvent apporter un contrôle plus fiable que les analyses chimiques, car elles tiennent compte des effets cumulés passés et présents alors que les résultats chimiques ne sont que ponctuels. Une communauté biologique en équilibre avec son environnement se maintient de façon permanente. Donc toute modification de la composition de la communauté reflète des variations de son environnement. Un indice biotique (IBGN) de qualité des eaux est établi en fonction du nombre d'organismes récoltés et de leur degré de sensibilité à la pollution ainsi nous avons bien évidemment s'intéresser à l'évaluation des indices de diversité sur des données récoltées pour chaque unité spatiale. Au niveau des 5 stations étudiées, notre inventaire faunistique a permis de recenser pendant les 4 mois de prélèvements un total de 34704 individus. Les groupes les mieux représentés sont les Diptères, les Mollusques et les Ephéméroptères. Cette technique à certaines limites trouve un champ d'application sur les cours d'eau peu profonds. De plus, elle mesure essentiellement l'impact de pollutions domestiques, d'établissements agricoles, d'industries alimentaires ...

L'objectif de l'étude est, tout d'abord, de rendre compte de la qualité physicochimique et biologique du réseau hydrographique d'oued Bouhamdane et ses affluents. Dans un premier temps, les résultats des prélèvements physico-chimiques sont analysés au fil de l'eau par altération (à l'échelle du cours d'eau). Dans un second temps, une interprétation des résultats des I.B.G.N. permet d'apprécier la qualité biologique des différents rus. En conclusion, l'impact des différents affluents sera analysé pour chaque type d'altération de la qualité de l'eau, au débouché des deux affluents sur le Bouhamdane.

Mots-clés : Echantillonnage, macroinvertébrés benthiques, qualité de l'eau, caractérisation des habitats, Bouhamdane, Bassin Seybouse.

ABSTRACT

Maintaining water quality is a major concern for a society that must meet growing water needs, both quantitatively and qualitatively. To accomplish this essential work, we now have biological and physicochemical tools to assess water quality. Taking into consideration the general guiding framework of water policy in the Guelma region (Oued Bouhamdane) and the growing need for information, it seems essential to have the best possible tools and adapt them to these new realities. Among these tools, we chose benthic macro invertebrates (BMI), which are good local indicators of the health of aquatic ecosystems and are already used in many countries, to estimate the biotic integrity of the aquatic environment. Biological observations can provide more reliable control than chemical analyses because they account for past and present cumulative effects while chemical results are only punctual. A biological community in balance with its environment is permanently maintained. Therefore, any change in the composition of the community reflects variations in its environment. A Standardized Global Biological Index (IBGN) of water quality is established according to the number of organisms harvested and their degree of sensitivity to pollution, so we obviously have to be interested in the evaluation of diversity indices on data collected for each space unit. At the level of the 5 stations studied, our faunistic inventory made it possible to count during the 4 months of samplings a total of 34704 individuals. The best-represented groups are Diptera, Molluscs and Ephemeroptera. This technique with certain limits finds a field of application on the shallow streams. In addition, it essentially measures the impact of domestic pollution, agricultural establishments, food industries...

The objective of the study is, first of all, to report on the physicochemical and biological quality of the Bouhamdane wadi hydrographic network and its tributaries. As a first step, the results of the physicochemical samples are analysed along the water by alteration (at the scale of the watercourse). In a second step, an interpretation of the results of I.B.G.N. allows to appreciate the biological quality of different stream. In conclusion, the impact of the different tributaries will be analysed for each type of alteration of the water quality, at the outlet of the two tributaries on the Bouhamdane.

Keywords: Sampling, benthic macroinvertebrates, water quality, habitat characterization, Bouhamdane, Seybouse Basin.

ملخص:

تعد المحافظة على جودة المياه مصدر قلق كبير للمجتمع الذي يجب أن يلبي الاحتياجات المائية المتزايدة، من الناحية الكمية والنوعية. لإنجاز هذا العمل الأساسي، لدينا أدوات بيولوجية، كيميائية وفيزيائية لتقييم جودة المياه. لمراعاة الإطار التوجيهي العام لسياسة المياه في منطقة قالمة (واد بوحمدان) والحاجة المتزايدة إلى المعلومات، يبدو من الضروري امتلاك أفضل الأدوات الممكنة وتكييفها مع هذه الحقائق الجديدة. من بين هذه الأدوات، اخترنا اللاقاريات القاعية (MIB) ، والتي هي مؤشرات محلية جيدة لصحة النظم الإيكولوجية المائية وتستخدم بالفعل في العديد من البلدان لتقدير السلامة الحيوية للبيئة المائية. يمكن للراصدا البيولوجية أن توفر تحكماً أكثر موثوقية من التحليلات الكيميائية لأنها تفسر الآثار التراكمية السابقة والحالية، بينما تكون النتائج الكيميائية دقيقة فقط. يكون المجتمع البيولوجي متوازن مع بيئته بشكل دائم. لذلك أي تغيير في تكوين المجتمع يعكس الاختلافات في بيئته. يتموضع مؤشر حيوي (IBGN) لجودة المياه بناءً على عدد الكائنات الحية التي يتم حصادها ودرجة حساسيتها للتلوث، لذلك من الواضح أننا مهتمون بتقييم مؤشرات التنوع على البيانات التي يتم جمعها لكل وحدة مكانية. على مستوى المحطات الخمس التي تمت دراستها خلال 4 أشهر من أخذ العينات جمعنا 34704 فرداً. أفضل المجموعات الممثلة هي ذوات الجناحين، متغيرات الأجنحة والرخويات وهذه التقنية لها حدود معينة ويمكن تطبيقها على الجداول الضحلة. بالإضافة إلى ذلك فإنه يقيس تأثير التلوث المنزلي، المؤسسات الزراعية والصناعات الغذائية....

تهدف الدراسة أولاً وقبل كل شيء إلى تقديم تقرير عن الجودة الفيزيائية والبيولوجية لشبكة وادي بوحمدان الهيدروغرافية وروافدها، وفي خطوة أولى، يتم تحليل نتائج أخذ العينات الفيزيائية والكيميائية على تغيير الماء (على مقياس المجرى المائي). في الخطوة الثانية، تفسير لنتائج (IBGN). يسمح بتقدير الجودة البيولوجية لمختلف الجداول. في الختام، سيتم تحليل تأثير الروافد المختلفة لكل نوع من أنواع تغيير نوعية المياه، عند مخرج الروافد على بوحمدان

الكلمات المفتاحية: اللاقاريات القاعية ، نوعية المياه ، أخذ العينات ، توصيف الموائل ، النظم الإيكولوجية المائية ، بوحمدان ، حوض سيبوس.



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

1. Problématique

L'évaluation de la qualité des cours d'eau repose à la fois sur l'analyse physico-chimique de l'eau et des sédiments, sur l'analyse biologique de ces écosystèmes, sur la morphologie et l'hydrologie des cours d'eau. Ces approches sont complémentaires et indispensables.

Pendant longtemps l'accent a été mis sur la qualité physico-chimique de l'eau, qui permet de mettre en évidence des pollutions, que l'on compare par la suite à des normes ou des critères de qualité éprouvés. Cette approche ne suffit pas pour dire si un cours d'eau est en bon état fonctionnel ou pas ; en effet, tout ce qui constitue le milieu physique ou l'habitat (berges, lit), les zones humides annexes contribue également au bon fonctionnement des cours d'eau. Cette approche a ses limites, car elle peut prédire un impact alors qu'il n'y en a pas, ou bien ne pas prédire d'impact alors qu'il y a eu un. Selon une étude américaine (Thomas, 1993), cela peut se produire dans respectivement 36 % et 6 % des cas. L'approche traditionnelle peut être avantageusement complétée par un suivi biologique qui consiste à utiliser des organismes vivants, par exemple des microorganismes, des plantes ou des animaux, afin de mesurer les effets de la pollution de l'eau. Ainsi, le suivi biologique tient compte des effets combinés des produits chimiques, de l'effet des pics de contamination ainsi que de l'impact des perturbations écologiques comme l'eutrophisation, la présence d'espèces exotiques ou, encore, la dégradation des habitats.

La démarche biologique ou biocénotique vient compléter l'évaluation en permettant d'identifier ces mêmes perturbations par leurs effets sur les communautés animales et végétales ; afin de donner un aperçu des conditions et des pressions environnementales. Différents groupes d'espèces ont servi à de telles évaluations, bien que l'un des groupes les plus utiles demeure celui des macroinvertébrés benthiques. Les invertébrés benthiques sont de petits animaux, visibles à l'œil nu, ne possédant pas de colonne vertébrale et habitant le fond des lacs et des cours d'eau. Ils comprennent des organismes comme les crevettes, les vers, les écrevisses, les escargots d'eau, les moules et le stade aquatique de plusieurs larves d'insectes comme les libellules, les éphéméroptères, les trichoptères ou les diptères (moustique, mouche noire), qui sont sensibles aux modifications de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques.

Historiquement, les communautés de macroinvertébrés aquatiques ont été utilisées dès les années 1960 pour évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau. Cette approche s'est ensuite raffinée de manière à mieux tenir compte des communautés de macroinvertébrés, en observant le nombre d'espèces (diversité) et les espèces présentes (composition), puis en comparant des sites perturbés

(sites d'essai) avec des sites de référence, ces derniers étant peu ou pas perturbés par les activités humaines, dans le but d'établir des critères d'évaluation biologique.

L'évolution au fil du temps des méthodes basées sur les invertébrés repose principalement sur les questions d'échantillonnage et de référentiel. La première méthode française est celle des « indices biotiques » proposée en 1967 par Verneaux & Tufféry et inspiré de travaux anglais. Cette approche a évolué en Indice Biologique de Qualité Générale (IBG), qui a fait l'objet d'une norme expérimentale en 1985, puis à une norme homologuée intitulée IBGN en 1992 qui a été révisée en 2004. L'I2M2 (Indice Invertébrés Multi-Métrique, 2012) représente la dernière évolution de ces approches.

2. Portrait de la situation

Une étude des effets des facteurs environnementaux sur les communautés benthiques d'eau douce a été menée sur le cours d'eau de Bouhamdane au printemps de 2019 pour la période du mois de février jusqu'au mois d'avril. L'installation des cinq stations, situées le long du cours d'eau dont deux localisées plus en amont sur les affluents de la rive gauche et celle de droite, a été faite en tenant compte des types de sédiments et, qui font l'objet d'un échantillonnage mi mensuel. Un des principaux objectifs consistait à déterminer l'impact des ruisseaux drainant les terres agricoles environnantes sur la faune benthique de Bouhamdane.

Les communautés de macroinvertébrés benthiques sont les plus utilisées pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Hellowell, 1986 ; Barbour *et al.*, 1999 ; WFD, 2003). Ce sont des organismes visibles à l'œil nu, tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers, qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs.

3. Pourquoi utiliser les macroinvertébrés benthiques ?

Les macroinvertébrés sont sensibles aux changements physico-chimiques d'un cours d'eau. Normalement, dans un cours d'eau en santé, une plus grande diversité de macroinvertébrés benthiques est observée que dans un cours d'eau perturbé. Chaque organisme a également ses préférences quant aux conditions qui prévalent dans la rivière. En observant la diversité et l'abondance des divers macroinvertébrés benthiques des communautés, nous obtenons de l'information sur l'état de santé d'un cours d'eau et de son environnement immédiat.

Parmi les bioindicateurs utilisés pour indiquer l'état de santé des cours d'eau, les macroinvertébrés sont les plus utilisés, et ce, pour plusieurs raisons :

- ils sont omniprésents et faciles à récolter en grand nombre
- ils ont une réaction rapide face aux changements environnementaux
- ils sont relativement sédentaires
- il y a un grand nombre d'espèces
- la gamme de sensibilité aux stress environnementaux varie selon le groupe taxonomique
- ils reflètent les altérations de la qualité de l'eau et du substrat
- la récolte ne compromet pas l'intégrité des communautés 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 dès les années 1960 en raison de leur sédentarité, de leur caractère ubiquiste de la répartition à différentes échelles spatiales et temporelles et de leur cycle de vie varié, de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat et de leur grande diversité avec au moins 150 familles, 700 genres et 4400 espèces. 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. Des espèces à forte valeur patrimoniale et faciles à récolter. L'occupation de plusieurs niveaux trophiques et un rôle fonctionnel important au sein de l'écosystème. De plus, l'habitat est le premier élément structurant les communautés de macroinvertébrés benthiques, il est nécessaire de le décrire et d'en évaluer la qualité. Genin *et al.* (1997) mentionnent que le peuplement biologique d'un secteur de cours d'eau dépend d'abord des capacités naturelles de ce secteur et secondairement, des détériorations ayant pu modifier l'eau, substrat, etc. Il importe donc d'avoir une bonne connaissance du milieu et de la communauté de macroinvertébrés benthiques pour comprendre les liens les unissant.

En Afrique du Nord les études hydrobiologiques se sont multipliées ces dernières années. Nous citons les travaux de Pihan et Mohati (1948), Berthelemy (1973), Arab et Zebdi (1983), Gagneur *et al.* (1985), Boumaiza & Clergue-Gazeau (1986), Boumaiza & Thomas (1986), Malicky & Lounaci (1987), Bouzidi & Giudicelli (1987), Ait Mouloud (1988), Gagneur & Thomas (1988), Gagneur & Aliane (1991), Clergue-Gazeau *et al.* (1991), Moubayed *et al.* (1992), Boumaiza & Thomas (1995), Zouakh (1995), Thomas (1998), Vaillant & Gagneur (1998), Samraoui et Menai (1999), Mebarki (2001), Arab (2004), Lounaci et Vinçon (2005), Lounaci (2005), Moubayed *et al.* (2007), Haouchine (2011), Chaib *et al.* (2011), Chaib *et al.* (2013).

Cette synthèse s'insère dans la recherche d'indicateurs permettant de mettre en relation perturbation des écosystèmes et structures benthiques, problématique actuellement en plein essor notamment sous l'impulsion des pays développés.

Le manuscrit que nous proposons s'organise de la façon suivante :

Un premier chapitre présente les caractéristiques générales de la région d'étude : la situation géographique, géologie, climatologie, perturbations anthropiques et enfin la description des habitats en tant que terrain d'échantillonnage de la macrofaune benthique; Le second chapitre traite les caractéristiques des stations d'étude ainsi que les méthodes et techniques mises en œuvre pour un échantillonnage représentatif; Le troisième chapitre qui représente la majeure partie de ce travail est consacré à l'étude de la faune benthique :

- Analyse globale de la faune ;
- Analyse qualitative et quantitative de la faune ;

Évaluation de la qualité de l'eau par les voies physico-chimiques et biologiques.

Ce dernier expose les résultats obtenus à l'échelle locale et permet de discuter l'ensemble des travaux effectués dans cette étude.

En conclusion cette première approche permet de formuler des hypothèses sur les variations spatiotemporelles des fonctionnalités d'un cours d'eau. Celles-ci doivent être vérifiées par des études plus poussées. Une stratégie d'échantillonnage répliquable et standardisée des peuplements benthiques, d'un cours d'eau est proposée.



CHAPITRE 1

CARACTERISTIQUES GENERALES

DE LA REGION D'ETUDE

1.1. Caractéristiques physique du milieu

1.1.1. Situation et cadre géographique

La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471km². Il possède trois parties bien différentes : (i) les hautes plaines (Haute Seybouse), (ii) le tell méridional (Moyenne Seybouse) et (iii) le tell septentrional (Basse Seybouse). Le tell méridional en fait la zone d'étude.

L'Oued Seybouse draine un bassin versant de 6471 Km² (Ghachi A., 1986), l'un des plus grands bassins hydrographiques en Algérie, Les limites méridionales du bassin sont à 160 km de la mer à vol d'oiseau jusqu'aux confins de l'Atlas Saharien.

1.1.2. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin de la Seybouse possède un régime hydrologique de type pluvial, fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année avec un chevelu hydrologique de plus de (3.000Km). Quarante-deux oueds ont une longueur supérieure à 10 Km, dont deux : le Cherf (88,61 Km), et le Bouhamdane (37,49Km), se réunissent à Medjez Amar pour donner naissance à l'oued Seybouse(134,74Km), ce dernier plonge régulièrement pour s'envoyer dans la plaine alluviale de Guelma puisil serpente vers le Nord en parcourant la basse plaine d'Annaba, souvent inondée au moment des crues, avant de se jeter dans la baie d'Annaba par l'estuaire de Sidi Salem.

La très grande diversité, lithologique entraîne obligatoirement des conséquences, sur la stabilité du comportement hydrologique.

L'Oued Bouhamdane prend sa source dans les massifs d'Ain Abid (Constantine), à 980 m d'altitude qui devient oued Zenati dans son cours supérieur. Après un parcours de 52,40 kilomètres globalement orienté sud-nord, le Bouhamdane reçoit oued Gheraib en rive gauche à la sortie ouest du chef-lieu de Bordj Sabbat, à 518 mètres d'altitude. Au niveau de cette confluence, qui constitue la limite aval des Oueds Gheraib et Zenati, le Bouhamdane draine une surface de 1136 km², son apport est de 96 millions m³/an à la station de Medjez Amar II. L'ensemble du réseau représente 100 km de cours d'eau permanents auxquels s'ajoutent jusqu'à 75 km de cours d'eau temporaires. Une grande partie de cette zone est constituée d'argiles rouges Numidiennes sur lesquelles reposent des grès peu perméables. Les sources y sont nombreuses mais tarissent en été. Cette zone connaît une faible perméabilité en dépit d'une pluviométrie relativement importante. Cependant, sur les calcaires crétacés inférieurs des Djebels Debagh et Taya, l'infiltration est probablement importante. Dans la vallée de l'Oued Bouhamdane s'élève la station thermale et climatique, l'une des plus connues d'Afrique du nord. Son climat,

particulièrement doux et tonique d'octobre à juin, sur le plateau situé en amont de la « cascade » jaillissent une multitude de sources thermales aux propriétés variées dont le débit journalier est de 48.000 m³ et dont la température atteignant 95 °C est, après celle des geysers d'Islande dépassant 100°C. Ces eaux surtout sulfureuses et sulfatées calciques dégagent des colonnes de vapeur d'une forte odeur d'hydrogène sulfuré et déposent, dans les petits canaux dans lesquels elles s'écoulent, des paillettes de soufre naissant. au fond de la vaste dépression géologique où il se trouve, par le Djebel-Debar, qui dresse au nord, à près de 1100 mètres de hauteur, son échine pelée, par la Mahouna, au sud-est, et par le Ras-El-Akba au sud, enfin, au nord-est, par les crêtes élevées du Djebel-Taya.

Le réseau hydrographique est de type pluvial, marqué par une dissymétrie importante : la majorité des affluents proviennent de la rive droite, le chevelu en rive gauche est peu dense et constitué de cours d'eau de faible extension. La principale particularité des cours d'eau de cette région consiste dans l'irrégularité de leur débit, à régime intermittent, caractère commun de la plupart des Oueds algériens. (Bouchelaghem, 2017).

Oued Bouhamdane est un affluent principal d'Oued Seybouse avec Oued Cherf, qui se rejoignent à la confluence de Medjez-Amar donnant naissance à Oued Seybouse, ce dernier coule en direction du nord depuis Bouchegouf ; et se jette dans la Méditerranée par l'estuaire de Sidi Salem à Annaba, c'est un des plus grands oueds d'Algérie, avec un débit annuel de 500 millions de m³. Le barrage de Hammam Debagh sur Oued Bouhamdane d'une capacité de 220 hm³ est destiné à :

- L'irrigation des plaines de : Guelma, Bouchegouf sur 9.600 hm³ ;
- L'alimentation en eau potable (AEP), régions de Guelma, Hammam Debagh, Roknia et Oued Zenati.

1.1.3. Contexte géologique

1.1.3.1. Structure géomorphologique

L'étude géologique et pédologique menée par (Blayac, 1912), a permis de dresser un travail très documenté, très soigné, excellente base documentaire bien réintégrée dans son contexte chronologique et écologique, sur l'état général de la région d'étude, l'auteur au vu de récurrences certaines, signale qu'à l'exception des hauteurs granitiques de la chaîne numidique des montagnes de Debagh et Taya, la pédologie de la région de Guelma est surtout marquée par l'affleurement sur les plus grands espaces des calcaires, travertins et marnes, et on en distingue de l'amont à l'aval :

Au-delà, toujours à l'ouest, le bassin de la Seybouse est jalonné par la chaîne numidique dont l'axe dirigé Est-Ouest, comme les monts Taya et Debar, le côté Nord de cette chaîne dépend du lac Fetzara ; le côté Sud, de l'oued Bouhamdane, le plus important affluent de la Seybouse après le Cherf. Au niveau du bassin de la Seybouse, Le territoire est ainsi divisé en trois terrasses physiographiques bien distinctes :

1. Celle des Hautes plaines (Haute Seybouse) ; qui comprend le sous – bassin appelé 14-01.
2. Celle du tell méridional (Moyenne Seybouse), qui commence au Moulin Rochefort, qui s'est noyé après la mise en eau des terrains submergés, du barrage de Foum El Khanga, point où l'oued Cherf pénètre dans le Tell, et qui finit à Medjez Amar où cette oued devient alors la Seybouse proprement dite ; couvrant les Sous- bassins : 14-02 - 14-03 – 14 – 04 et 14-05.
3. Celle du tell septentrional (Basse Seybouse), entre Bouchegouf et Annaba, à travers laquelle l'oued garde le nom de Seybouse, qui appartient au Sous bassin 14-06 (Bouchelaghem,2008).

1.1.4. Occupation du sol

1.1.4.1. L'influence de l'agriculture intensive sur la qualité des eaux souterraines

Au cours de ces dernières années, l'agriculture a complètement évolué et le paysage rural sur la région d'étude s'est profondément modifié. Cette modification pose de nombreux problèmes dans la gestion de l'eau. L'irrigation peut, en période d'étiage, assécher les oueds dans les secteurs les plus sensibles, provoquant ainsi des dégâts considérables sur toute vie aquatique. L'agriculture serait responsable de la 2/3 des rejets azotés et produirait, via les déjections animales et les engrais, 22% de la pollution par le phosphore.

La contamination par les phytosanitaires est très importante. La Politique Agricole Commune a provoqué une nouvelle baisse des prix de 20 % qui devrait inciter à produire encore plus sur un minimum de surface. Enfin, les exigences de qualité toujours plus grandes des industriels de l'agroalimentaire obligent à forcer la nature. Plus question désormais de vendre des légumes qui n'ont pas un bel aspect. Si bien qu'aujourd'hui, on arrose systématiquement jusqu'aux pommes de terre pour qu'elles atteignent une taille standardisée pour la fabrication de chips et frites industrielles. L'eau est devenue le facteur essentiel de rentabilité de nombreuses exploitations. Sur l'aire d'étude, les surfaces irriguées représentent autour de quelques 200 hectares d'après les résultats obtenus auprès de la Sub division Agricole de Hammam Debagh. Un hectare irrigué "boit" environ 1000 m³ par an, mais on serait bien en peine d'en déduire la consommation exacte d'eau de l'agriculture.

1.1.5. Les conditions climatiques et hydrologiques

La détermination du climat s'effectue généralement à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques, annuelles et mensuelles, sur des données atmosphériques locales de séries vingténaires ou plus : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Ces paramètres vont influencer directement les cycles de l'eau, biologiques, du carbone et de l'azote, décrits ultérieurement.

En influençant la croissance des végétaux, et donc l'absorption racinaire, le climat va influencer le cycle de l'azote. Il va également, notamment via les précipitations, influencer de façon significative la percolation de l'eau dans le sol et donc le transport des fertilisants et substances phytosanitaires dans le sol.

Une station météorologique principale fonctionne à Belkheir à 3km au nord-est de la ville de Guelma. Nous avons eu la chance de pouvoir nous procurer gracieusement une chronique de vingt-cinq années consécutives (1994-2018).

Pour caractériser écologiquement le climat de la région d'étude, nous avons eu recours, pour tous les indicateurs climatiques, à l'étude de variables simples, appuyée sur les moyennes et les valeurs extrêmes. Les moyennes donnent une image lissée de la réalité. C'est tout particulièrement le cas pour les températures auxquelles est soumise la région. Mais, comme l'a souligné Daget (1967), à l'intérieur d'un même régime thermique, les moyennes mensuelles et annuelles intègrent les températures vraies, ce qui permet de justifier leur emploi.

1.1.5.1. Régime des précipitations

Les précipitations moyennes annuelles établies sur un grand nombre d'année (1994-2018) s'élèvent à 596,58 mm, mais les valeurs annuelles varient de 309,90 mm l'an (2017) à 938,50 mm (en 2003) (Fig. 1.1). C'est dire si les fluctuations sont fortes d'une année sur l'autre. L'écart type standard atteint 85,26 mm et l'écart moyen arithmétique 69,66 mm, l'an (2003).

Sur 25 années complètes d'observation, la région de Guelma a connu cinq années très arrosées ($P. > 700$ mm), cinq années arrosées ($700 > P. > 600$ mm), neuf années moyennement arrosées ($600 > P. > 500$ mm), cinq années moyennement sèches ($500 > P. > 400$ mm) et une année sèches ($P. < 400$ mm).

Les précipitations tombent surtout de septembre à mai, période qui connaît de 36 à 91 jours de pluie selon les années.

En moyenne, décembre et janvier reçoivent les précipitations les plus abondantes : 69,16 et 92,13 mm respectivement. Février vient en troisième position, avec 68,69 mm seulement. À l'opposé, juin (14,52 mm) et juillet (4,50 mm) sont très secs.

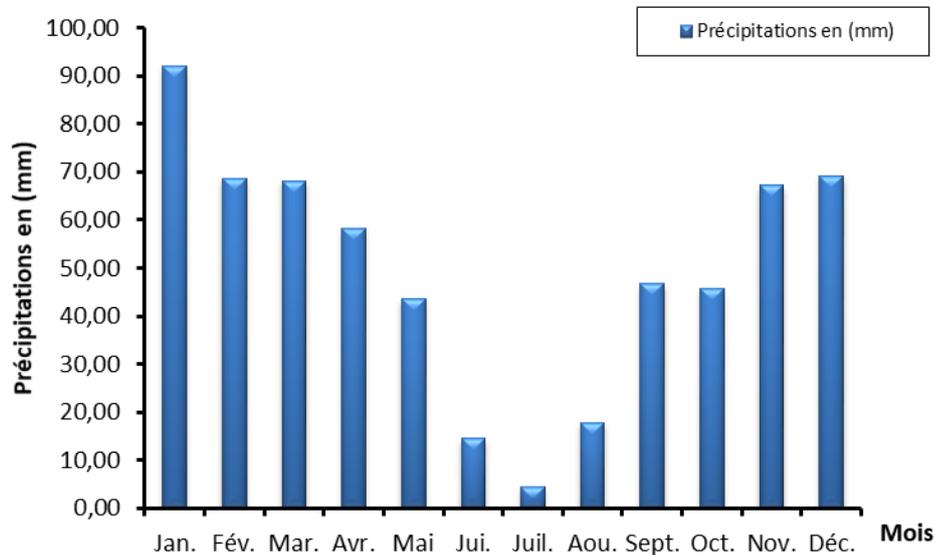


Figure 1.1: Variations mensuelles des précipitations (mm), années 1994-2018

1.1.5.2. Les températures

La température moyenne annuelle est de 18,22°C, avec une moyenne des minima journaliers de 8,93 °C et une moyenne des maxima journaliers de 28,63°C.

À l'échelle mensuelle, les températures moyennes sont comprises entre 9,81°C en janvier et 26,48°C en juillet. Les valeurs moyennes des minima journaliers vont de 1,86 °C en janvier à 17,60°C en août et celles des maxima journaliers de 18,80 °C en janvier à 39,81°C en mois d'août(Fig. 1.2).

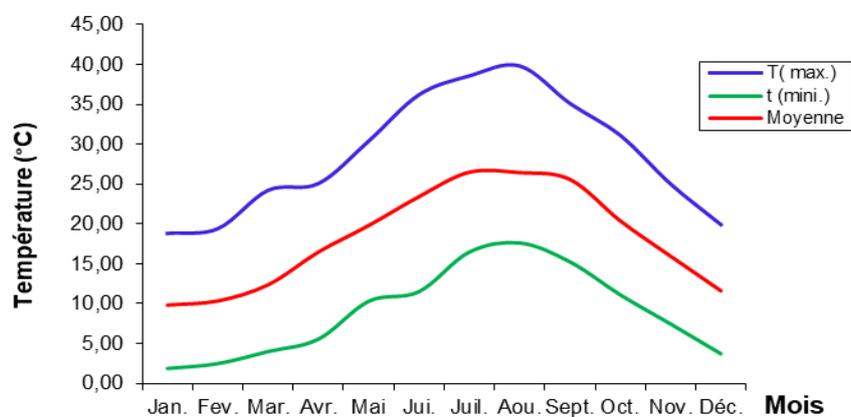


Figure 1.2 : Courbe d'évaluation des températures à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2018)

1.1.5.3. Humidité relative

La valeur annuelle moyenne de l'humidité relative avoisine 68,85 % seulement. De ce fait, les valeurs les plus faibles du degré hygrométrique de l'ordre de (55,01 et 56,80 %) sont observées pendant les mois les plus chauds en juillet et août respectivement, alors que les valeurs les plus fortes (>75 %) le sont en mois de janvier, février et en décembre (Tab. 1.1).

Tableau 1.1: Humidité relative mensuelles moyennes à la station de Guelmaentre 1994-2018

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jui.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
H.R (%)	76,95	75,59	74,08	72,75	68,30	60,50	55,01	56,80	66,58	70,33	73,10	76,24

La figure 1.3 montre que l'humidité relative est élevée durant les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février et mars, alors qu'elle est faible pendant les mois les plus chauds, Juin, Juillet et Août.

La région de Guelma présente donc une faible humidité relative, avec une moyenne maximale de 76,95% pour le mois de janvier et une moyenne minimale de 55,01% en Juillet.

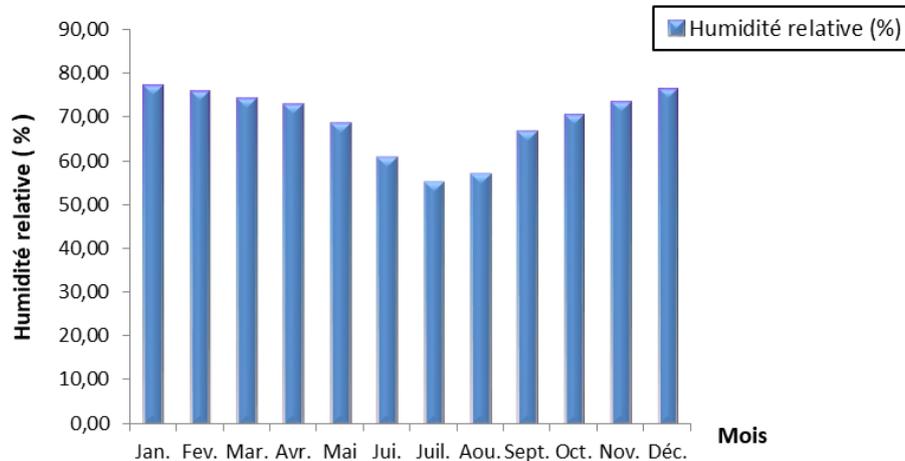


Figure 1.3 : Evaluation mensuelle des humidités relatives à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2018)

1.1.5.4. Vent

Les données de vent de surface disponibles sont obtenues à partir des relevés des années (1994 à 2018) obtenus auprès de la Station Météorologique de Guelma (Tab. 1.2).

La figure 1.4 montre l'évolution saisonnière de la vitesse du vent, à partir de moyennes mensuelles sur la région de Guelma. On constate l'existence d'un signal saisonnier important

dans la saison estivale défini par un maximum aux mois d'août $2,61 \text{ m s}^{-1}$ et un minimum en mois d'octobre $1,41 \text{ m s}^{-1}$. L'insuffisance des observations réalisées sur la même période de l'aire d'étude relative à la vitesse du vent maximale, ne permet cependant pas d'atteindre une description fine de la fréquence des variations du vent.

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jui.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	1,80	1,92	1,88	1,89	1,77	1,89	1,86	2,61	1,60	1,41	1,74	1,72

Tableau 1.2 : Profil des variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2018)

Les intensités de vent (Fig. 1.4) s'étendent de $1,6$ à $2,3 \text{ m s}^{-1}$, Les vents sont forts en mois de décembre et mars, puis se réduisent progressivement jusqu'en mois de novembre où leur force est minimale. Leur intensité s'accroît ensuite jusqu'en mois de janvier avant de diminuer à nouveau.

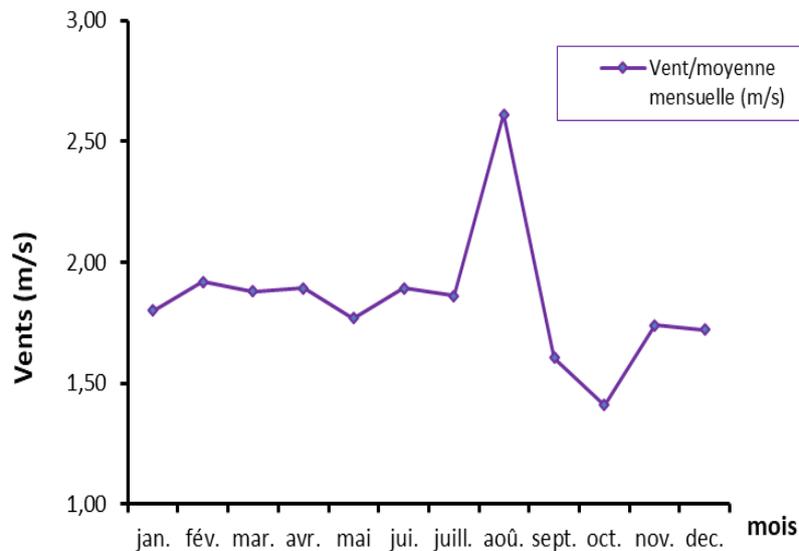


Figure 1.4 : Variations moyenne mensuelle de la vitesse de vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2018)

1.1.5.5. Relations entre la température et la précipitation

1.1.5.5.1. Diagramme de Bagnouls et Gaussien (1957)

Sur un graphique, on porte :

- En abscisses : les mois de l'année (en commençant par ceux qui ont des jours courts : Janvier pour l'hémisphère nord, juillet pour l'hémisphère sud)

- En ordonnées :
 - ◀ à gauche, les précipitations mensuelles P (en millimètres)
 - ◀ à droite, les températures moyennes T (en °C) à une échelle double de celle des précipitations. On trace la courbe thermique (courbe joignant les points des températures mensuelles) et la courbe ombrique (courbe joignant les points des hauteurs d mensuelles). Quand la courbe ombrique passe sous la courbe thermique, on a $P < 2T$. La surface de croisement indique alors la durée et l'importance de la période sèche telle qu'a été définie (Fig. 1.5) et qui servira à l'établissement de l'indice xérothermique. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 6 mois, elle commence de la fin avril jusqu'à début novembre.

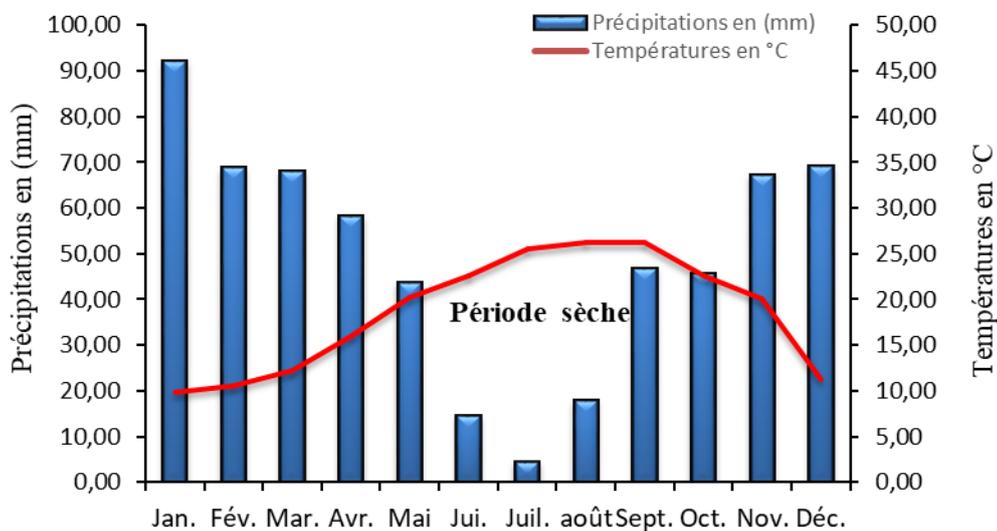


Figure 1.5 : Diagramme de Bagnouls et Gausson(1957) à la station météorologique de Guelma (1994 –2018)

1.1.5.5.2. Quotient pluviométriques et étages bioclimatiques d'Emberger :

Le quotient pluviométrique ou indice climatique proposé par Emberger (1971a) sert à définir les cinq différents types de climats méditerranéens, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne, climats que seul le Maroc dans la région méditerranéenne, possède en totalité.

Les limites de séparation entre les différents étages bioclimatiques restent encore imprécises. Il est à signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transitions de végétation mixte. Les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé.

Le quotient d'Emberger est spécifique du climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Pour identifier le type du climat nous avons fait appel au quotient

pluviométrique d'Emberger qui se base sur le régime des précipitations et des températures selon la formule suivante :

En appliquant la formule suivante élaborée par Stewart pour l'Algérie et le Maroc, soit :

$$Q_2 = 3.43 (P/M-m) \text{ (Stewart, 1968).}$$

- Q: le quotient pluviométrique d'Emberger
- P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm : 596,58
- M: Moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C : 39,81
- m: Moyenne des minima du mois le plus froid en °C Avec : 1.86où (M-m = 37.95)

Notre région (Guelma) présente un $Q_2 = 53.92$ ce qui la classe dans l'étage bioclimatique à végétation semi-aride à hiver frais. (Fig. 1.6).

Le Q_2 est inversement proportionnel à l'aridité, ce climagramme nous permet de déterminer les étages bioclimatiques et les variantes thermiques, c'est ainsi que notre zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à variante thermique à hiver frais (Fig. 1.6).

Emberger a précisé 4 étages bioclimatiques :

humide, sub-humide, semi-aride, aride,

et 4 variant thermiques :

A hiver froid : $m < 0^\circ\text{C}$

A hiver frais : $0 < m < 3^\circ\text{C}$

A hiver doux ou tempéré: $3 < m < 5^\circ\text{C}$.

A hiver chaud $m > 7^\circ\text{C}$.

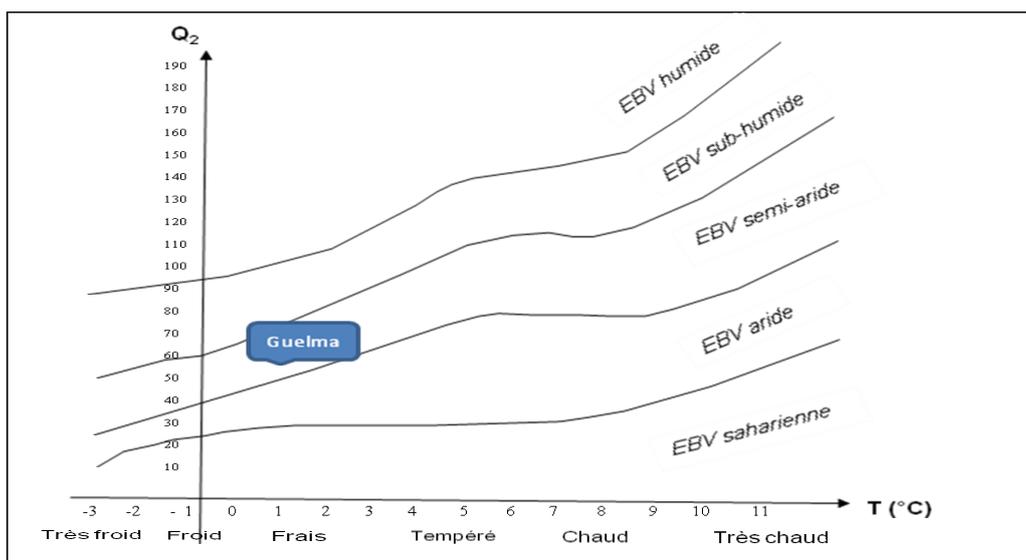


Figure 1.6 : Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1994-2018).



CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES

2. 1 Méthodologie

2.1.1 Démarche générale

Pour la réalisation de cette étude, cinq stations ont été prospectées sur le Bouhamdane de l'amont vers l'aval (fig. 2.1). Le choix de ces stations repose sur leur situation par rapport aux agglomérations, aux sources de pollution et sur leur accessibilité. Dans un contexte de restitution de la continuité écologique des cours d'eau. Afin de pouvoir mesurer l'impact des activités anthropiques sur la qualité biologique du cours d'eau, quatre prélèvements ont été exécutés pour la réalisation d'IBGN sur ces sites, aux dates suivantes : 20/02/2019 ; 06/03/2019 ; 12/04/2019 et 02/05/2019. Le présent document présente les campagnes de prélèvements ainsi que les résultats obtenus lors de ces campagnes.

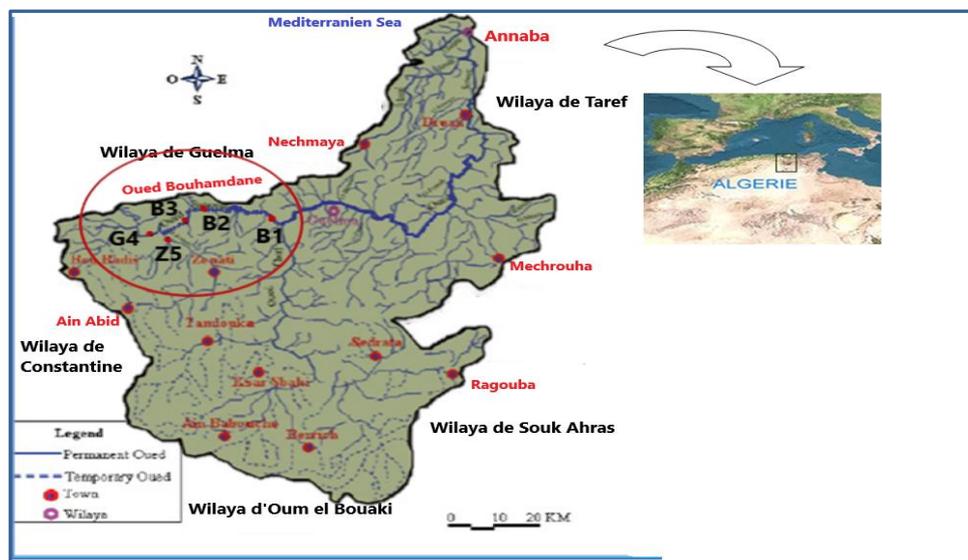


Figure 2.1 : Localisation des stations de prélèvement sur le cours d'eau de Bouhamdane et ses affluents

2.1.2 Caractéristiques des stations d'étude

▪ Station B1 : Medjez Amar

Ce site constitue notre première station sur l'oued Bouhamdane (N 36° 26'51'' E 7°17'2'') à 260m d'altitude. La station se situe à 5 km de l'aval de Bouhamdane, à proximité du village de Medjez Amar dans une vallée ombragée par des bandes de ripisylves boisées ; profondeur entre 25 à 50 cm ; largeur moyenne entre 10 à 12 m, la vitesse d'écoulement d'eau moyenne est estimée 1.65 m/s. Quant au substrat il est formé de galets. La végétation aquatique est peu abondante, formée d'algues filamenteuses. La végétation des rives est peu abondante, formée de *Juncus sp.*, de *Typha sp.*, de *Tamarix sp.*, de *Pistacia lentiscus*, *Nerium oleander*, *Olea europaea*, *Ricinus communis*, *Ziziphus spina-christi*, *Rumex obtusifolius*, et *Arctium lappa*. La station est située au sein d'une zone d'influence agricole relativement importante.



Photo 2.1: Oued Bouhamdane, station B1 Medjez Amar.

▪ Station B2 : Mermoura

La station B2 est un cours d'eau au profil montagnard assez pentu se situe près d'un pont routier au pied de la montagne Mermoura ; (N 36° 28'16'' E 7° 8'32''), située à 370 m d'altitude ; profondeur entre 35 à 77 cm ; largeur entre 23 à 25 m et la vitesse d'écoulement d'eau obtenue est de 1.27 m/s. Le substrat est formé de blocs semi-émergés, de galets, de cailloux de différentes tailles et de sable grossier sur les rives. L'ensemble est recouvert d'une enveloppe végétale formée essentiellement d'algues filamenteuses. La végétation des rives est formée de *Juncus sp.*, de *Typha sp.*, de *Tamarix sp.*, de *Pistacia lentiscus*, *Nerium oleander*, *Olea europaea* ; *Rumex obtusifolius* et *Arctium lappa*. La station est située au sein d'une zone d'influence agricole relativement importante (Bouchelaghem, 2016). En aval de cette station l'eau est captée dans un barrage pour alimenter la ville de Guelma et ses parages en eau potable et d'irrigation.



Photo 2.2 : Oued Bouhamdane, station B2 Mermoura.

▪ Station B3 : Taya

Se trouve immédiatement en amont du village de Taya où on observe des rejets d'eaux usées et une odeur nauséabonde, près d'un pont routier qui mène à la montagne Bouarbide non loin de notre lieu d'étude (N 36° 27'58'', E 7° 6'34'') à une altitude de 390 m ; profondeur entre 25 à 80cm ; largeur entre 29 à 80 m, la vitesse d'écoulement d'eau aborde les 1.35 m/s. Dans cette zone, les formations végétales se développent le long des berges des cours d'eau : *Juncus sp*, *Nerium oleander*, *eucalyptus*, *Tamarix sp*, *Olea europaea*, *Pistacia lentiscus*, *Sonchus oleraceus*, *Rumex obtusifolius*, et *Arctium lappa*. Le lit est constitué de blocs de pierres semi émergés ; de galets et de cailloux dont certains sont recouverts de périphyton et de quelques algues filamenteuses.



Photo 2.3: Oued Bouhamdane, station B3 Taya.

▪ Station G4 : Gheraib

Se situe en aval d'oued Gheraiben amont de la confluence du cours principal, affluent de la rive gauche de Bouhamdane, relativement éloignée de la station précédente, entouré de champs d'agrumes et de grenadiers. Cette station est localisée à quelque km après le village de Bordj Sabat (N 36° 21'04'' E 7° 2'16'') à une altitude 520 m ; profondeur entre 20 à 45cm ; largeur entre 9 à 11 m, la vitesse d'écoulement d'eau rapproche les 1.92 m/s. Le substrat est formé d'un fond de limons-d'argile et sable sur lequel sont entreposés des graviers, des blocs et roc. La végétation représentée essentiellement par *Juncus sp*, *Tamarix sp*, *Olea europaea*, et *Nerium oleander*, *Rumex obtusifolius*, et *Arctium lappa*. La végétation aquatique est formée d'algues filamenteuses et de quelques Characées au niveau des zones substagnantes des rives.



Photo 2.4 :Affluent, station G4 Gheraib.

▪ **Station Z5 : Oued Zenati**

Se situe en aval d'oued Zenati,(N 36° 23'48'' E 7° 3'29'')à une altitude 520 m ;profondeur =20 à 55 cm ; largeur = 10 à 20 m ; la vitesse d'écoulement d'eau mesurée ici atteint les1.15 m/s.C'est l'affluent de la rive droite en amont de la confluence du cours principal Bouhamdane près d'un pont routier qui mène vers mechtat « HadjarTheldj » à deux kilomètres de Bordj Sabat. Sur le fond dominant les éléments grossiers (cailloux, pierres et galets) avec quelques blocs semi émergés par endroits.L'ensemble est recouvert d'une enveloppe végétale formée essentiellement d'algues filamenteuses.La végétation constituée essentiellement de *Juncus sp*, de *Typha sp*, de *Tamarix sp*, *Nerium oleander*. Il reçoit des rejets domestiques et pharmaceutiques en provenance de l'hôpital « El Amir Abdelkader » situé au chef-lieu d'Oued Zenati.

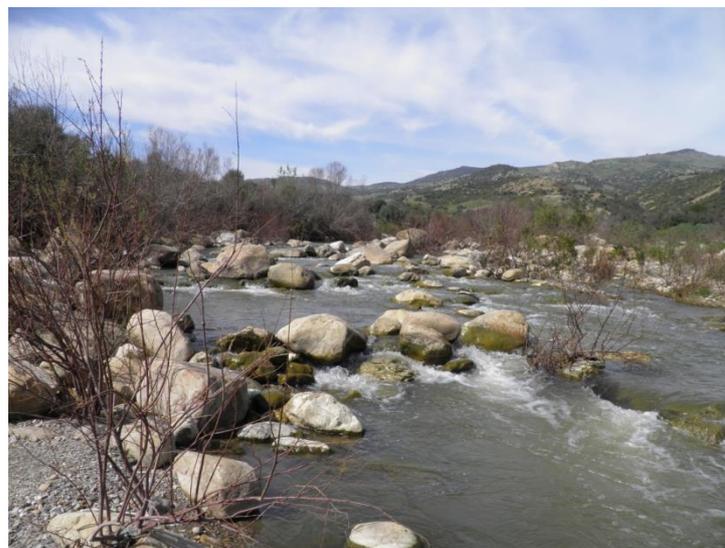


Photo 2.5: Affluent, station Z5 Oued Zenati.

2.1.3 Matériel

2.1.3.1 Matériel de terrain

- Appareil de mesure des paramètres de la qualité de l'eau de terrain (multi-paramètre)
- Agent de conservation (concentration finale dans l'échantillon de 70% à 80 % environ);
- Décamètre, brosse, écope ;
- Gants ;
- Appareil photo ;
- Bottes-culottes ou cuissardes ;
- Matériel d'estimation des distances ;
- Crayons et marqueurs ;
- Étiquettes en papier hydrofuge ;
- Fiches de terrain et planchette à pince ;
- Sacs à fermeture à glissière ;
- Tamis (0.5mm) ;
- Trousse d'outils et ruban adhésif ;
- Seau ;
- Passoire ;
- Glacière portable pour le transport des pots de prélèvement et pains réfrigérants avec bouteilles à échantillons ;
- GPS et piles de rechange ;
- Échantillonneur de type Haveneau (cadre de 1/20 m²) et troubleau ;
- Flacons à visse ;
- Chronomètre ;
- Une épuisette + Eau distillée

2.1.3.2 Matériel de laboratoire

- Formol (10%) ;
- Contenants à échantillon ;
- Boîtes de pétri ;
- Étiquettes ;
- Pinceaux ;
- Pinces ;
- Flacons en verre ;
- Guides d'identification des macroinvertébrés ;
- loupe binoculaire ;

2.1.4 Protocole et Stratégie d'échantillonnage

L'appréciation de la qualité d'un milieu aquatique à l'aide des méthodes biologiques est fondée sur l'application d'un principe général selon lequel à un milieu donné correspond une biocénose (ensemble des êtres vivants peuplant un écosystème) particulière. De ce fait, les peuplements d'un habitat peuvent être considérés comme l'expression synthétique de l'ensemble des facteurs écologiques qui conditionnent le système. Les altérations du milieu qui se traduisent par l'évolution de certains de ces facteurs, provoquent alors des modifications plus ou moins marquées des communautés vivantes qu'il héberge. Aussi, l'analyse de la composition d'un répertoire faunistique considéré isolément permet de définir l'état du milieu tandis que l'analyse biocénotique comparative («amont - aval» ou «avant - après») permet d'évaluer l'effet des changements de l'environnement qui affectent les communautés.

La méthodologie proposée est réalisable dans des cours d'eau à débit régulier et peu profonds, soit des cours d'eau que l'on peut traverser à pied (*wadeable* en anglais), Flotemersch et *al.* (2006). Le prélèvement est très important, mieux il est fait, plus le résultat d'évaluation est fiable. Le but du travail de prélèvement est de ramener un échantillon représentatif de la population des macroinvertébrés du cours d'eau. Il est donc préférable que les prélèvements doivent s'effectuer dans divers biotopes du cours d'eau (eau calme, eau plus rapide, dans les racines immergées, s'il y en a, dans les graviers, sous et sur les pierres). La majeure partie des macroinvertébrés seront cependant trouvés sous les grosses pierres immergées. Le protocole technique d'échantillonnage a été défini conformément aux critères imposés par l'indice biologique global normalisé (IBGN*). L'IBGN est la méthode française normalisée d'évaluation de la qualité biologique d'un cours d'eau (NF T90-350 - AFNOR*, 1992, révisée en 2004). Le présent protocole est applicable en toute saison, toutefois, il est préférable d'éviter les périodes de hautes eaux. Les prélèvements ne doivent pas être réalisés durant des événements hydrologiques exceptionnels dommageables pour les invertébrés (e.g. forte crue ou assec).

2.1.4.1 Méthode d'échantillonnage

Une fois arrivée sur le site d'échantillonnage, nous avons notés sur la fiche technique de terrain : l'heure, la date, les coordonnées GPS (X, Y) et les paramètres mésologiques (vitesse du courant, nature du substrat qui compose le lit du cours d'eau, profondeur, largeur du lit et la composition chimique des eaux). En outre, nous enregistrons des remarques d'ordre général tels que : les différents types des végétations, degré de pollution et les activités humaines près de nos stations...etc. L'échantillonnage de la faune benthique a été effectué à l'aide d'un filet troubleau d'ouverture circulaire de 30 cm de diamètre et de 600 µm de vide de mailles. Il doit être bien

rincé avant de commencer l'opération afin d'éviter la contamination par des spécimens n'appartenant pas à la station. Le filet est déposé sur le fond du cours d'eau à contre-courant. Les pierres et galets de la surface échantillonnée ont été retournés et nettoyés à l'ouverture du filet pour arracher les espèces fixées ainsi que celles agrippées au substrat. Les coups de filet doivent être donnés là où les vitesses du courant sont différentes, étant effectués au milieu et en bordure des berges dans les parties à forte végétation aquatique ainsi qu'au fond dans les parties boueuses et sableuses, avec toutefois une surface minimale échantillonnée d'environ 20 m de largeur et d'une longueur dix fois supérieure à la largeur. On va rejoindre la berge et trier le résultat de la pêche. La détermination de l'indice IBGN au niveau du site d'étude est réalisée selon la méthode d'AFNOR (1992). La mise au point de cet indice s'est appuyée sur des analyses statistiques de nombreuses données issues de l'application des protocoles expérimentaux antérieurs. Ces démarches ont permis de définir (Verneaux, 1984) :

- la taille minimale pratique du prélèvement ($1/20 \text{ m}^2$),
- On effectue 8 prélèvements par station, en recherchant une représentativité maximale, par échantillonnage de tous les microhabitats présents. Ceux-ci sont caractérisés par un couple substrat-vitesse.
- un protocole précis d'échantillonnage donnant une image de la mosaïque d'habitats.
- un répertoire bien défini des taxons utilisés. L'unité taxonomique retenue est, à de rares exceptions près, la famille. Cela limite les risques d'erreur d'identification et donne moins de poids aux influences typologiques.
- un tableau standard de détermination des valeurs indicielles (0 - 20) suivant la nature et la variété taxonomique de la faune benthique récoltée selon le protocole proposé.

L'appareillage utilisé pour le prélèvement est celui décrit dans la norme à l'exclusion de tout autre type. Il est équipé d'un filet d'ouverture de maille $\text{Ø } 500 \text{ }\mu\text{m}$. Ce filet sera suffisamment long pour limiter le colmatage et la fuite des individus. Il est nécessaire de le vider et de le nettoyer après chaque prélèvement pour éviter des mélanges de faune. Le troubleau peut être exceptionnellement utilisé en faciès lotique profond lorsque la hauteur d'eau reste importante à l'étiage. Ce type d'appareillage entraîne des contraintes en termes de profondeur du milieu échantillonnable. On considère qu'au-delà de 1 m de profondeur, ces appareils sont difficilement utilisables. Aussi la norme n'est applicable en toute rigueur qu'aux cours d'eau dont la profondeur à l'étiage n'excède pas 1 m environ sur la majorité du lit mouillé.

2.1.4.2 Pré-tri et conservation des échantillons

Les échantillons récoltés sont déposés dans un seau avec de l'eau pour faciliter leur mobilité ainsi que leur capture et aussi afin d'éliminer les éléments les plus grossiers (vases, pierres, galets, fragments de bois et feuilles des végétaux). Cette opération est très importante, elle permet de limiter les risques de détérioration de la faune et de réduire le volume d'échantillon à fixer. Les prélèvements ont été tamisés sur une maille de tamis de 1 mm puis les refus fixés et conservés dans une solution de formaldéhyde (10%) (FotoMenbohan et *al.*, 2010), éventuellement additionnée de Floxine ou de Rose Bengale (colorants protéiques roses) et ceci pour les fixer. Les organismes capturés, sont transférés dans des Flacons à visse. Le nom, la date et les caractéristiques de la station sont notées à chaque prélèvement. Les échantillons obtenus ont été ramenés au laboratoire pour leur identification.

2.1.4.3 Tri et détermination

Cette étape consiste à extraire la faune du substrat contenue dans l'échantillon. Elle se fait au laboratoire, où les échantillons conservés dans des récipients étiquetés sont rincés abondamment à l'eau claire sur une série de tamis de mailles et de taille décroissante (5 à 0,2 mm) afin d'éliminer au maximum le substrat fin restant et les éléments grossiers (graviers, plantes, feuilles...) (Karrouch & Chahlaoui, 2009 ; El Agbani et *al.*, 1992). Le contenu des tamis est ensuite versé dans une bassine puis transvasé dans des béciers de 250 ml. Le tri, le comptage et la détermination commencent sous la loupe binoculaire de type (Leica ZOOM 2000) et parfois à l'œil nu. Les organismes sont manipulés délicatement, à l'aide de pinces fines dans des boîtes de pétri. Après cette opération, ces organismes sont transvasés dans des récipients contenant du formol à 10 %. L'unité taxonomique retenue dans ce travail est la famille à l'exception de certains macroinvertébrés qui sont déterminés jusqu'à le genre, en raison des difficultés de détermination qu'ils présentaient pour nous. Par ailleurs, du point de vue typologique, la famille est une unité taxonomique plus stable que le genre et de ce fait l'I.B.G.N. présente une assez bonne stabilité sur ce plan. Pour ce faire nous nous sommes référés aux clés de détermination publiées par Zougaghe et Moali (2009), Clergue-Gazeau (1991), Moisan(2010) et Tachet et *al.*, (1980, 2000). A l'issue de la détermination, tous les individus étaient dénombrés et enregistrés par unité systématique, ensuite conservés ces espèces dans un flacon étiquetés contenant formol de 10%, sauf pour les Mollusques sont conservés dans l'éthanol 99%.

2.1.4.4 Mesure des caractéristiques physiques in situ

Pour chacune des cinq stations échantillonnées, ont été mesurés mensuellement in-situ, au moyen d'un multi paramètre portable (marque 197i WTW), les paramètres physico-chimiques suivants : température (T) exprimée en °C, pH, teneur en dioxygène (OD) exprimée en mg/l, conductivité électrique (EC) en $\mu\text{S}/\text{cm}$, salinité (SAL) exprimée en Practical Salinity Unit ou (psu), potentiel de réduction (Eh) sans unité et TDS exprimée en mg/l. Les sondes ont été calibrées avant chaque utilisation. La vitesse du courant a été estimée à l'aide d'un chronomètre, en mesurant le temps mis par un flotteur pour parcourir une distance de 10 mètres.

▪ Température

La température est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques (Beaudry et Henry, 1984). Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, en particulier dans la conductivité électrique et dans la variation du pH (Leclerc, 1996). Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface (Philippo *et al.*, 1981).

▪ Potentiel hydrogène

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de pH est la valeur qui détermine si une substance est acide, neutre ou de base, il est calculé à partir du nombre d'ions hydrogène présents. Sa mesure était à l'aide d'un pH-mètre (Rodier, 1996). Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés (Beaudry, 1984).

▪ Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous est l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène, dans l'eau, provient essentiellement de l'atmosphère et de la photosynthèse des végétaux aquatiques. La quantité d'oxygène dissous varie dans le temps et dans l'espace car elle est fonction de nombreux facteurs tels la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température, la salinité, la pénétration de la lumière et l'agitation de l'eau. L'oxygène dissous peut jouer un rôle de facteur limitant dans le milieu aquatique (Dajoz, 2006).

▪ Conductivité électrique

C'est la propriété qui possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions

augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité (Rejsek, 2002). La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par cm (mS/cm) à 20 °C. La conductivité électrique d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S/cm}$ (Beaudry et Henry, 1984).

- **TDS**

La quantité des sels minéraux influence la conductivité. La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles (Rodier, 1996).

- **Salinité**

Désigne la quantité des sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux (Rodier, 1996).

- **Turbidité**

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). Il est important de connaître la teneur de la turbidité lorsqu'on envisage de traiter l'eau car elle facilite le développement des germes indicateurs de contamination, réduit l'efficacité des désinfectants et accroît la consommation de chlore tout en diminuant son efficacité (Miquel, 2003). Ce paramètre a été mesuré par le turbidimètre (HACH 2100N Turbidimeter).

2.1.4.5 Mesure de caractéristiques chimiques

Pour appréhender l'influence des facteurs environnementaux sur la distribution des familles des macroinvertébrés, des paramètres chimiques ont été mesurés. Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire d'Algérienne des eaux (ADE) de Hammam Debagh Guelma. Pour chaque station, les prélèvements des échantillons d'eau ont été réalisés dans des flacons en plastique propres d'une capacité de 1 litre, à une distance de 2m des berges et à une profondeur moyenne de 30 cm. Le remplissage des flacons a été fait à ras bord puis le bouchon vissé afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère.

Les flacons ont été étiquetés mentionnant la date de prélèvement, le code de station et acheminés au laboratoire dans une glacière maintenue à 4°C pour y être traités immédiatement. Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes Rodier (1996) et AFNOR (1997).

▪ Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (Na Cl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh et *al.*, 2011). L'eau contient toujours des chlorures en proportion très variable, les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorure alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage (Beaudry et Henry, 1984). Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses (Beaudry et Henry, 1984).

▪ Sulfates (SO_4^{2-})

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates, en proportion très variables. Leurs présences résultent de la solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites). La forte concentration en sulfates provoque de troubles gastro-intestinaux ; aussi elles peuvent donner un goût désagréable (Beaudry et Henry, 1984). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole entraîne une production importante de sulfures et, l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive (Barry, 1989). Les sulfates participent au métabolisme des bactéries contenues dans l'eau. Les bactéries sulfato-réductrices transforment les sulfates en sulfures avec dégagement de gaz sulfureux créant des désagréments pour l'environnement (Mizi, 2006).

▪ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates (NO_3^-) sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, ils se trouvent dans les couches superficielles du sol, ils peuvent provenir de la minéralisation des matières organiques, d'éléments agricoles, des rejets domestiques ainsi que de l'épandage des engrais ammoniacaux (Khalaf et *al.*, 2007). Le nitrate est la forme oxydée de l'azote qui est la plus stable, mais il peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne (Kemoukh, 2007). Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l (Khalaf et *al.*, 2007).

- **Ammonium (NH₄⁺)**

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère (Chapman *et al.*, 1996).

- **Matière en suspension (MES)**

La matière en suspension rencontrée dans les eaux (essentiellement superficielles) sont très diverses tant par leur nature que leur dimension. Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de microorganismes, et de produits de dégradation animaux ou végétaux (Marcel, 1995).

- **Bicarbonates (HCO₃⁻)**

Sel dérivé de l'acide carbonique à teneur réduite en hydrogène et contenant deux fois plus d'acide que le carbonate. La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ...) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO₂) (Belhadj, 2006).

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC (F}^\circ) \times 12,2 \text{ (Rodier, 1996).}$$

TAC: Alcalinité totale

$$1 \text{ F}^\circ = 10 \text{ mg/l}$$

- **Nitrites (NO₂⁻)**

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (Rejsek, 2002).

- **Alcalinité totale (ou TAC)**

L'alcalinité totale (ou TAC), exprimée en mg/l de HCO₃⁻, correspond au dosage des Phosphates, des Silicates (SiO₃²⁻), de l'Ammoniaque libre (NH₄OH) et des ions OH⁻, CO₃²⁻ et HCO₃⁻. Les concentrations en Bicarbonates peuvent donner des indications sur le degré d'oxydation des composés organiques dans des zones particulières comme les ruisseaux forestiers (Nisbet et Vernaux, 1970).

▪ Dureté totale

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques calcium, magnésium, aluminium, fer, strontium etc. Présents dans l'eau, les deux premiers cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}) étant généralement les plus abondants. Comme le calcium est un des ions les plus abondants, il devient donc un bon indicateur de la dureté de l'eau (Guilbert, 2000).

▪ Calcium (Ca^{++})

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. C'est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate (CaCO_3). Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles (George et Harrap, 1963). Il est le composant majeur de la dureté de l'eau et l'élément dominant des eaux naturelles. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium (Beaudry et Henry, 1984).

▪ Ortho phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique (Beaudry et Henry, 1984). Le phosphate c'est un élément essentiel à la vie aquatique. Les fortes concentrations en phosphates rencontrées dans l'estuaire indiquent un enrichissement d'origine domestique et agricole, ainsi que des apports directs des activités industrielles. Les phosphates sont considérés comme principal responsable du phénomène d'eutrophisation des eaux de surface. Avec l'azote, les phosphates forment les nutriments qui contribuent au développement du plancton végétal printanier (Hakmi, 2006).

2.1.4.6 Identification des macroinvertébrés et analyses des données

2.1.4.6.1 Les Epheméroptères

Les éphéméroptères sont des insectes ptérygotes hétérométaboles hémimétaboles, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de stade immobile entre la larve aquatique et l'adulte qui est aérien (Hoarau et Hoareau, 1999). Les éphéméroptères appartiennent à un ordre d'insectes dont les larves sont exclusivement aquatiques. Ils sont caractérisés par la présence de deux (rare) ou trois queues (deux cerques et un paracerque). Leurs pattes ne portent qu'une griffe, ce qui les distingue des plécoptères. Tous portent des branchies abdominales sur les segments 4 à 7 et, selon le genre, sur les segments 1 à 3. La forme et la position de ces branchies sont capitales pour leur identification. Les larves ont tous dix segments abdominaux. On détermine leur numéro (le même que celui des branchies) en comptant à partir du dixième, c'est-à-dire de l'extrémité de l'abdomen. De façon générale, ils sont sensibles à la pollution (Moisan, 2010).

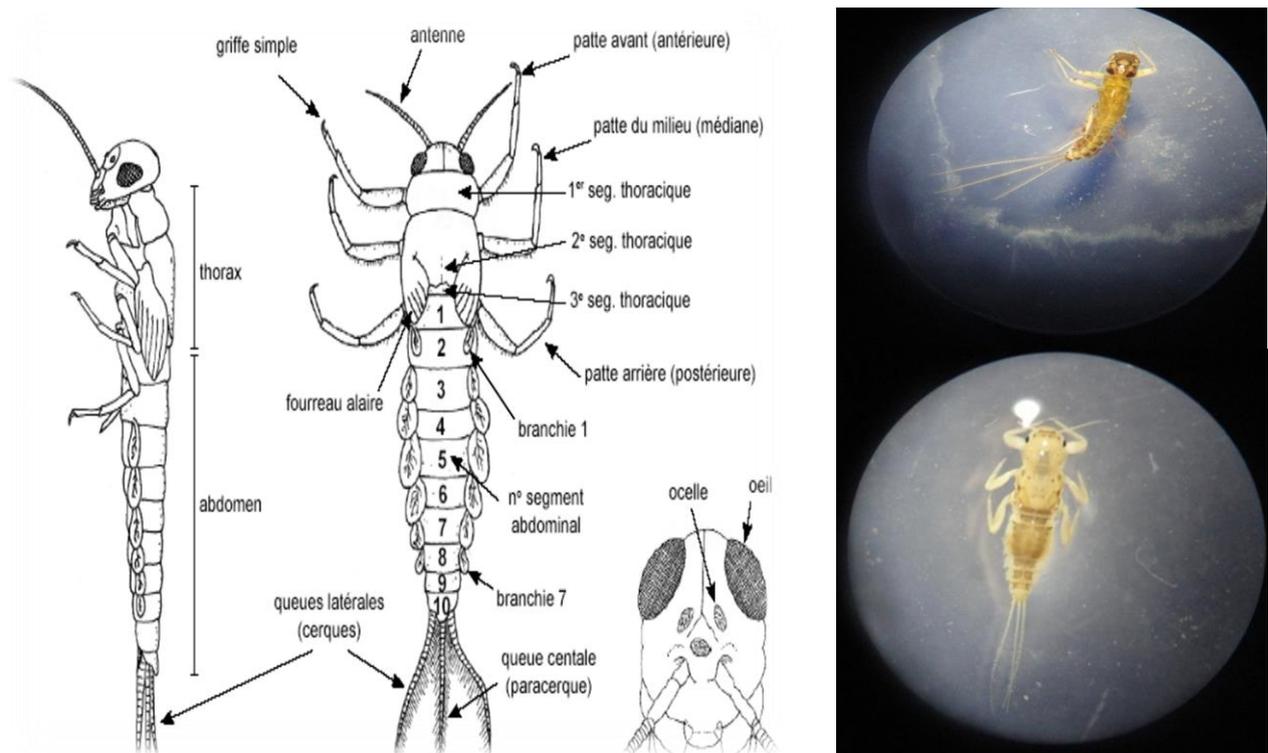


Figure 2.2 : Morphologie générale des larves d'éphéméroptères (Moisan, 2010)

2.1.4.6.2 Les Diptères

Les Diptères constituent un ordre d'insectes très diversifié, contient pour l'essentiel les mouches et les moustiques (Campbell et Reece, 2007). Les larves de cet ordre d'insectes se distinguent aisément des larves d'insectes holométaboles aquatiques par l'absence de pattes thoraciques. Il peut y avoir des pseudopodes mais ceux-ci ne sont jamais articulés (Tachet et

al.,1980). Absence de pattes thoraciques qui peuvent être remplacées par des pseudopodes ou des bourrelets locomoteurs. La capsule céphalique peut-être individualisée, rétractile dans les premiers segments thoraciques ou totalement régresse (larve acéphale). Le corps comprend de onze à quinze segments dont les trois premiers sont thoraciques (Tachet et *al.*, 2012). La fin de l'abdomen peut porter des soies et/ou des appendices. La tête est soit distincte, soit indistincte (Moisan, 2010). Chez des familles la larve possède une filière labiale qui lui permet de tisser un étui mobile comme les trichoptères (simuliidae) qu'elles fixent au substrat (Tachet et *al.*, 2012). Des nymphes sont également présentes dans les cours d'eau. La nymphe est l'état intermédiaire entre la larve et l'adulte. Elle est reconnaissable à ses trois paires de pattes articulées accolées au corps et à son unique paire d'ailes. Elle peut être libre, dans une enveloppe souple fixée au substrat, ou enfermée dans une enveloppe dure. En milieu aquatique, la famille la plus importante est celle des Chironomidae, qui est considérée tolérante à la pollution. Les autres diptères ont une tolérance moyenne. De toutes les nymphes, seules celles des Chironomidae seront identifiées à la famille (Moisan, 2010).



Figure 2.3 : Différentes formes des larves des diptères (Moisan, 2010)

2.1.4.6.3 Les Plécoptères

Les Plécoptères constituent un groupe d'insectes hémimétaboles à larves exclusivement aquatiques. Paléontologiquement un peu plus récent que les éphéméroptères, ils sont connus depuis le permien. Contrairement au polymorphisme qui caractérise les larves des éphéméroptères (larve plates, larves fouisseuses, larve cuirassées, etc.).

La tête porte des antennes multiarticulées nettement plus longues que la tête (parfois presque aussi longues que l'abdomen). Les yeux composés sont latéro-dorsaux. Trois ocelles sont

présents. Le labium présente du côté externe deux palpes labiaux de trois articles et du côté interne des glosses et des paraglosses. La forme et la taille relative des glosses et des paraglosses permettent un découpage majeur au sein des Plécoptères. Le développement des trois notums thoraciques est sensiblement identique. Les pattes comprennent classiquement hanche, trochanter, fémur, tibia, un tarse de trois articles terminés par deux griffes. L'abdomen comprend dix segments et se termine toujours par deux cerques multiarticulés (jamais de paracercue). Les branchies peuvent être absentes ou présentes (Tachet et *al.*, 2010). De façon générale, les plécoptères sont sensibles à la pollution (Moisan, 2010).

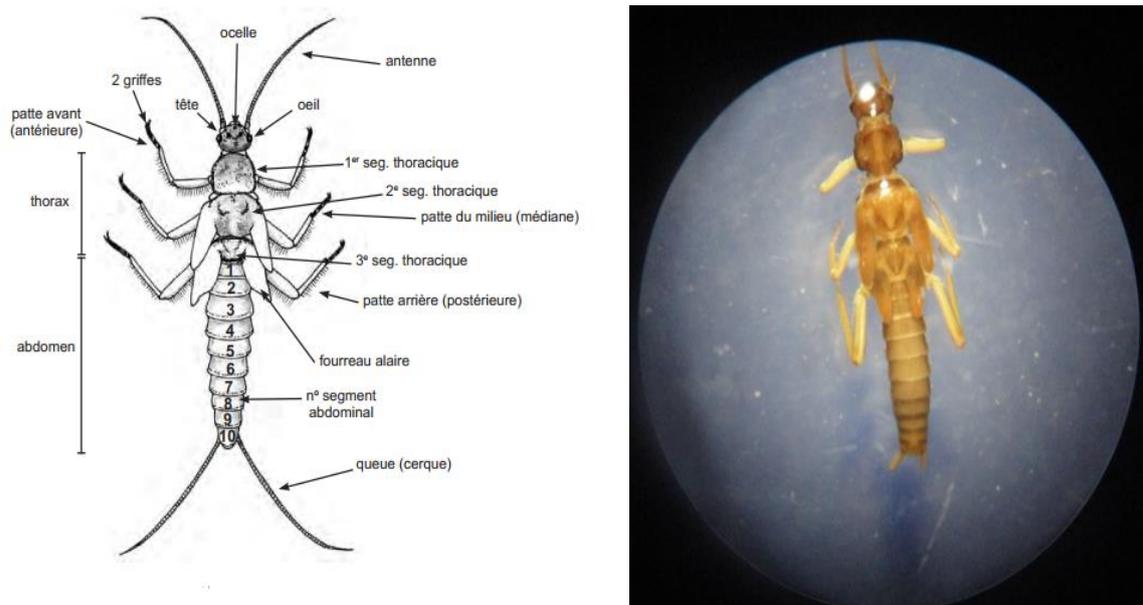


Figure 2.4 : Morphologie générale des larves des plécoptères (Moisan, 2010)

2.1.4.6.4 Les Coléoptères

Les Coléoptères sont les seuls insectes holométaboles à se présenter à la fois sous la forme imaginaire et sous la forme larvaire dans les milieux aquatiques. Ils colonisent divers habitats : sources, ruisseaux de sources, torrents, rivières à eau modérément courante et rivières à eau quasi-stagnante et riche en végétation (Tachet et *al.*, 1980). Les larves de coléoptères sont très polymorphes. Elles sont également de tailles variées (Tachet et *al.*, 2012). La tête toujours bien différenciée et constitue une capsule céphalique entièrement sclérifiée. Les yeux composés n'existent pas, ils sont remplacés par des stemmates constitués de 4 à 6 yeux simples ou ils peuvent être absents. Les antennes, constituées de 3 ou 4 articles, pouvant se subdiviser en fouet, l'apex peut être uni- ou biramé (Tachet et *al.*, 2000).

La forme des mandibules est fonction du régime alimentaire, elles sont longues et acérées chez les espèces prédatrices, courtes et obtuses chez les phytophages, les palpes maxillaires sont toujours présents et multiarticulés. Le thorax de certains groupes, caractérisé par des tergites sclérifiés

(notum), chez d'autres s'ils sont membraneux. Chaque segment thoracique porte une paire de pattes (Du Chatenet, 1990). La morphologie des 3 paires de pattes est souvent similaire. L'abdomen comprend de 8 à 10 segments visibles. L'extrémité de l'abdomen peut présenter des variations importantes (Tachet et *al.*, 2000).

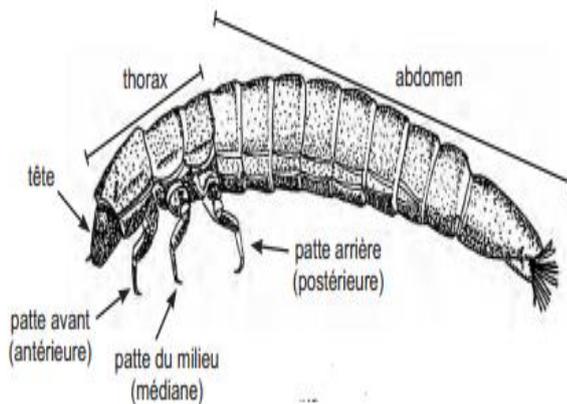


Figure 2.5 : Morphologie générale des larves des coléoptères (Moisan, 2010)

2.1.4.6.5 Les Trichoptères

Les trichoptères sont des insectes holométaboles dont les larves et les nymphes sont aquatiques, à l'exception du *Limnephilidae* *Enoieyla* qui secondairement adapté à la vie terrestre (Tachet et *al.*, 2010).

✚ La larve

On distingue aisément la tête, le thorax et l'abdomen (Moisan, 2006) :

Les larves de trichoptères ont l'habitude de vivre dans un fourreau qu'elles construisent elles-mêmes. Constitués de petites pierres ou de débris végétaux, les fourreaux ont des formes très diverses selon la famille.

La tête est totalement sclérifiée, les yeux sont réduits à de simples taches oculaires ; Les antennes sont très courtes. Les pièces buccales se composent d'un labre, d'une paire de mandibules qui portent souvent des touffes de soies sur la face interne.

Le thorax : Le pronotum est toujours totalement sclérifié, ventralement le prothorax peut porter une ou plusieurs pièces sclérifiées : le prosternite. Le mésonotum est soit sclérifié ou membraneux, ventralement, le mésothorax peut être membraneux ou présenter des taches sclérifiées pour le métathorax la disposition est la même que le mésothorax. Les pattes sont longues, formées d'une hanche, trochanter, fémur, tibia et tarse d'un seul article terminé par une seule griffe. Les pattes prothoraciques sont courtes et trapues et sont un auxiliaire à l'appareil

buccal et servent également à la construction de l'étui. Les pattes méso et métathoraciques sont plus longues et servent surtout à la locomotion.

L'abdomen : Composé de neuf (9) segments, toujours membraneux du segment 1 au segment 8 sur le dernier tergite abdominal, il peut y avoir un sclérite dorsal impair. Les branchies sont présentes ou absentes le plus souvent digitiformes, parfois ramifiées (Tachet *et al.*, 2010).

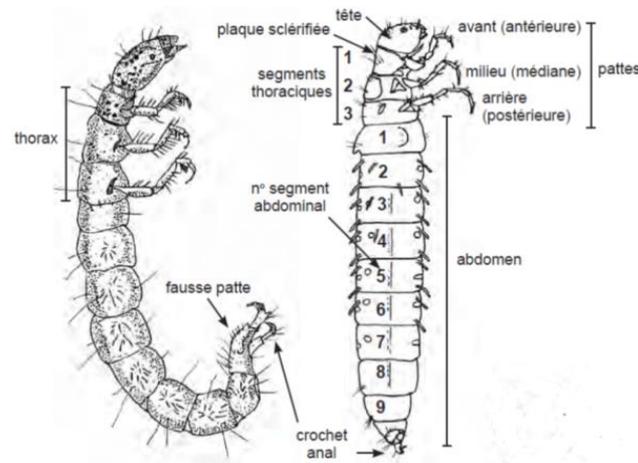


Figure 2.6 : Morphologie générale des larves des trichoptères (Moisan, 2010)

2.1.4.6.6 Les Hétéroptères

Les hétéroptères se partagent en deux sous ordres : les Hétéroptères et les Homoptères (Tachet *et al.*, 2012). Dans les habitats aquatiques ou semi-aquatiques, les hémiptères peuvent se retrouver sous forme adulte ou larvaire. Les larves et les adultes sont presque identiques si ce n'est que les adultes sont habituellement ailés. Il existe cependant des hémiptères adultes qui n'ont pas d'ailes. Les ailes, lorsqu'elles sont présentes, sont cornées à la base (vers l'avant) et membraneuses au bout. La forme de leur corps varie de ovale à allongée. Les hémiptères ne possèdent pas de branchies. Leur principale caractéristique est la modification de leur appareil buccal. Leur tolérance à la pollution est moyenne (Moisan, 2010).

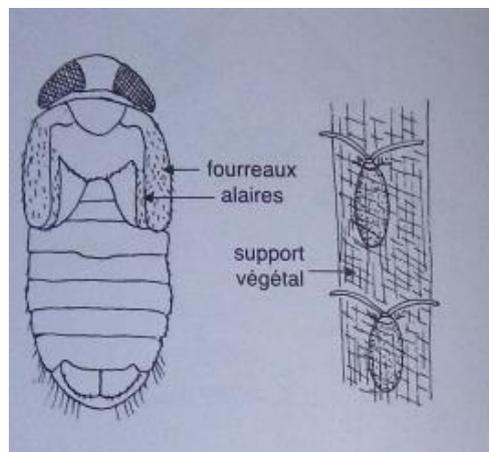


Figure 2.7 : Morphologie générale des larves des hétéroptères (Tachet *et al.*, 2012).

2.1.4.6.7 Les Odonates

Les odonates (libellules et demoiselles) appartiennent à un ordre d'insectes dont les larves sont exclusivement aquatiques. Elles se divisent en deux sous-ordres : Les anisoptères et les zygoptères. Leur principale caractéristique est indéniablement la lèvre Inférieure (labium), qui est transformée en masque rétractable servant à capturer les proies. Elles possèdent également de gros yeux. Elles préfèrent les eaux calmes et sont souvent associées à la végétation. Le bout de l'abdomen permet de différencier les deux sous ordres. Leur tolérance à la pollution est moyenne. Les spécimens qu'on ne peut classer dans un sous-ordre seront identifiés en tant qu'odonate (Aguesse, P., 1968).

✚ Zygoptères

Corps allongé et abdomen étroit et cylindrique.

- Tête plus large que le corps.
- Trois branchies en forme de feuille à l'extrémité de l'abdomen.
- Communément appelés demoiselles.

✚ Anisoptères

Abdomen se terminant par cinq petites pointes triangulaires.

- Corps relativement massif (abdomen large).
- Tête habituellement plus étroite que le corps.
- Communément appelés libellules (D'Aguilar J., 1985).

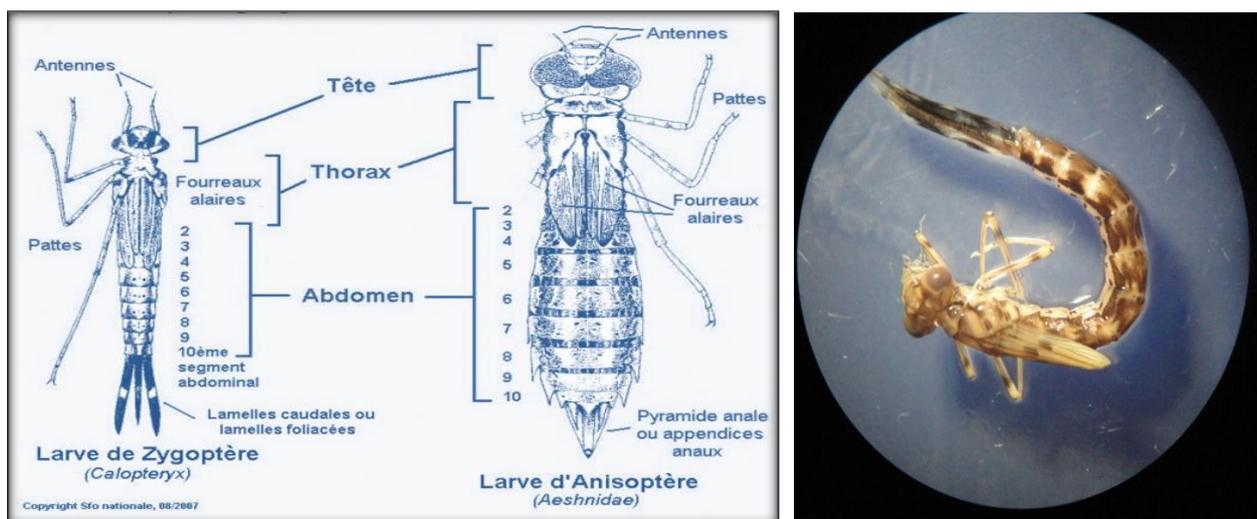


Figure 2.8 : Morphologie générale des larves d'Odonates (Société générale d'otonatologie, 2007 in Bouchelaghem, 2008).

2.1.4.6.8 Les Planaires

- Corps mou, allongé, aplati et nonsegmenté.
- Tête plutôt triangulaire (en forme de pointe de flèche).
- Généralement deux yeux sur le dessus de la tête.
- Dessus du corps habituellement moucheté noir, dessous du corps clair et sans motif.
- Orifice ventral d'où sort un tube, le pharynx. Il peut être sorti chez des spécimens préservés.
- tolérants à la pollution (Moisan, 2010).

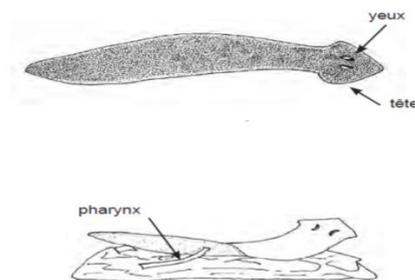


Figure 2.9 : Morphologie générale des planaires (Moisan, 2010)

2.1.4.6.9 Les Annélides

Les Annélides : Les Oligochètes et les Achètes, représentent les principales classes de cet embranchement.

✚ Les Oligochètes

Les Oligochètes fréquentent tous les types de biotopes, depuis les ruisseaux de sources jusqu'au cours d'eau de plaine. Ils sont surtout représentés dans les sections les plus proches des pollutions. La classe des oligochètes correspond à des Annélides caractérisés fondamentalement par la présence de deux paires de faisceaux de soies : une paire latéro-dorsale et une paire latéro-ventrale. Très exceptionnellement, il peut y avoir absence totale de soie comme cela est le cas chez un Enchytraeidae hyporhéique du genre *Achaeta* (Bouda, 2001). Corps mou, allongé et cylindrique composé de plusieurs segments similaires (Moisan, 2010).

✚ Les Achètes (ou sangsues)

Constituent une classe d'Annélides. Les sangsues sont présentes aussi bien en milieu marin qu'en eau douce. Tous les Achètes présentent une ventouse antérieure, où s'ouvre la bouche et une ventouse postérieure. L'anus est dorsal et s'ouvre en avant de la ventouse postérieure. Le corps est segmenté (Tachet et al., 2010).

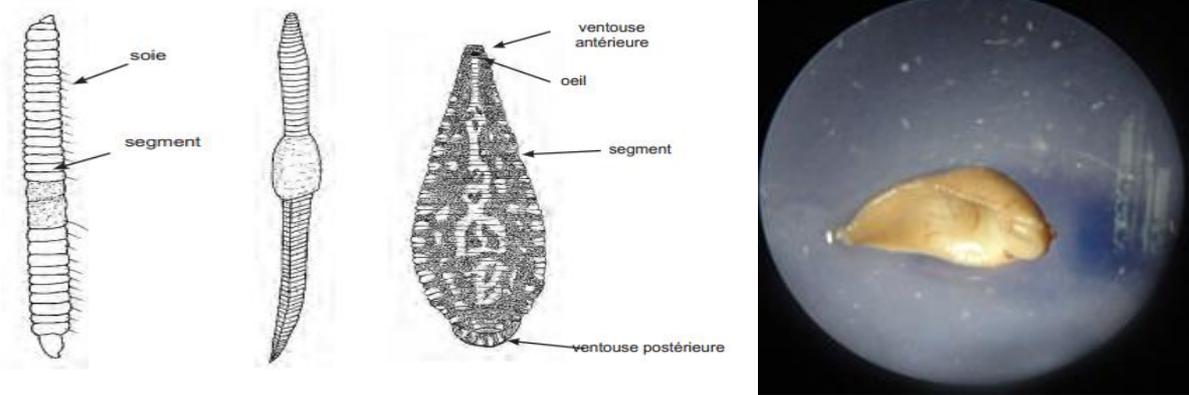


Figure 2.10 : Morphologie générale des larves d'Oligochètes et d'Achète (Moisan, 2010)

2.1.4.6.10 Les Mollusques

Les mollusques sont, en général, des animaux aquatiques. La plupart vivent dans la mer, d'autres habitent les eaux douces, et d'autres encore vivent sur la terre, principalement aux lieux humides ou ombragés (Lamarck, 2003). Les mollusques sont des invertébrés à corps mou, (Moisan, 2006). Massif, non métamérisé, sans squelette interne présentant une unité (Mouthon, 1980), dont la plupart possède une enveloppe externe dure (une coquille de calcaire) (Moisan, 2006). Par contre certains mollusques ont perdu une partie (calmars) ou la totalité (pieuvres) de leur coquille au cours de l'évolution. Ce groupe compte d'ailleurs plus de 80 000 espèces connues (Maissaitetal., 2005).

✚ Les gastéropodes

Les gastéropodes sont une classe de mollusques caractérisée par la présence d'une seule coquille habituellement spiralée comme celle des escargots. Certains possèdent une plaque cornée ou calcaire appelée opercule qui ferme l'ouverture de la coquille quand l'animal est à l'intérieur. Un seul groupe possède une forme vraiment différente, soit une forme de petit chapeau. Les gastéropodes avec un opercule (prosobranches) ont une tolérance moyenne à la pollution, et ceux sans opercule (pulmonés) sont considérés comme tolérants (Moisan, 2010).

✚ Bivalves

Le corps à symétrie bilatérale, comprimé latéralement, est complètement enveloppé par le manteau, celui-ci étant subdivisé en deux lobes latéraux qui sécrètent une coquille à deux valves ; les valves sont articulées par une charnière et jointes par un ligament cuticulaire et élastique ; des muscles adducteurs, antérieur et postérieur tendent à refermer la coquille. La tête est absente ou, si l'on veut, réduite à la bouche, celle-ci étant dépourvue de radula et de bulbe buccal, mais munie de palpes labiaux. La cavité palléale est vaste et contient deux branchies lamellaires

symétriques. Le pied est comprimé latéralement, adapté à la locomotion dans le sable et la vase [1].

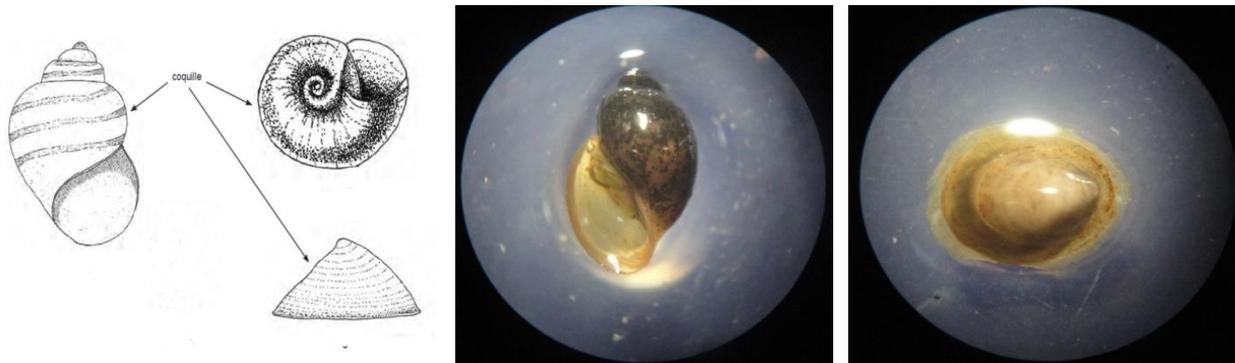


Figure 2.11 : Morphologie générale des mollusques (Moisan, 2010)

2.1.4.6.11 Les Crustacés

Cette classe comprend un très grand nombre d'espèces en milieu marin, en eau douce trois sous classes correspondent aux macroinvertébrés benthiques : Branchiures, Branchiopodes, Malacostracés (Tachet et *al.*, 2012). Les crustacés vivant en eau douce possèdent un minimum de cinq paires de pattes articulées (exception faite des ostracodes) ainsi que deux paires d'antennes. Les Crustacés forment un sous-embanchement de l'embanchement des arthropodes, comprenant notamment les écrevisses, les langoustes, les crabes, les anatifes, Les cloportes et toutes les autres formes à respiration branchiale, à téguments solides composant une carapace chitineuse. Ce sont tous des animaux au genre de vie extrêmement variable, organisés pour vivre dans l'eau, et l'immense majorité de ces êtres habitent la mer; un très petit nombre de formes seulement se sont adaptées à la vie terrestre. La plupart des Crustacés sont libres pendant toute leur existence, mais on observe aussi, parmi eux, des exemples de parasitisme à tous ses degrés ; même, certains Crustacés parasites peuvent en arriver à un tel degré de régression, qu'ils sont absolument méconnaissables et qu'il ne faut rien moins que l'étude de leur embryogénie pour pouvoir les classer à l'état adulte (Moisan, 2010).

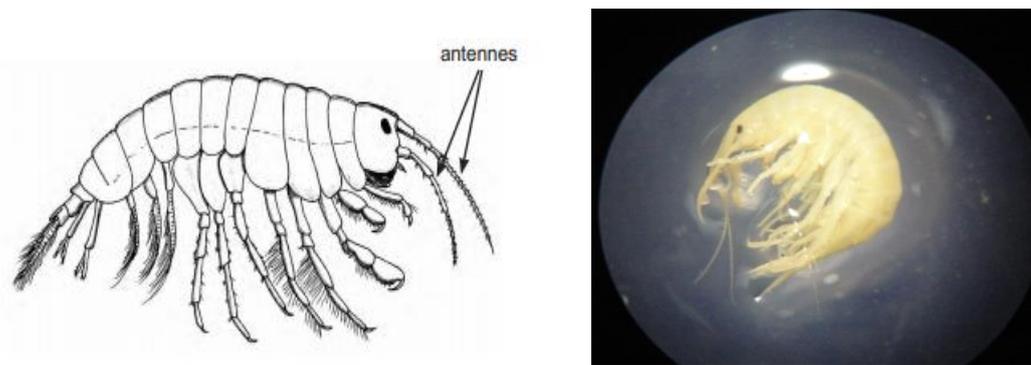


Figure 2.12 : Morphologie générale des larves des crustacés (Moisan, 2010)

2.1.4.6.12 Les Hydracariens

Les Hydracariens sont des Arthropodes Chélicérates de la classe des Arachnides et de l'ordre des Acariens. Ce sont des Acariens purement aquatiques, à téguments généralement mous et vivement colorés. L'une des choses les plus frappantes au sujet des Hydracariens est leur brillante coloration souvent de couleurs orange, jaune et rouge, probablement en raison de sécrétions nocives provenant de leurs glandes dermiques (Walteret *al.*,1999). Corps habituellement globulaire et mesurant moins de 4 mm. Les larves ressemblent aux adultes mais n'ont que trois paires de pattes. Tête fusionnée au reste du corps ; aucune division visible. Tolérance moyenne à la pollution (Moisan, 2010).

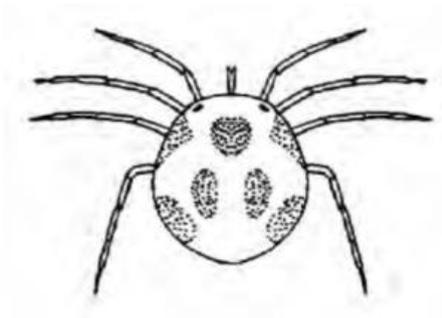


Figure 2.13 : Morphologie générale des hydracariens (Moisan, 2010)

2. 1.5 Analyse de données

2.1.5.1 Descripteurs biologiques

- **Richesse spécifique**

La richesse spécifique (RS) se définit classiquement comme le nombre d'espèces recensées à une échelle d'espace déterminée.

▪ La fréquence

La fréquence centésimale (**Fe**) représente l'**abondance relative**, encore appelée probabilité d'occurrence de l'espèce *i*, elle correspond au pourcentage d'individus d'une espèce (*ni*) par rapport au total des individus recensés (*N*) d'un peuplement (Ramade, 2009).

L'abondance relative peut être calculée pour un peuplement ou pour l'ensemble des prélèvements d'une biocénose.

$$Fe = \frac{ni}{N} \times 100$$

La fréquence centésimale peut également renseigner sur l'importance quantitative (en biomasse) d'une espèce ou d'un taxa proies composant le régime alimentaire d'un prédateur.

***L'abondance** : Correspond au nombre d'individus échantillonnées.

▪ Indice de diversité de Shannon-Weaver (1963)(**H'**)

La diversité spécifique peut être définie comme une mesure de la composition en espèces d'un écosystème, en termes du nombre d'espèces et de leurs abondances relatives. On mesure la diversité de communautés biologiques dans le but de mettre cette mesure en relation avec d'autres propriétés de ces communautés, telle la productivité ou la stabilité, ou encore de la relier à divers descripteurs du milieu auquel chaque communauté est exposée. Certaines comparaisons avec des variables de production ou des descripteurs du milieu pourront alors rendre préférable une mesure de la diversité spécifique basée, non plus sur le nombre d'individus, mais sur la biomasse ou le poids sec, la productivité, la fécondité ou toute mesure énergétique appropriée (Legendre et Legendre, 1979).

L'indice de Shannon- Weaver H' (Shannon et Weaver, 1963) est une mesure de diversité spécifique couramment employée, en relation avec les fréquences relatives des différentes espèces de l'échantillon. $H'=0$ quand l'échantillon ne contient qu'une seule espèce (ou une espèce dominante) et augmente à mesure que s'accroît le nombre d'espèces. Pour un nombre donné d'espèces, H' est maximum quand toutes les espèces sont également représentées dans l'échantillon. Il est sensible aux variations d'importance des espèces les plus rares. Il est donné par la formule suivante :

$$H' = \sum_{i=1}^n (pi \log_2 pi)$$

Où :

pi : abondance proportionnelle (relative) du taxon *i* par rapport aux autres taxons ou pourcentage d'importance de l'espèce : $pi = ni/N$.

S : nombre total d'espèces.

n_i : nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon.

N : nombre total d'individus (taxons) de toutes les espèces dans l'échantillon.

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à $\log_2 S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance). L'indice I_{sh} est exprimé en bits par individu (Piélou, 1977). Cet indice peut indiquer une structure stable et équilibrée de l'habitat à des valeurs proches de 3, tandis que des valeurs inférieures à 1 traduisent une dégradation et une pollution de la structure de l'habitat (Türkmen&Kazanci, 2010).

▪ **Indice d'équitabilité de Piélou (1966) (J')**

L'indice de Shannon est souvent accompagné par l'indice d'équitabilité de Piélou (1969). L'équitabilité (J') est le rapport entre l'indice de diversité réel (H') et la diversité maximale théorique (H'_{max}) du peuplement qu'on obtiendrait si toutes les espèces étaient représentées par un effectif identique (Alatalo 1981 ; Ramade 1981).

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

$H'_{max} = \log_2 S$ (S = nombre total d'espèces)

L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces). Un indice d'équitabilité inférieur à 60%, caractérise un environnement perturbé.

▪ **Indice de diversité de Simpson (1949)**

L'échelle s'étend de 0 à 1 où 1 représente le plus faible niveau de biodiversité.

$$I_{sim} = \frac{\sum n_i (n_i - 1)}{N(N-1)}$$

n_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'organismes.

▪ Indice de diversité de Hill (1973)

L'indice de diversité de Hill permet d'obtenir une vue encore plus précise de la diversité observée. Le rapport $1/I_{sim}$ va permettre la mesure du nombre effectif d'individus très abondants tandis que le rapport e^{H^H} va en revanche permettre de mesurer le nombre effectif d'individus abondants mais surtout des espèces rares. Plus l'indice de Hill est proche de la valeur 1 et plus la diversité est faible.

$$I_{Hill} = (1/I_{sim})/e^{H^H}$$

$1/I_{sim}$: c'est l'inverse de l'indice de Simpson;

e^{H^H} : c'est l'exponentiel de l'indice de Shannon.

2.1.5.2 Détermination de l'indice biologique global (IBGN)

L'Indice Biologique Globale Normalisé (IBGN) fournit une estimation quantitative sur l'ensemble du milieu, en utilisant la faune des macroinvertébrés en tant que compartiment intégrante du milieu (AFNOR, 2001). L'IBGN est établi à partir du tableau 3.1 comprenant les quatorze classes de variétés taxonomiques et du tableau 2.2 comprenant les neuf groupes faunistiques indicateurs (GI).

D'abord, on détermine successivement :

- **La variété taxonomique de l'échantillon (Σt)** qui est égale au nombre total de taxons identifiés récoltés même s'ils ne sont représentés que par 1 seul individu (le nombre d'individus par taxon n'est pas pris en compte). Ce nombre permet de déterminer la **classe de variété taxonomique (VT)** à l'aide du tableau 2.1.
- **Le groupe faunistique indicateur (GI)** en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins trois individus ou dix individus selon les taxons (voir note tableau 2.2).

La détermination du GI s'effectue en prospectant les colonnes du tableau du GI 9 au GI 1 et en arrêtant l'examen à la première présence significative ($n > 3$ individus ou $n > 10$ individus) selon les indications données dans la liste des 38 taxons indicateurs, en sélectionnant le taxon qui représente le degré de polluo-sensibilité le plus élevé de l'échantillon intégral de la station étudiée.

Tableau 2.1 : Détermination de la classe de variété taxinomique

VT	>50	49à45	44à41	40à37	36à33	32à29	28à25	24à21	20à17	16à13	12à10	9à7	6à4	3à1
Classe de variété	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Tableau 2.2 : Détermination du groupe faunistique indicateur

Taxons	Chloroperlidae	Capniidae	Leuctridae	Nemouridae	Hydroptilidae	Leptoceridae	Limnephilidae	Baetidae	Chironomidae
	Perlidae	Brachycentridae	Glossosomatidae	Lepidostomatidae	Heptageniidae	Polycentropodidae	Hydropsychidae	Caenidae	Asellidae
	Perlodidae	Odontoceridae	Beraeidae	Sericostomatidae	Polymitarcidae	Psychomyiidae	Ephemeralidae	Gammariidae	Achètes
	Taeniopterygidae	Philopotamidae	Leptophlebiidae	Ephemeridae	Potamanthidae	Rhyacophilidae	Aphelochetridae	Mollusques	Oligochètes
GI	9	8	7	6	5	4	3	2	1

En gras, les taxons représentés par au moins dix individus - Les autres par au moins trois individus

L'IBGN est calculé par la relation suivante : $IBGN = GI + VT - 1$, avec $IBGN < 21$

▪ **Appréciation de la qualité des cours d'eau**

À l'issue de l'étude, on attribue une note de 0 à 20 en fonction du groupe faunistique indicateur et de la diversité faunistique (Annexe 05 : Tableau de détermination). On peut relier cette note au code couleur utilisé pour cartographier la qualité des cours d'eau.

IBGN	20 à 16	16 à 12	12 à 8	8 à 4	4 à 0
Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge

- **Classe 1A** de couleur bleue qui indique une eau de très bonne qualité
- **Classe 1B** de couleur verte qui indique une eau de bonne qualité (avec une pollution modérée)
- **Classe 2** de couleur jaune qui indique une eau de qualité moyenne (avec une nette pollution)
- **Classe 3** de couleur orange qui indique une eau de qualité médiocre (avec une pollution importante)
- **Hors classe 4** de couleur rouge qui indique une mauvaise qualité (avec une pollution excessive)

Nota : L'interprétation des résultats obtenus par la méthode IBGN reste du ressort des hydrobiologistes et n'est pas traitée dans la norme AFNOR T95F.



CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Résultats

3.1.1. Paramètres physiques de l'eau

3.1.1.1. Température

La température moyenne la plus élevée a été consignée à la station de Medjez Amar (B1) avec (20,17 °C), et la plus basse avec 14,02 °C à Mermoura (B2). Les stations Taya (B3), Gheraib (G4) et Oued Zenati (Z5), montrent des températures moyennes très voisines atteignant respectivement 15,22 °C, 14,65 °C et 16.13 °C.

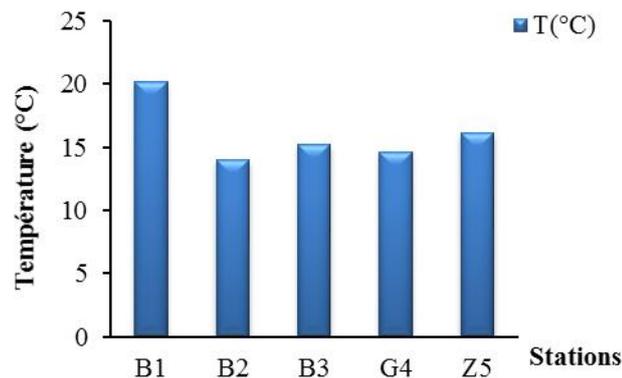


Figure 3.1 : Fluctuation de la température moyenne mensuelle selon les stations

3.1.1.2. Potentiel hydrogène

Dans l'ensemble des stations échantillonnées le pH est légèrement neutre à alcalin (Fig.3.2). En effet, les valeurs du pH enregistrées ne montrent pas de variations mémorables. Il varie entre une valeur minimale de 7,75 à la station Medjez Amar (B1) et une valeur maximale de 9,43 à la station Taya (B3).

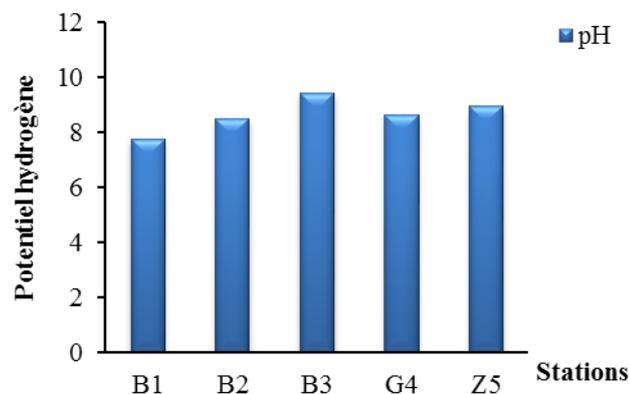


Figure 3.2 : Fluctuation du potentiel hydrogène selon les stations

3.1.1.3. Conductivité électrique

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique varient entre une valeur très faible de 695,5 enregistrée à la station Gheraib (G4) et 1566,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valeur maximale inscrite à la station Oued Zenati (Z5). Les valeurs des autres stations sont : 1534,5 ; 1210,75 et 1189 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ont été illustrées aux stations : Medjez Amar (B1), Taya(B3) et Mermoura (B2) respectivement. (Fig.3.3).

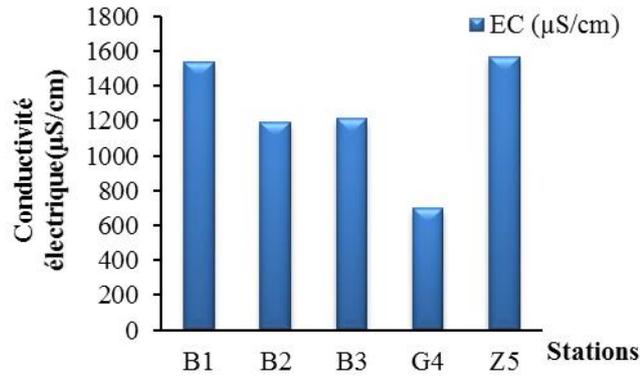


Figure 3.3 : Fluctuation de la conductivité électrique selon les stations

3.1.1.4. Oxygène dissous

Pour l'ensemble des prélèvements, Les teneurs moyennes en oxygène dissous présentent des variations importantes d'un habitat à un autre. La valeur la plus faible a été enregistrée au niveau de la station Medjez Amar (B1) avec 1,125 (mg/l) et la valeur la plus élevée avec 2,98 (mg/l) a été repérée au niveau de la station Taya (B3) (Fig.3.4).

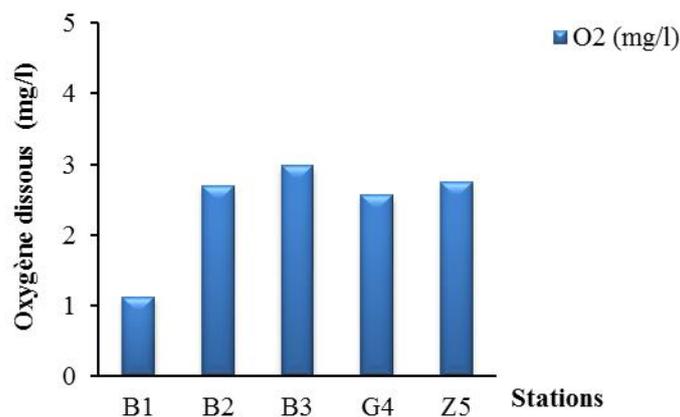


Figure 3.4 : Fluctuation d'Oxygène dissous selon les stations

3.1.1.5. Salinité

L'analyse des données récoltées indique que la salinité dans les eaux de l'oued Bouhamdane et ces affluents oscillaient entre une valeur faible de 0,27 mg/l observée à la station Gheraib (G4) et une valeur maximale de 0,73 mg/l embusquée à la station d'Oued Zenati (Z5). Les concentrations de la salinité des autres stations variant entre 0,55 mg/l à Mermoura (B2) et Taya (B3) et 0,7 mg/l à la station Medjez Amar (B1).

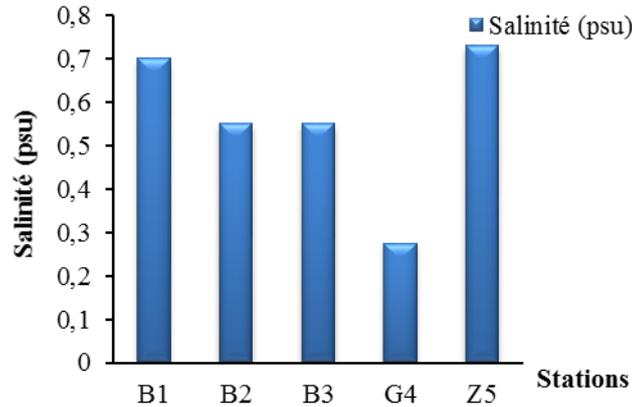


Figure 3.5 : Fluctuation de la salinité selon les stations

3.1.1.6. Potentiel d'oxydoréduction

La valeur moyenne du potentiel d'oxydoréduction est plus élevée à la station Medjez Amar (B1) avec un total de - 40,45 mV. Par contre, la valeur la plus faible a été localisée au niveau de la station Taya (B3) avec une somme de -129,83 mV (Fig.3.6).

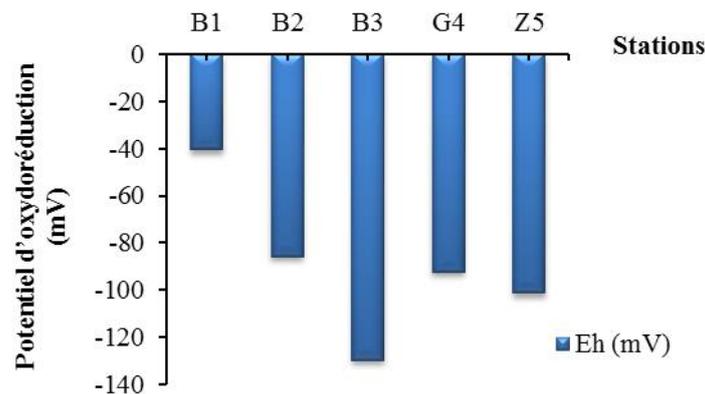


Figure 3.6 : Fluctuation du potentiel d'oxydoréduction selon les stations

3.1.1.7. Total des solides dissouts

Les valeurs obtenues de la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau, le TDS composé de sels inorganiques montrent un minimum de 695,25 mg/l au niveau de la station d'oued Gheraib (G4) et un maximum de 1566,75mg/l au niveau d'Oued Zenati (Z5) (Fig.3.7).

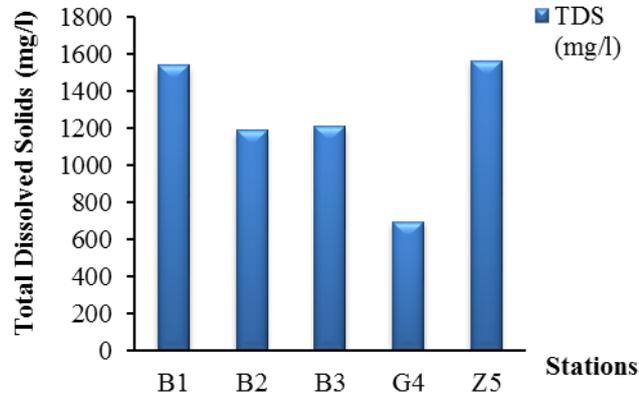


Figure 3.7 : Fluctuation du total des solides dissouts selon les stations

3.1.1.8. Turbidité

Dans notre site d'étude, les valeurs de la turbidité sont variables et irrégulières, d'après l'allure de l'histogramme (Fig.3.8) la valeur moyenne la plus élevée avec 37 NTU a été enregistrée à la station d'Oued Zenati (Z5). Par contre, les eaux des stations Mermoura (B2), Taya (B3) et Gheraib (G4) sont peu turbides.

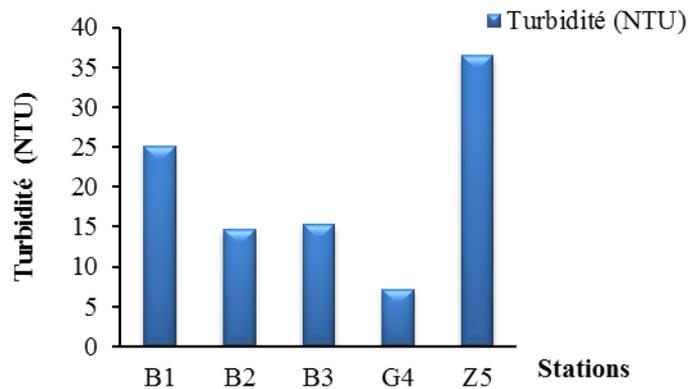


Figure 3.8 : Fluctuation de la turbidité selon les stations

3.1.2. Paramètres chimiques de l'eau

3.1.2.1. Calcium

Dans les échantillons d'eau analysés, les teneurs en calcium enregistrées varient entre 116,82 mg/l et 178,87 mg/l à la station Gheraib (G4) et la station Oued Zenati (Z5) respectivement. Au niveau des stations Mermoura (B2) et Taya (B3) les concentrations en ions de calcium affectent les 139 mg/l (Fig.3.9).

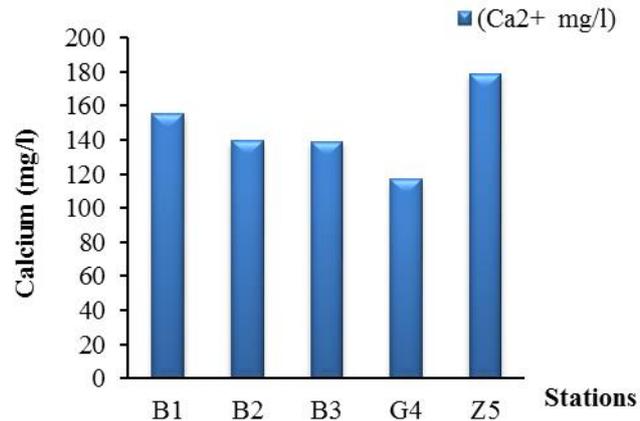


Figure 3.9 : Fluctuation du calcium selon les stations

3.1.2.2. Dureté totale (titre hydrotimétrique total)

Dans les échantillons analysés (Fig.3.10), ce paramètre présente une faible variation d'une station à l'autre. La valeur maximale enregistrée affecte les 59,65 F° à la station Oued Zenati (Z5) et la valeur minimale avec 34,55 F° à la station Gheraib (G4).

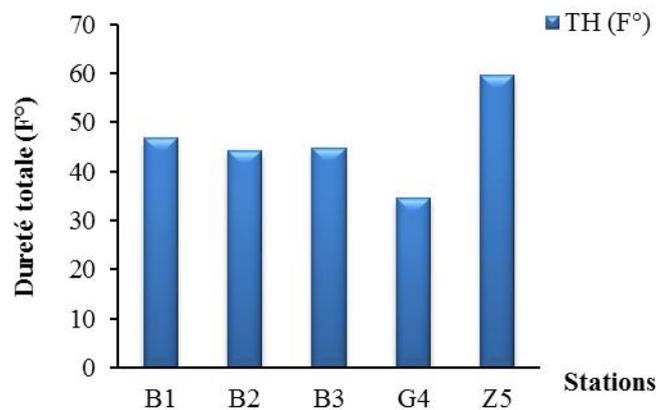


Figure 3.10 : Fluctuation de la dureté totale selon les stations

3.1.2.3 Chlorure

Les teneurs en chlorures relevées dans les stations : Medjez Amar (B1) et Oued Zenati (Z5) sont les plus élevées (209,45 mg/l et 110,05 mg/l) respectivement que celles enregistrées dans les stations Mermoura (B2), Taya (B3) et Gheraib (G4) (Fig.3.11).

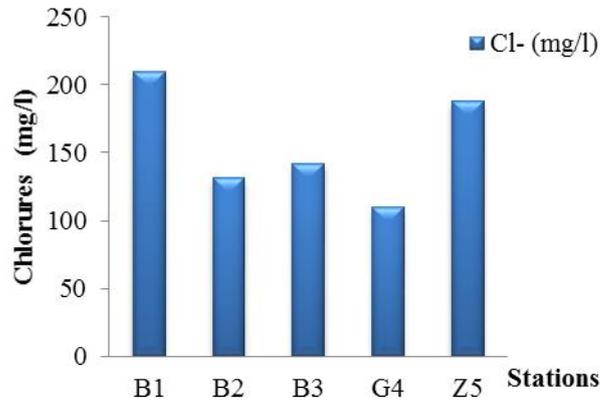


Figure 3.11 : Fluctuation des chlorures selon les stations

3.1.2.4. Sulfates

Les concentrations en sulfates enregistrées pour les eaux de Bouhamdane et ces affluents sont comprises entre 225,25 et 331,50 mg/l. La teneur minimale est observée à la station Gheraib (G4) et la teneur maximale est signalée à la station Medjez Amar (B1). Les valeurs de sulfates sont voisines dans les stations Mermoura (B2), Taya (B3), Oued Zenati (Z5) et s'échelonnent respectivement entre 246,25 mg/l ; 259,50 mg/l et 301,75 mg/l (Fig.3.12).

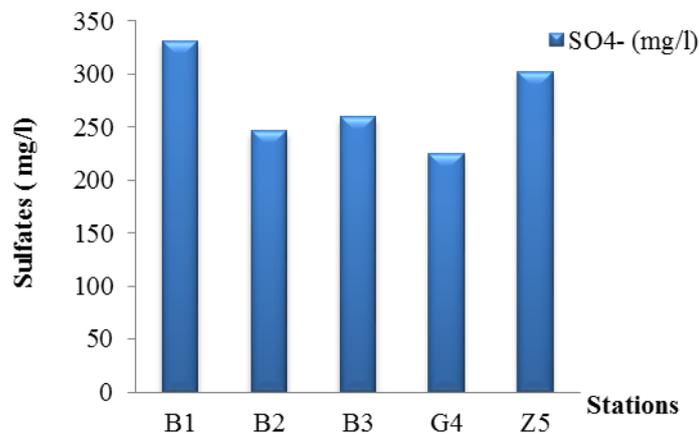


Figure 3.12 : Fluctuation des sulfates selon les stations

3.1.3. Paramètres de pollution

3.1.3.1. Nitrates

Le suivi des teneurs en nitrates a permis d'obtenir les résultats mentionnés dans la Figure 3.13, les valeurs minimales enregistrées oscillent entre 1,74mg/l à la station Medjez Amar (B1) et 1,90 mg/l à la station Gheraib (G4). La valeur maximale observée (4,63mg/l) mesurée au niveau de la station Oued Zenati (Z5) (Fig.3.13).

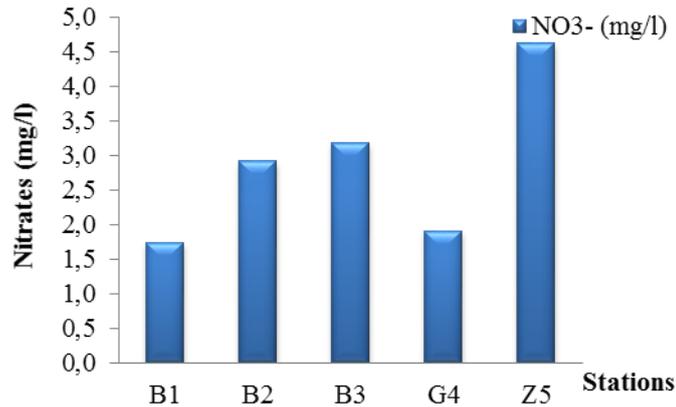


Figure 3.13 : Fluctuation des nitrates selon les stations

3.1.3.2. Nitrites

Les teneurs moyennes en nitrites dans les stations de notre site d'étude sont relativement faible (inférieures ou égale à 0,1 mg/l) à l'exception de celle de la station Medjez Amar (B1) qui affiche une valeur maximale de 0,23mg/l (Fig.3.14).

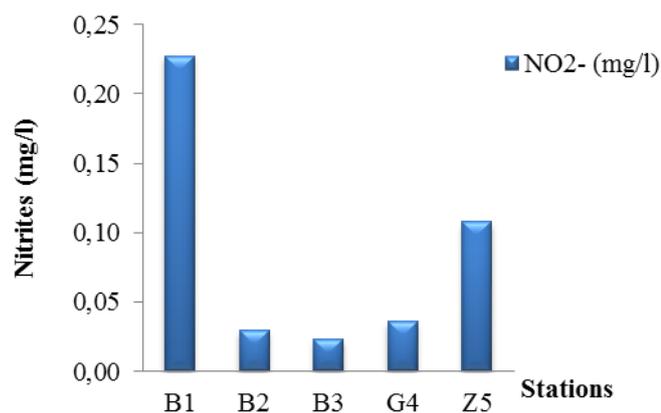


Figure 3.14 : Fluctuation des nitrites selon les stations

3.1.3.3. Ammonium

Les teneurs moyennes d'Ammonium affichées d'après les analyses obtenues sont faibles à tous les points de mesure, sauf pour un seul pic enregistré à la station Medjez Amar (B1) avec 1,72 mg/l (Fig.3.15).

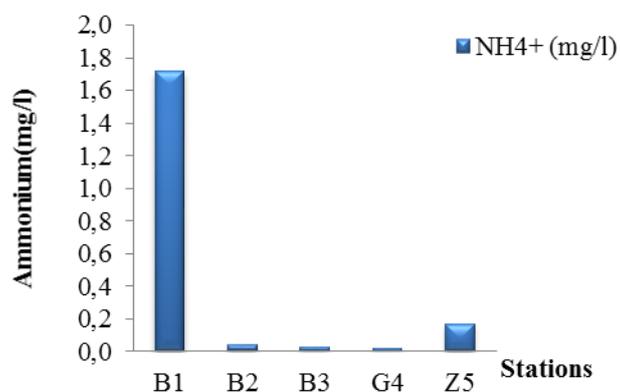


Figure 3.15 : Fluctuation de l'ammonium selon les stations

3.1.3.4. Ortho phosphates

L'analyse chimique des échantillons d'eaux (Fig.3.16), montrent que des teneurs en ortho phosphates très faibles dans les stations Mermoura (B2), Taya (B3) et Gheraib (G4) et s'échelonnent respectivement entre 0,25 mg/l ; 2,27 et 0,23 mg/l. La forte teneur a été enregistrée dans la station Medjez Amar (B1) avec 0,98 mg/l.

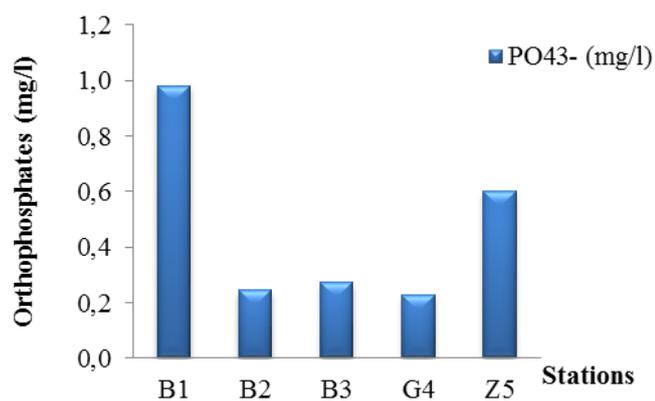


Figure 3.16 : Fluctuation des Ortho phosphates selon les stations

3.1.3.5. Matière en suspension

La plus faible teneur de matière en suspension (MES) durant la période d'étude est 3,5 mg/l enregistrée à la station Gheraib (G4), tandis que les plus fortes valeurs déterminent les stations Oued Zenati (Z5) avec 26 mg/l et Medjez Amar (B1) avec 19,5 mg/l (Fig.3.17)

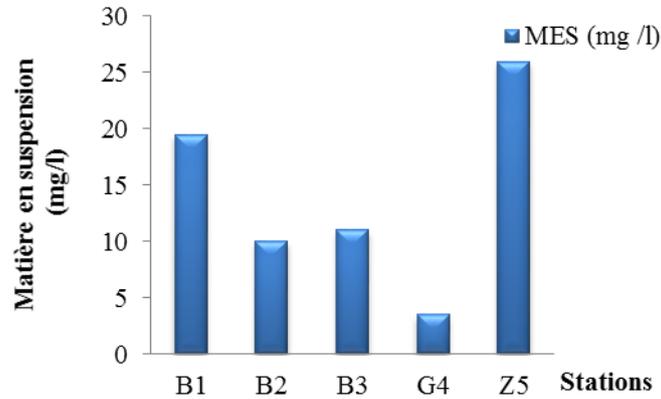


Figure 3.17 : Fluctuation des matières en suspension selon les stations

3.1.3.6. Bicarbonates

Pendant la période d'étude on remarque que les teneurs en bicarbonates sont de 269,9 mg/l ; 282,1 mg/l ; 278,2mg/l et 241,9mg/l dans les stations suivantes : Medjez Amar (B1), Mermoura (B2), Taya (B3) et Gheraib (G4) respectivement. La valeur maximale observée dans la station Oued Zenati (Z5) avec 345,9 mg/l (Fig.3.18).

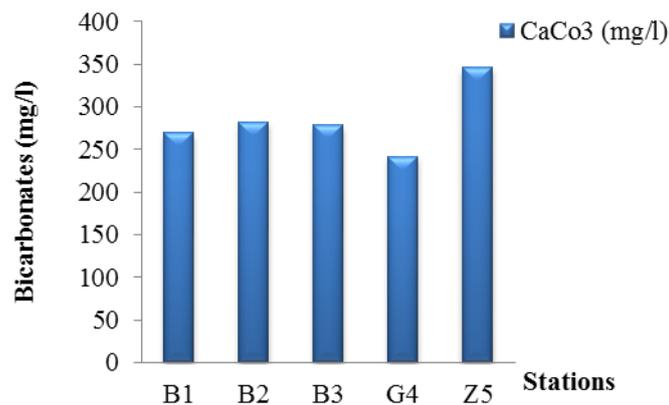


Figure 3.18 : Fluctuation des bicarbonates selon les stations

3.1.4. Analyse globale de la faune benthique d'oued Bouhamdane et ces affluents

3.1.4.1. Check-list des taxa faunistiques

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Medjez Amar	Mermoura	Taya	Gheraib	Oued Zenati
Arthropodes	Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	1	1	1	1	1
			Caenidae	1	1	1	1	0
			Leptophlebiidae	1	1	1	1	0
			Potamanthidae	0	1	0	1	0
			Heptageniidae	1	1	0	0	0
		Plécoptères	Chloroperlidae	1	0	0	1	0
			Perlodidae	0	0	0	1	0
			Taeniopterygidae	0	0	0	0	1
		Trichoptères	Helicopsychidae	1	0	0	0	0
		Diptères	Chironomidae	1	1	1	1	1
			Simuliidae	1	1	1	1	1
			Diptère non identifié	0	1	1	1	1
			Dixidae	0	1	0	0	0
			Psychodidae	0	0	1	0	0
			Empididae	0	0	0	1	0
			Limoniidae	1	0	0	0	0
			Scatophagidae	1	0	0	0	0
		Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	1	0
		Coléoptères	Noteridae	0	0	0	1	0
			Elmidae	0	0	0	0	1
Odonates	Zygoptère	1	0	0	1	0		
Hémiptères	Gerridae	0	1	0	0	0		
Arthropodes	Crustacés		Crevettes	0	0	0	1	0
		Amphipodes	Gammaridae	1	1	0	0	0
Mollusques	Gastéropode		Hydrobiidae	1	0	0	0	0
			Lymnaeidae	1	0	0	0	0
			Acroloxidae	1	0	0	1	0
			Ancylidae	0	0	1	1	1
			Valvatidae	1	0	0	0	0
			Physidae	1	0	0	0	0
			Viviparidae	0	1	0	0	0
Annélides	Oligochètes		Lumbricidae	1	1	0	1	1
	Achètes		Erpobdelliidae	1	0	0	0	1
			Glossiphoniidae	1	1	0	0	0
			Sp inconnu	0	0	1	0	0
Total				20	14	9	17	9

1 : Présence

0 : Absence

3.1.4.2. Analyse globale des macroinvertébrés benthiques :

Au niveau des cours d'eau étudiés, notre inventaire faunistique a permis de recenser pendant les 4 mois de prélèvements un total de 34704 individus. Les groupes les mieux représentés sont les Diptères, les Mollusques et les Ephéméroptères. Ils comptent chacun 8 ; 7 et 5 taxa respectivement. Les autres sont relativement moins abondants comme les Plécoptères (3 taxa), les Coléoptères et les Achètes (2 taxa). Les Trichoptères, les Hétéroptères, les Odonates, les Crustacés, les Oligochètes, les Hémiptères et les Sp inconnu avec seulement un taxa.

Du point de vue qualitatif, les Insectes représentent (40%), les Diptères (22,86%), les Mollusques (20%), les Annélides (8,57%), les Crustacés (5,71%) et les espèces inconnues représentent (2,86%) (Fig.3.19).

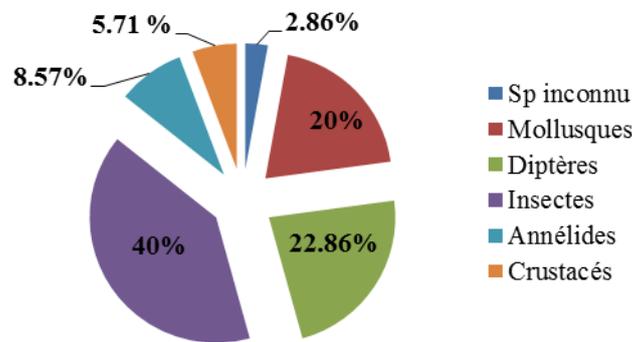


Figure 3.19 : Abondance de la faune globale des macroinvertébrés dans la zone d'étude.

3.1.4.3. Richesse taxonomique

La richesse taxonomique la plus élevée est observée à la station Medjez Amar (B1) avec 20 taxons. Mermoura (B2) et Gheraib (G4) sont représentées par des habitats moyennement riche en taxa faunistique avec respectivement 14 et 17 taxons, alors que la valeur réduite (9 taxons) a été repérée au niveau de la station de Taya (B3) et Oued Zenati (Z5) (Fig.3.20).

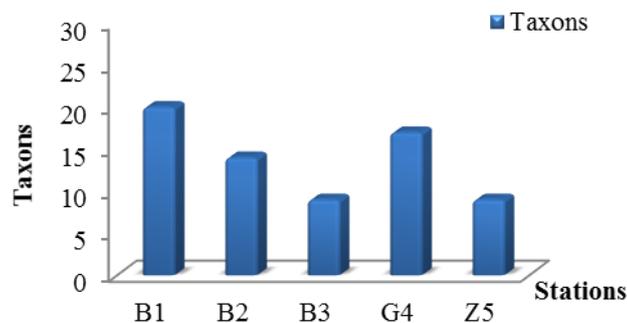


Figure 3.20 : Richesse taxonomique des stations étudiées

3.1.4.4. Abondance

Le nombre des macroinvertébrés obtenu dans le site Oued Zenati (Z5) est le plus élevé (11410 individus soit 33,74 %). Il a été suivi du site Taya (B2), Mermoura (B2) et Medjez Amar (B1) avec respectivement 8504 (soit 24,34 %) et 8448 individus (soit 24,50%) 4340 individus (soit 12,51 %). Le site Gheraib avec 1715 individus seulement (soit 4,90 %) a été le site le moins peuplé (Fig. 3.21).

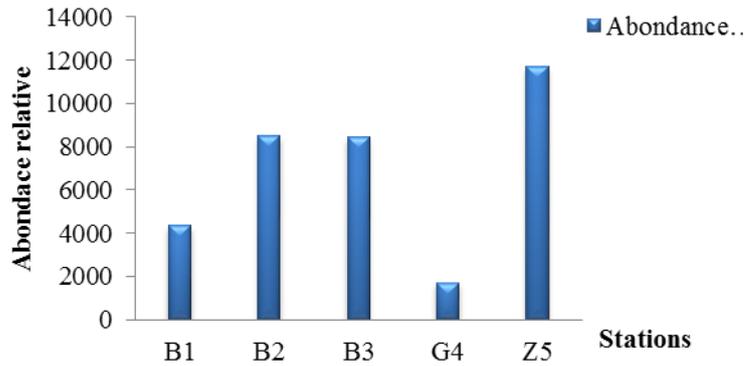


Figure 3.21 : Abondance relative des groupes faunistiques selon les stations

3.1.4.5. Fréquence relative des macroinvertébrés par station d'étude

Les taxons les plus abondants dans les stations d'échantillonnage sont : *Simuliidae* avec un pourcentage de (85,78%), *Baetidae* (33,55%), *Physidae* et *Chironomidae* (51.80% et 31.71%) respectivement. Par contre les taxons les plus rares sont : *Taeniopterygidae*, *Dixidae*, *Psychodidae*, *Elmidae*, *Viviparidae* et Sp inconnu avec un pourcentage 0,01% (Fig. 3.22 ; 3.23 ; 3.24 ; 3.25 et 3.26).

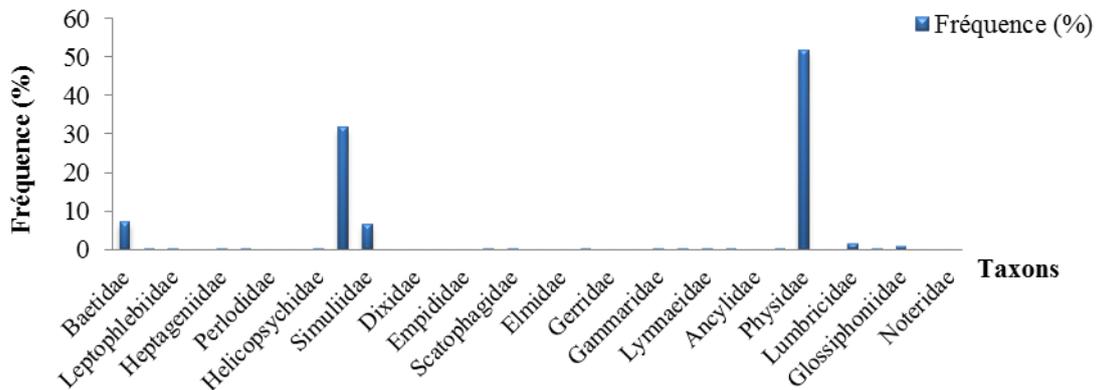


Figure 3.22 : Fréquence des macroinvertébrés de Medjez Amar

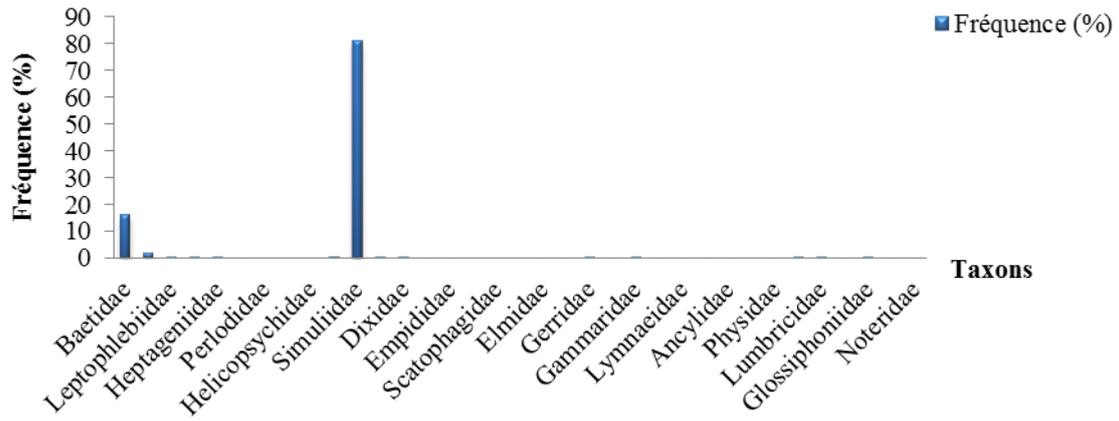


Figure 3.23 : Fréquence des macroinvertébrés de Mermoura

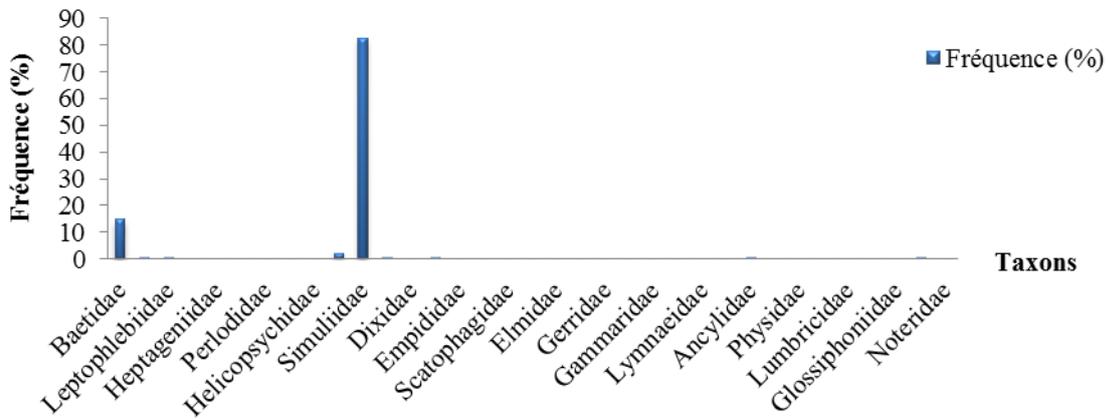


Figure 3.24 : Fréquence des macroinvertébrés de Taya

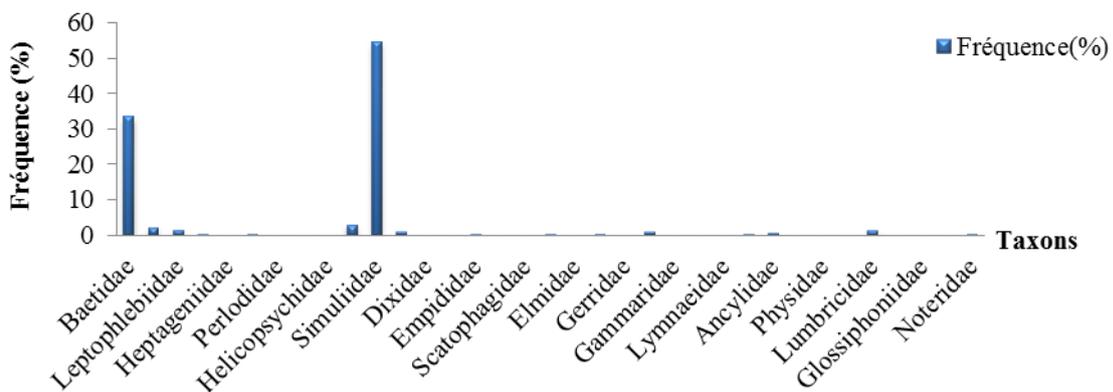


Figure 3.25 : Fréquence des macroinvertébrés de Gheraib

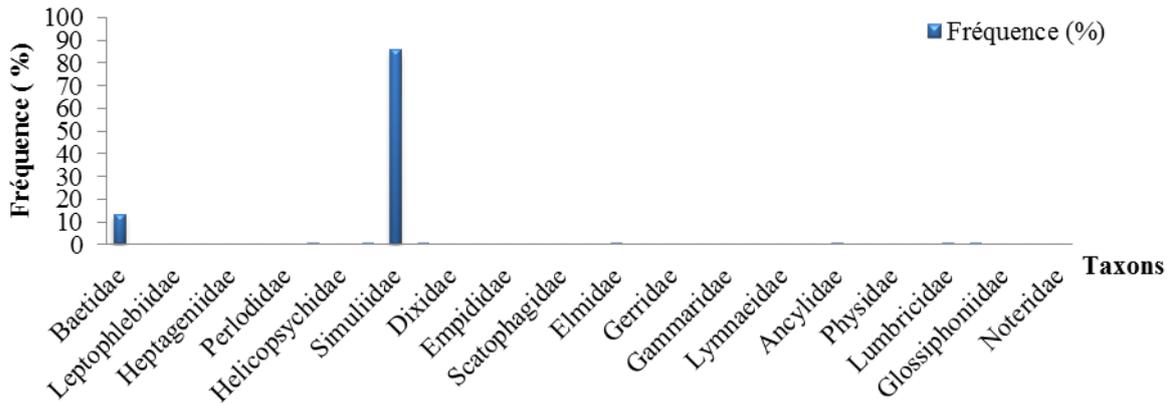


Figure 3.26 : Fréquence des macroinvertébrés d'Oued Zenati

3.1.4.5. Indices écologiques

▪ Indice de diversité de Shannon-Weaver H' (1963)

Les résultats obtenus pour cet indice (Fig. 3.27) montrent que les valeurs de la diversité varient entre 0,65 et 1,76. Les plus grandes valeurs ont été enregistrée dans les stations Medjez Amar (B1) et Gheraib (G4), tandis que les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les stations Mermoura (B2), Taya (B3) et Oued Zenati (Z5).

Par définition l'équitabilité E varie de 0 à 1 (DAJOZ, 1985), l'équitabilité est pratiquement abaissée pour la majorité des stations étudiée. Cet indice varie entre 0,21 et 0,42. Les valeurs maximales sont marquées dans les stations Gheraib (G4) et Medjez Amar (B1). Cependant les valeurs minimales sont notées à Mermoura (B2), Taya (B3) et Oued Zenati (Z5).

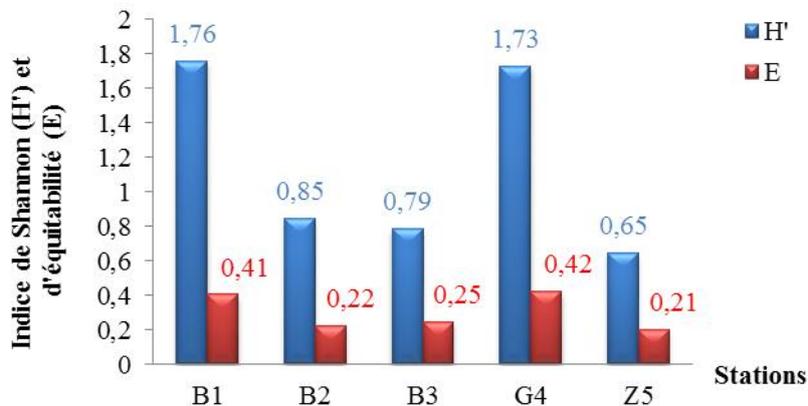


Figure 3.27 : variation de l'indice de diversité et d'équitabilité selon les stations

- **Indice de diversité de Simpson (1949)**

L'indice de Simpson a été calculé dans chaque station, les résultats (Fig. 3.28) montrent que cet indice varie entre 0,38 et 0,75. Les valeurs maximales sont enregistrées dans les stations Oued Zenati Z5 (0,75), Taya B3 (0,71) et Mermoura B2 (0,68), les valeurs minimales sont enregistrées dans les stations Medjez Amar B1 (0,38) et Gheraib G4 (0,41).

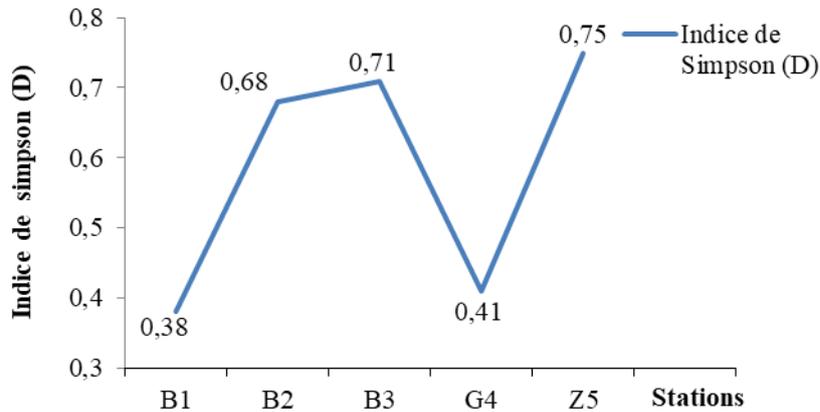


Figure 3.28 : variations de l'indice de Simpson selon les stations

- **Indice de diversité de Hill (1973)**

Les résultats de l'indice de diversité de Hill (Fig. 3.29) montrent que les valeurs maximales sont enregistrées dans les stations suivantes : Oued Zenati Z5 (0,70), Taya B3 (0,64) et Mermoura B2 (0,63). Cependant les valeurs minimales sont également notées dans les stations : Medjez Amar B1 (0,45) et Gheraib G4 (0,47).

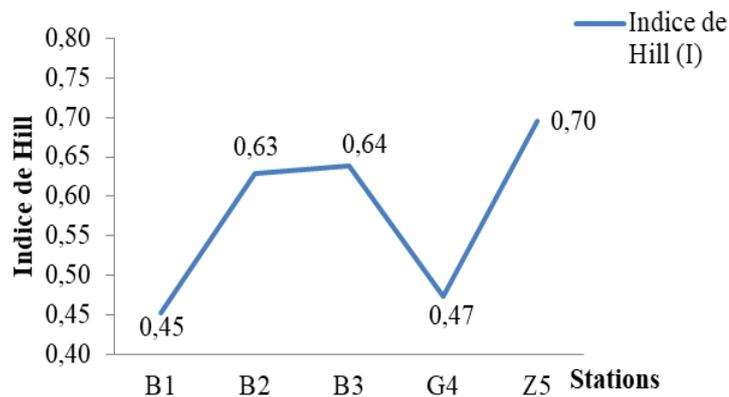


Figure 3.29 : variations de l'indice de Hill dans la zone d'étude.

3.1.4.6. Détermination de l'indice biologique global (IBGN)

L'unité taxonomique retenue est la famille, à l'exception de quelques groupes faunistiques (embranchements ou classes) faiblement représentés ou dont l'identification délicate, effectuée par des non-spécialistes, s'avère peu fiable. La liste (Annexe 06) contient 152 taxons susceptibles de participer à la variété totale (VT) dont 38 indicateurs qui constituent les 9 groupes faunistiques indicateurs (GI), numérotés de 1 à 9 dans le tableau de détermination, par ordre de polluosensibilité croissante). Des regroupements ont été effectués pour les Mollusques et les Achètes.

L'IBGN est établi à partir du tableau 3.1 comprenant les quatorze classes de variétés taxonomiques et du tableau 3.2 comprenant les neuf groupes faunistiques indicateurs (GI).

D'abord, on détermine successivement :

- **La variété taxonomique de l'échantillon (Σt)** ce nombre permet de déterminer la **classe de variété taxonomique (VT)** à l'aide du tableau 3.1.
- **Le groupe faunistique indicateur (GI)** en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins trois individus ou dix individus selon les taxons (voir note tableau 3.2). La détermination du GI s'effectue en prospectant les colonnes du tableau du GI 9 au GI 1 et en arrêtant l'examen à la première présence significative ($n > 3$ individus ou $n > 10$ individus) selon les indications données dans la liste des 38 taxons indicateurs, en sélectionnant le taxon qui représente le degré de polluosensibilité le plus élevé de l'échantillon intégral de la station étudiée.

Tableau 3.1 : Détermination de la classe de variété taxinomique

VT	>50	49à45	44à41	40à37	36à33	32à29	28à25	24à21	20à17	16à13	12à10	9à7	6à4	3à1
Classe de variété	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Tableau 3.2 : Détermination du groupe faunistique indicateur

Taxons	Chloroperlidae	Capniidae Brachycentridae	Leuctridae Glossosomatidae	Nemouridae Lepidostomatidae	Hydroptilidae Heptageniidae	Leptoceridae Polycentropodidae	Limnephiliidae	Baetidae Caenidae Elmidae Gammariidae	Chironomidae Asellidae Achètes Oligochètes
GI	9	8	7	6	5	4	3	2	1

En gras, les taxons représentés par au moins dix individus - Les autres par au moins trois individus

L'IBGN est calculé par la relation suivante : $IBGN = GI + VT - 1$, avec $IBGN < 21$

Tableau 3.3 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Medjez Amar selon l'IBGN

Station (B1) Medjez Amar								
Classe	Ordre	Famille	Fév	Mars	Avr	Mai	Total	GI
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	1	0	228	80	309	2
		Caenidae	0	0	1	1	2	2
		Leptophlebiidae	0	2	0	0	2	7
		Potamanthidae					0	
		Heptageniidae	0	1	0	0	1	5
	Plécoptères	Chloroperlidae	1	0	0	0	1	9
		Perlodidae					0	
		Taeniopterygidae					0	
	Trichoptères	Helicopsychidae	1	0	0	0	1	
	Diptères	Chironomidae	56	363	720	237	1376	1
		Simuliidae	9	50	190	30	279	
		Diptère non identifié					0	
		Dixidae					0	
		Psychodidae					0	
		Empididae					0	
		Limoniidae	0	0	0	1	1	
		scatophagidae	0	0	6	0	6	
	Hétéroptères	Notonectidae						
	Coléoptères	Noteridae					0	
		Elmidae					0	
Odonates	Zygoptère	0	0	0	1	1		
Hémiptères	Gerridae					0		
Crustacés		Crevettes					0	
	Amphipodes	Gammaridae	0	0	1	0	1	2
mollusques		Hydrobiidae	0	0	4	0	4	2
		Lymnaeidae	0	0	0	2	2	2
		Acroloxidae	0	6	0	0	6	
		Ancylidae					0	
		Valvatidae	0	0	1	0	1	2
		Physidae	7	15	1191	1035	2248	2
		Viviparidae					0	
Annélides	Oligochète	Lumbricidae	20	15	10	20	65	1
	Achète	Erpobdelliidae	0	0	0	1	1	1
		Glossiphoniidae	0	0	0	33	33	1
		sp inconnu						
Variété Total (VT)		20 TAXON	95	452	2352	1441	4340	
			Effectif totale					

$$\text{IBGN} = 9 + 6 - 1 = 14$$

Tableau 3.4 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Mermoura selon l'IBGN

Station (B2) Mermoura									
Classe	Ordre	Famille	Fév	Mars	Avr	Mai	Total	GI	
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	100	304	485	490	1379	2	
		Caenidae	20	93	40	6	159	2	
		Leptophlebiidae	0	0	0	1	1	7	
		Potamanthidae	0	0	0	1	1	5	
		Heptageniidae	1	0	0	0	1	5	
	Plécoptères	Chloroperlidae					0		
		Perlodidae					0		
		Taeniopterygidae					0		
	Trichoptères	Helicopsychidae					0		
	Diptères	Chironomidae	0	8	30	18	56	1	
		Simuliidae	63	40	493	6294	6890		
		Diptère non identifié	3	3	1	0	7		
		Dixidae	0	0	0	1	1		
		Psychodidae					0		
		Empididae					0		
		Limoniidae					0		
		Scatophagidae					0		
		Hétéroptères	Notonectidae					0	
		Coléoptères	Noteridae					0	
	Elmidae						0		
Odonates	Zygoptère					0			
Hémiptères	Gerridae	0	1	0	1	2			
Crustacés		Crevettes					0		
	Amphipodes	Gammaridae	0	1	0	0	1	2	
Mollusques		Hydrobiidae					0		
		Lymnaeidae					0		
		Acroloxidae					0		
		Ancylidae					0		
		Valvatidae					0		
		Physidae					0		
		Viviparidae	0	0	0	1	1	2	
Annélides	Oligochètes	Lumbricidae	0	0	2	0	2	1	
	Achètes	Erpobdelliidae					0		
		Glossiphoniidae	1	0	1	1	3	1	
		Sp inconnu							
Variété Total (VT)		14 TAXONS	188	450	1052	6814	8504		
							Effectif totale		

$$\text{IBGN} = 7 + 5 - 1 = 11$$

Tableau 3.5 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Taya selon l'IBGN

Station (B3) Taya									
Classe	Ordre	Famille	Fév	Mars	Avr	Mai	Total	GI	
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	162	165	404	510	1241	2	
		Caenidae	3	2	12	4	21	2	
		Leptophlebiidae	0	0	0	1	1	7	
		Potamanthidae					0		
		Heptageniidae					0		
	Plécoptères	Chloroperlidae					0		
		Perlodidae					0		
		Taeniopterygidae					0		
	Trichoptères	Helicopsychidae					0		
	Diptères	Chironomidae	2	19	126	28	175	1	
		Simuliidae	62	64	2439	4421	6986		
		Diptère non identifié	1	1	0	18	20		
		Dixidae					0		
		Psychodidae	0	0	0	1	1		
		Empididae					0		
		Limoniidae					0		
		Scatophagidae					0		
		Hétéroptères	Notonectidae					0	
		Coléoptères	Noteridae					0	
	Elmidae						0		
Odonates	Zygoptère					0			
Hémiptères	Gerridae					0			
Crustacés		Crevettes					0		
	Amphipodes	Gammaridae					0		
Mollusques		Hydrobiidae					0		
		Lymnaeidae					0		
		Acroloxidae					0		
		Ancylidae	0	0	1	1	2	2	
		Valvatidae					0		
		Physidae					0		
Annélides	Oligochètes	Viviparidae					0		
		Lumbricidae					0		
	Achètes	Erpobdelliidae					0		
Glossiphoniidae						0			
		Sp inconnu	1	0	0	0	1		
Variété Total (VT)		9 TAXONS	231	251	2982	4984	8448		
Effectif totale									

$$\text{IBGN} = 7 + 3 - 1 = 9$$

Tableau 3.6 : Relevé des macroinvertébrés benthique de la station Gheraib selon l'IBGN

Station (G4) Gheraib								
Classe	Ordre	Famille	Fév	Mars	Avr	Mai	Total	GI
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	90	169	0	312	571	2
		Caenidae	9	11	0	16	36	2
		Leptophlebiidae	0	0	0	24	24	7
		Potamanthidae	1	0	0	0	1	5
		Heptageniidae					0	
	Plécoptères	Chloroperlidae	2	0	0	0	2	9
		Perlodidae	1	13	0	0	14	9
		Taeniopterygidae					0	
	Trichoptères	Helicopsychidae					0	
	Diptères	Chironomidae	10	31	0	8	49	1
		Simuliidae	376	477	0	78	931	
		Diptère non identifié	17	0	0	0	17	
		Dixidae					0	
		Psychodidae					0	
		Empididae	0	1	0	0	1	
		Limoniidae					0	
		Scatophagidae					0	
	Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	1	1	
	Coléoptères	Noteridae	0	0	0	1	1	
		Elmidae					0	
Odonates	Zygoptère	0	0	0	4	4		
Hémiptères	Gerridae					0		
Crustacés		Crevettes	0	0	0	15	15	
	Amphipodes	Gammaridae					0	
Mollusques		Hydrobiidae					0	
		Lymnaeidae	0	2	0	0	2	
		Acroloxidae					0	
		Ancylidae	2	0	0	8	10	2
		Valvatidae					0	
		Physidae					0	
		Viviparidae					0	
Annélides	Oligochètes	Lumbricidae	8	14	0	1	23	1
	Achètes	Erpobdelliidae					0	
		Glossiphoniidae					0	
		Sp inconnu					0	
Variété Total (VT)		17 TAXONS	516	718	0	468	1702	
Effectif totale								

$$\text{IBGN} = 9 + 6 - 1 = 14$$

Tableau 3.7 : Relevé des macroinvertébrés benthique da la station Oued Zenati selon l'IBGN

Station (Z5) Oued Zenati								
Classe	Ordre	Famille	Fév	Mars	Avr	Mai	Total	GI
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	266	360	470	457	1553	2
		Caenidae					0	
		Leptophlebiidae					0	
		Potamanthidae					0	
		Heptageniidae					0	
	Plécoptères	Chloroperlidae					0	
		Perlodidae					0	
		Taeniopterygidae	0	1	0	0	1	9
	Trichoptères	Helicopsychidae					0	
	Diptères	Chironomidae	9	7	25	3	44	1
		Simuliidae	446	431	4947	4221	10045	
		Diptère non identifie	8	0	0	0	8	
		Dixidae					0	
		Psychodidae					0	
		Empididae					0	
		Limoniidae					0	
		Scatophagidae					0	
	Hétéroptères	Notonectidae					0	
	Coléoptères	Noteridae					0	
		Elmidae	0	0	0	1	1	2
Odonates	Zygoptère					0		
Hémiptères	Gerridae					0		
Crustacés		Crevettes					0	
	Amphipodes	Gammaridae					0	
Mollusques		Hydrobiidae					0	
		Lymnaeidae					0	
		Acroloxidae					0	
		Ancylidae	0	0	0	1	1	2
		Valvatidae					0	
		Physidae					0	
		Viviparidae					0	
Annélides	Oligochètes	Lumbricidae	11	45	0	0	56	1
	Achètes	Erpobdelliidae	0	0	0	1	1	1
		Glossiphoniidae					0	
		Sp inconnu					0	
Variété Total (VT)		9 TAXONS	740	844	5442	4684	11710	
							Effectif totale	

$$\text{IBGN} = 9 + 3 - 1 = 11$$

- **Station de Medjez Amar :** Cette station présente une note d'IBGN la plus élevée 14. Une variété totale (VT= 20) et une classe de variété (CV = 6) correspondant au taxon des Plécoptères (Chloroperlidae) qui représente 0,02% de la faune totale des macroinvertébrés. Les Mollusques représentent le taxon dominant durant toute la période d'étude avec 55,73% dont 55,56 % pour les Physidae. Le reste des taxons sont représentés par les Diptères 34,01 %, les Ephéméroptère 7,76%, les Oligochètes 1,61% enfin les Achètes 0,84% et les Crustacés avec un seul individu (0,02%)
- **Station de Mermoura :** L'analyse de la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques à la station de prélèvement (B2), présente une note d'IBGN égale à 11, une classe de variété (CV = 5) et un groupe indicateur (GI = 7) représenté par le taxon des Ephéméroptères de la famille des Baetidae. L'IBGN est principalement représenté par les Diptères (Chironomidae) avec 3,49%, Achètes 0,19%, les Oligochètes 0,12%, les Mollusques, les Crustacés 0.06% et enfin les Ephéméroptères (Baetidae, Caenidae, Heptageniidae, Potamanthidae) qui prédominent avec 96,07% dont 85,97% sont des Baetidae.
- **Station de Taya :** Dans cette station (B3) on obtient un IBGN le plus faible = 9, avec un nombre de taxa (VT= 9), une classe de variété (CV = 3), et un groupe indicateur (GI = 7) qui correspond au taxon des Ephéméroptères (Baetidae, Caenidae, et Leptophlebiidae) qui représente 87.81% par rapport à la faune totale. Le reste des taxons est représenté par les diptères 12,15% (Chironomidae) et enfin les Mollusques 0,14% (Ancyliidae).
- **Station de Gheraib :** La station Gheraib (G4) enregistre un indice biologique global normalisé égale (14) parmi les plus élevée, avec une variété totale (VT= 17), avec une classe de variété (CV = 6) et un groupe indicateur (GI = 9). Le groupe faunistique le plus représenté est les Ephéméroptères 90.8% (Baetidae, Caenidae, Potamanthidae et Leptophlebiidae). Le reste de la faune est constitué de Plécoptère 2,3 % (Chloroperlidae, Perlodidae), Achètes 3,3% (Lumbricidae), Diptère 2,16% (Chironomidae) et Mollusques 1.44% (Ancyliidae).
- **Station d'Oued Zenati :** Cette station enregistre une note d'IBGN (11), une variété faunistique (VT= 9 taxons), une classe de variété (CV = 3) et un groupe indicateur (GI =9), représenté par les groupes des Ephéméroptères soit 93,72% (Baetidae), les Achètes soit 0.06% (Erpobdelliidae), les Oligochète soit 3,38% (Lumbricidae), Diptères soit 2.66% (Chironomidae) et les Mollusques soit 0,06% (Ancyliidae), Plécoptères soit 0,06% (Taeniopterygidae) et Coléoptères soit 0,06% (Elmidae) avec un seul individu.

3.2. Discussion

3.2.1. Caractéristiques environnementales

3.2.1.1. Qualité physico-chimique de l'eau

Afin de prévenir et réduire la pollution des eaux, les concentrations obtenues dans cette étude sont calibrées à une Norme de Qualité Environnementale, ou NQE, définie comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ». La détermination de ces normes suit une méthodologie spécifique qui a été élaborée au niveau européen (Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards), selon la nouvelle grille du système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (Oudin et Maupas, 2003), qui découle de l'application de la directive cadre européenne.

Les valeurs moyennes des températures relevées au niveau de la région d'étude ont montré une faible fluctuation entre les stations, à l'exception de la station de Medjez Amar qui a embusqué une valeur moyenne de 20 °C. Cette détermination revient éventuellement à la présence des eaux thermales d'oued Chedakha à (Hammam Débagh) qui se déversent sur le Bouhamdane à quelques centaines de mètres en amont de notre station. Les températures des eaux de Bouhamdane sont conformes à la valeur guide pour les eaux de surface qui prévoient une valeur maximale de 25 °C.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés (Rodier J., 2009). Les eaux traversant des terrains granitiques sont peu minéralisées, avec un pH acide ou voisin de la neutralité. Les eaux traversant des terrains calcaires ont par conséquent une forte concentration en bicarbonates et un pH élevé (Angelier, 2003). Les valeurs observées du pH présentent des eaux relativement neutre à alcaline, variant entre 7,75 à 9,43. Les pH des échantillons obtenus sur l'ensemble des prélèvements sont tous inférieurs à la valeur recommandée et classe les eaux de Bouhamdane de bonne qualité.

Pour l'ensemble des stations de prélèvements, les teneurs en oxygène dissous sont relativement faible, elles varient entre une valeur minimale de 1,12 mg/l et une valeur maximale allant jusqu'à 2,98 mg/l. Ces valeurs restent inférieures à 8 mg/l selon les Norme de Qualité Environnementale, permettant de qualifier les eaux de ce cours d'eau de mauvaise qualité et traduit incontestablement la présence d'une forte pollution organique. La présence de matières organiques réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique (Khettar, 2009).

Les teneurs moyennes de la conductivité sont relativement élevées. Elles sont de 1534,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1566,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les stations Medjez Amar et Oued Zenati respectivement. Tandis que dans la station Gheraib la minéralisation est faible avec une conductivité atteignant jusqu'à 695,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mais ces teneurs se situent toujours en deçà du critère de 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment (Frank et Kemmer, 1992).

L'analyse des données indique que la salinité des eaux de l'oued Bouhamdane variait entre 0,28 mg/l à la station Gheraib et 0,73 mg/l à la station d'Oued Zenati. Ces variations sont en relation directe avec les fluctuations de la conductivité électrique, par conséquent, l'explication des variations de ces deux paramètres se justifie par les mêmes causes naturelles et anthropiques. Les valeurs de la conductivité électrique et salinité restent dans la classe des masses d'eau en très bon état.

Les résultats obtenus sur la dureté montrent que les eaux étudiées ont des valeurs importantes variant entre une valeur minimale de 34,55 °F à la station (G4) et une valeur maximale de 59,65 °F à la station (Z5). Les valeurs moyennes enregistrées indiquent la présence des masses d'eau de qualité médiocre (>8 °F). L'origine de la forte dureté des eaux de Bouhamdane est liée simplement à la lithologie du terrain encaissant ou bien à des facteurs externes telle que la pollution agricole et domestique.

Les teneurs en chlorure des échantillons étudiés sont comprises entre 110,05 et 209,45 mg/l dépassant largement le seuil (>150 mg/l) pour une masse d'eau de qualité mauvaise affichée à (Medjez Amar avec 209,45 mg/l et Oued Zenati avec 188,15 mg/l), ce qui exprime l'influence de la pollution d'origine anthropique notamment l'agriculture et les rejets domestiques. Les chlorures pourraient provenir naturellement de la percolation à travers les terrains salés (Brémond *et al.*, 1979).

Les concentrations en sulfates enregistrées au cours de notre période d'étude sont comprises entre 225,25 mg/l dans la station d'oued Gheraib (G4) et 331,50 mg/l à Medjez Amar. Ces valeurs moyennes dépassent largement le seuil (>190 mg/l) et indiquent en conséquence une masse d'eau de qualité médiocre à mauvaise sur l'ensemble des sites explorés. La présence de cet élément dans l'eau est peut être liée à la dissolution des lentilles gypseuses et la présence des rejets des eaux usées (Reggam, 2015). Mais les teneurs exceptionnelles de sulfate à la station de Medjez Amar (B1), trouve son origine principale dans la présence des eaux thermales très chargées de chlorure de sodium, de sulfate de chaux et de matière organique qu'elle reçoit de

l'affluent Chedakha qui les conduit à l'oued Bouhamdane sur sa rive droite en amont de notre station.

Toutes les valeurs moyennes en nitrates fluctuent dans les normes prescrites selon la nouvelle grille du système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (2 à 25 mg/l) dans les stations : Mermoura (2,91 mg/l), Taya (3,18 mg/l) et Oued Zenati (4,63 mg/l) et inférieures à la norme dans Medjez Amar avec (1,74 mg/l), et Gheraib (1,90 mg/l). Ces faibles teneurs montrent que peu d'engrais sont utilisés au niveau des exploitations agricoles.

Les valeurs moyennes en ions ortho phosphates, calcium, Turbidité et nitrites sont comprises entre (0,23mg/l et 0,98mg/l), (116,82 et 178,86 mg/l), (7,19 NTU et 36,55 NTU) et (0,02 mg/l et 0,23mg/l) respectivement. Ces résultats restent en deçà du seuil de concentration admissible décrétée par les normes SEQ-Eau.

Les valeurs moyennes enregistrées sur les teneurs des NH_4^+ restent en deçà du seuil de masse d'eau médiocre (>2 mg/l).

Les taux des matières en suspension s'échelonnent de 3,5 mg/l à 26 mg/l, la comparaison des teneurs en MES avec la norme édictée par la réglementation SEQ-Eau (de 2 à 38 mg/l) place ces eaux dans la grille de bonne à moyenne qualité.

Dans les eaux d'oued Bouhamdane et ces affluents, les concentrations moyennes en bicarbonates sont majoritairement supérieures à 200 mg/l. La valeur la plus forte est enregistrée à la station Oued Zenati (345,87 mg/l). Cette très forte alcalinité peut être justifiée par la forte pollution de cette station par les rejets des eaux usées domestiques et agricole.

3.2.1.2. Indices de diversité

L'étude de diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cinq stations fait appel au calcul de l'indice de diversité de Shannon - Wiener, de l'Équitabilité, de Hill et de Simpson.

Les stations de Medjez Amar et de Gheraib, affichent des valeurs de H' > à 1,5. Elles traduisent une diversité moyenne des peuplements où tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces (Frontier, 1983). Par contre, Les valeurs < à 1 de H' ayant été enregistrées aux stations Mermoura, Taya et Oued Zenati indiquent que chaque espèce est représentée par un seul individu, ou d'un faible nombre de taxons et/ou de la dominance de quelques espèces.

Les résultats de l'indice d'équitabilité confirment ce qui a été démontré par l'indice de diversité de Shannon puisqu'il présente les mêmes variations d'une station à une autre.

Les valeurs de l'indice de Simpson dans les stations Medjez Amar et Gheraib se rapprochent de 0 ce qui signifie que les groupements décrits au sein de ces deux stations sont plus diversifiés en espèces et indiquent le maximum de diversité, tandis que les valeurs les plus élevées (se rapprochant de 1) sont enregistrées dans les stations Oued Zenati, Mermoura et Taya, compte tenu de ses groupements à faible richesse spécifique. Concernant l'indice de Hill, nous ramène aux mêmes conclusions puisqu'il varie dans le même sens. En effet, dans les différents peuplements, les profils de variation des indices Simpson et Hill présentent la même allure.

On peut conclure que les valeurs de l'indice de diversité dans les zones d'étude sont peu différents l'un de l'autre, signalons que nous avons des peuplements diversifiés mais la richesse spécifique est plus élevée dans la station B1 (avec 20 taxons) ce qui explique la présence d'un écosystème plus stable. La plus basse valeur de la diversité a été enregistrée dans les stations B3 et Z5 avec une valeur de 0,79 et 0,65 respectivement, ces valeurs sont dues à la diminution de la valeur de la richesse spécifique ($S=09$ taxons) influencées par la qualité médiocre des masses d'eau dans ces deux stations. Il reste ainsi difficile d'en faire un descripteur de l'état d'un milieu à moins de déterminer au préalable des valeurs seuil pour chaque type d'habitat et pour une surface échantillonnée donnée, ainsi que l'ont proposé Simboura et Zenetos (2002) (Tab. 3.8).

Tableau 3.8 : Exemple de classification de la pollution à partir de la valeur de H' , dans les habitats sableux/vaseux (d'après Simboura et Zenetos, 2002).

	Etat Ecologique	Valeur de H'	Classification de la pollution
	Mauvais	$0 < H' \leq 1,5$	Azoïque, très pollué
	Médiocre	$1,5 < H' \leq 3$	Fortement pollué
	Moyen	$3 < H' \leq 4$	Modérément pollué
	Bon	$4 < H' \leq 5$	Zone de transition
	Très bon	$H' > 5$	Site de référence

3.2.1.3. Evaluation de la qualité hydro biologique des cours d'eau

Pour les stations Medjez Amar et Gheraib, les résultats montrent une stabilité de l'indice autour de la note 14 quel que soit la période de prélèvement, ce qui correspond à une bonne qualité hydro biologique. Ces valeurs d'IBGN expliquées par les grands nombres de groupes indicateurs et par la variété taxonomique importante, conséquences de l'absence de rejets polluants ce qui est conforme aux résultats obtenus par Houmeur et Bendada, (2016) dans le même site d'étude.

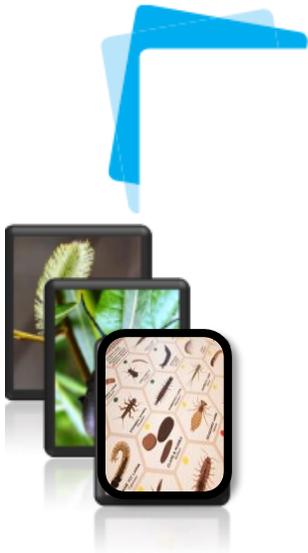
Dans les stations Mermoura et Taya, on observe une qualité hydro biologique moyenne, avec une note d'IBGN = 11 pour Mermoura et 9 pour Taya et une variété faunistique moyenne

liée à une diversification du milieu. Les groupes indicateurs repérés pour les deux stations (GI = 7), la présence de taxons sensibles aux pollutions indiquant une qualité d'eau modérément polluée.

Enfin, la station Oued Zenati enregistre une note d'IBGN égale à 11 et classe les eaux appartenant à cette zone dans la catégorie des eaux de moyenne qualité. Ceci pourrait revenir aux faibles valeurs de groupe indicateur et de la variété taxonomique dans cette station dont les caractéristiques hydro morphologiques sont modérément dégradées. En conséquence la présence de certains taxons polluo-résistants dans des proportions élevées, montrent que le milieu subit des pressions importantes découlant de l'expansion démographique et ses effets néfastes sur les ressources en eau. En effet, l'oued Bouhamdane, dans la zone de la confluence de son amont reçoit les eaux usées des agglomérations urbaines d'Oued Zenati. Il reçoit aussi les apports des petits ruissellements, surtout en hiver, en provenance des montagnes et des terrains agricoles du village de Bordj Sabath, ce qui menace sa qualité. Notre résultat concorde avec celui de (Berkani et Legrini, 2015) sur les cours d'eau de la région d'étude qui a fait l'objet de différentes évaluations de sa qualité des eaux par plusieurs chercheurs. Le tableau 3.9 résume les résultats des analyses hydro biologiques des cinq stations étudiées.

Tableau 3.9 : Appréciation de la qualité des eaux en s'appuyant sur les résultats de l'indice IBGN.

Indice	B1	B2	B3	G4	Z5
Effectif totale	4340	8504	8448	1702	11710
Variété Total (VT)	20	14	9	17	9
Classe de Variété (CV)	6	5	3	6	3
Groupe Indicateur (GI)	9	7	7	9	9
NOTE IBGN	14	11	9	14	11
Qualité hydro biologique	Bonne	Moyenne	Moyenne	Bonne	Moyenne



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le régime hydrologique d'oued Bouhamdane (Nord–Est d'Algérie) est de type pluvial, avec des hautes eaux en hiver et un étiage prononcé en été (notamment de juillet à septembre). On peut tout de même constater que l'hydrologie de l'année 2019 période de notre étude, a été très particulière avec une période de hautes eaux hivernales de février à début mai qui nous a empêché de réaliser l'échantillonnage dans des conditions convenables. Ces différences de conditions hydrologiques observées entre les campagnes d'échantillonnage peuvent hypothétiquement influencer les résultats et rendre la comparaison inter campagnes délicate.

Les paramètres physico-chimiques fournissent des indications sur la qualité de l'eau, mais ils sont assujettis à des variations par les activités anthropiques qui modifient les caractéristiques de l'eau. La comparaison des moyennes au niveau de cinq stations étudiées a permis de déceler l'existence d'un gradient généralement décroissant de l'amont vers l'aval pour les paramètres de pH et Nitrates, la présence des masses d'eau polluées d'Oued Zenati (rejets polluants importants) au débouché des deux affluents sur le Bouhamdane amont a fait que la qualité de l'eau est remarquablement contaminée dans cette région de l'oued (Oued Zenati, Taya et Mermoura) classant ces masses d'eaux dans la catégorie moyenne avec une nette pollution, puis s'améliorait peu à peu plus loin en aval (Medjez Amar) indiquant des eaux de bonne qualité mais avec une pollution modérée. Ceci peut être expliqué par le pouvoir auto-épurateur du cours d'eau.

L'analyse de la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques récoltées au cours de cette étude, a permis de faire un aperçu sur la faune des macroinvertébrés des eaux de Bouhamdane. Il y en est résulté que dans l'espace de notre étude, les groupes les mieux représentés sont les Diptères, les Mollusques et les Epheméroptères. Ils comptent chacun 8 ; 7 et 5 taxa respectivement. Les autres sont relativement moins abondants comme les Plécoptères (3 taxa), les Coléoptères et les Achètes (2 taxa). Les Trichoptères, les Hétéroptères, les Odonates, les Crustacés, les Oligochètes, les Hémiptères et les Sp inconnu avec seulement un taxa. Du point de vue qualitatif, les insectes représentent (40%), les Diptères (22,86%), les Mollusques (20%), les Annélides (8,57%), les Crustacés (5,71%) et les espèces inconnues représentent (2,86%). Cette comparaison, nous a permis de remarquer que ces abondances imposantes pourraient, donner la mesure de l'influence, que la qualité des eaux exerce sur la répartition spatiotemporelle des macroinvertébrés benthiques et suffire pour porter la conviction que la zone abrite une importante communauté de macroinvertébrés benthiques (35 taxons), caractérisée par une inégalité d'abondance et une diversité taxonomique variable selon les conditions que subit le milieu. La valeur de l'indice biologique globale normalisé (IBGN) (Tab. 4.1) avec une note de

18 a classé les eaux de cette zone dans la catégorie des eaux de bonne qualité. Mais, la présence de certains taxons polluo-résistants montrent que cette qualité est en voie de dégradation. De ce fait, certaines mesures de protection et de valorisation devraient être prises. Et il faut bien garder à l'esprit que toute pollution de ses eaux superficielles, aussi minime soit-elle, aura de graves conséquences, et représentera un véritable crime pour la région.

Tableau 4.1 : Résultats des analyses hydro biologiques des eaux de la zone d'étude.

Indices	Valeur
Variété Total (VT)	35
Classe de Variété (CV)	10
Groupe Indicateur (GI)	9
Valeur de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)	18
Qualité de l'eau	Très Bonne
Couleur	Bleu
Pollution	Faible

Une analyse taxonomique au niveau de la famille peut donner des informations similaires à celles obtenues avec une analyse plus fine au niveau du genre, même si au niveau du genre plus de taxons indicateurs sont retrouvés (Reynoldson et *al.*, 2001; Masson et *al.*, 2010; Neeson et *al.*, 2013). Il a été démontré que l'analyse taxonomique au niveau de la famille permet de trier les échantillons plus rapidement et avec moins de main d'œuvre.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Afnor., (1992). Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Essai des eaux, NF T90-350 : Qualité écologique des milieux aquatiques. Association Française de Normalisation, déc 1992.

Afnor., (1992). Eau : Méthodes d'essai. Paris : 3e éd.

Afnor., (1997). Qualité de l'eau. Recueil des Normes Françaises Environnement.

Afnor., (2001). NF EN ISO 11885 : Qualité de l'eau. 6ème Ed. Association française de normalisation, 2001.

Aguesse P., (1968). Les Odonates de l'Europe occidentale, du Nord de l'Afrique et des Iles Atlantiques. Faune de l'Europe - Bassin Méditerranéen, vol. 4.

Ait mouloud S., (1988). Essais de recherche sur la dérive des macros invertébrés dans l'oued Aïssi : faunistique, écologie et biogéographie. Thèse magister. Univ des sciences et de la technologie. Houari Boumediene.

Alatalo R.V., (1981). Problems in the measurement of evenness in ecology. *Oikos*, 37 (2).

Angelier E., (2003). Ecologie des eaux courantes. Ecologie. Tec et Doc. Paris.

Arabe A., Zebdi A., (1983). Contribution à l'évaluation de la qualité de l'eau des oueds de la Mitidja. Mém.DES. univ des sciences et de la technologie. Houari Boumediene.

Arabe A., (2004). Recherche faunistique et écologique sur les réseaux hydrographiques du Chélif et des bassins du mazafran. Thèse doctorat. F.S.B.Univ des sciences et de la technologie. Houari Boumediene.

B

Bagnouls F., Gaussen H., (1957). Les climats biologiques et leur classification. In: Annales de Géographie, 66^e année, n°355 ; doi : <https://doi.org/10.3406/geo.1957.18273>, https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1957_num_66_355_18273.

Barbour M. T., J. Gerritsen., B. D. Snyder., J. B. Stribling., (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish, 2^e édition, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA841-B-99-002, 11 chapitres, 4 annexes,

Barry G.S., (1988). Sodium sulphate. Canadian minerals year book. Mineral Report, n°37. Division des ressources minérales, énergie, mines et ressources. Ottawa. 1989.

Beaudry T., (1984). Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada.

- Beaudry T., Monique T.H., (1984).** Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère, édition, INC Canada.
- Belhadj M.Z., (2006).** Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba Commune de Bekkouche Lakhdar. Wilaya de Skikda, Mémoire de Magister, Univ. Batna.
- Berkani B., Legrini N., (2015).** Caractérisation hydro chimique de l'Oued Zenati (Nord-est Algérien) dans sa partie amont. Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Berthelemy C., (1973).** Données préliminaires sur les Plécoptères de Tunisie. Verh. Internat. Verein. Limnol. 18.
- Blayac J., (1912).** Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines. In-8°, 53 fig., 5 pl. h.-t. (cartes et coupes).
- Bouchelaghem H., (2008).** Caractérisation du peuplement Odonatologique du bassin versant des Oueds : Cherf – Seybouse .Mémoire de magister. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Bouchelaghem H., (2017).** Approche spatio-temporelle de l'ichtyofaune du bassin de la Seybouse (Algérie, Nord-Est) .Thèse de doctorat .Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Bouda S., (2001).** Étude des macros invertébrés benthiques et de l'alimentation d'espèces de poisson en relation avec le rétrécissement saisonnier de la superficie d'eau du lac de barrage la Comoé. Ingéniorat en développement rural .Univ polytechnique de BOBO DIOULASSO(U.P.B).
- Brémond R., Perrodon C., (1979).** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed.

C

- Campbell N., Reece J., (2007).** Biologie 7eme édition. Pearson édition. France.
- Chaib N., Samraoui B., Marzialli L., Rossaro B., (2011).** Chironomid taxocenosis in a south Mediterranean wadi, the Kebir-East (Algeria). FUNDAM. APPL. LIMNO.
- Chapman D., Kimstach V., (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments: à guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London.
- Chaten ., Gaëtan., (1990).** Guide des coléoptères d'Europe.
- Clergue-Gazeau M., (1991).** Clés de détermination des Simulies (Diptera, Simuliidae) des Pyrénées. Annales de Limnologie.

D

D'Aguilar J., Dommaget J.L., Prechac R., (1985). Guide des libellules d'Europe et d'Afrique du Nord., Paris: Delachaux&Niestlé.

Daget P., (1967). Étude phyto-climatique d'une région de moyenne montagne : la Margeride. Édit. CNRS/CEPE, Document n° 36.

Dajoz R., (1985). Précis d'écologie. Éd. Dunod, Paris.

Dajoz R., (2006). Précis d'écologie. Dunod, Paris.

E

El Agbani M.A., Dakki M., Bournaud M., (1992). Etude typologique du Bou Regreg (Maroc) : Les milieux aquatiques et leurs peuplements en macroinvertébrés. Bulletin d'Écologie.

Emberger L., (1971 a). Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques. In : Travaux de botanique et d'écologie de Louis Emberger, livre jubilaire, Édit. MASSON, Paris.

F

Flotemersch J.E., Stribling J.B., Paul M.J., (2006). Concepts and Approaches for the Bioassessment of Non-Wadeable Streams and Rivers, EPA 600-R-06-127, Cincinnati (Ohio), US Environmental Protection Agency.

Foto Menbohan S., Zebaze Togouet S.H., Nyamsi Tchatcho N.L., Njine T., (2010). Macroinvertébrés Benthiques du cours d'eau Nga: Essai de caractérisation d'un Référentiel par des Analyses Biologiques. European Journal of Scientific Research.

Frank J., Kemmer N., (1992). Manuel de l'eau. Édition : Lavoisier.

Frontier S., (1983). L'échantillonnage de la diversité spécifique. Stratégie d'échantillonnage en écologie.

G

Gagneur J., Aliane N., (1991). Contribution a la connaissance des Plécoptères d'Algérie Labo. Hydrob. Univ. Paul. Sabatier. Toulouse. I .N.E.S. Bio, BP.358.D2A.13000.

Gagneur J., Thomas A.G.B., (1988). Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I- Répartition et écologie. (1ere partie) (Insecta, Ephéméroptera). Bull. Soc. Hist. Not. Toulouse.

Gagneur J., Thomas AGB., Vitte B., (1985). Première citation d'une espèce du genre *Paraleptophlébia* en Afrique du Nord. *P.cincta (Retzius, 1783)* et son écologie (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Bill. Soc. Hist. Nat.*, Toulouse.

Genin B., Chauvin C., Menard F., (1997). Cours d'eau et indices biologiques : pollution méthodes, IBGN, Dijon, ENESA-CNERTA.

George C., Harrap & Co., (1963). Day, E.H. The chemical elements in nature. London, U.K.

Ghachi A., (1986). Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin-versant de la Seybouse, OPU, Alger.

Guilbert., (2000). Chimie Dans La Buanderie, Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire

H

Hakmi A., (2006). Traitement de l'eau de la source Bousfer Oran .Mémoire de Licence. Université des sciences et de la technologie Oran.

Hellawell J. M., (1986). Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, Londres, Elsevier.

Hill M. O., (1973). Diversity and evenness : unifying notation and its consequences. *Ecology*.

Hoarau C., Hoareau G., (1999). Bilan bibliographique de deux ordres de larves d'insectes aquatiques, les Epheméroptères et les Trichoptères : systématique, écologie, biologie et répartition. https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1957_num_66_355_18273

Houmeur Z., Bendada M., (2016). Contribution à l'étude des macroinvertébrés de Bouhamdane. Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 Guelma.

K

Karrouch L., Chahlaoui A., (2009). Bio-évaluation de la qualité des eaux de l'oued Boufekrane (Meknès, Maroc). *Biomatec Echo Jornal*.

Kemoukh S., (2007). Dégradation de la qualité des eaux du barrage de zerdezas suite à une pollution naturelle w.de Skikda, mémoire de magister, Univ. Batna.

Khalaf G., Slim K., Saad Z., Nakhlé K., (2007). Evaluation de la qualité biologique des eaux du Nahr el Jaouz (Liban) : application des méthodes indicielles. *Bull. Mens. Soc. Linn. Lyon*.

Khettar S., (2009). Etude des peuplements de macroinvertébrés et des conditions de milieu de l'oued El Hammam (W. Mascara et Saida). Thèse de Magister. Université Houari Boumediene.

L

- Lamarck J., (2003).** Article « les Mollusques » nouveau dictionnaire d'histoire de la nature.
- Leclerc., (1996).** Microbiologie générale. Doin.
- Legendre L., Legendre P., (1979).** Ecologie numérique. Tome 2 : la structure des données écologiques. Masson, Paris et la Presse de l'Université du Québec.
- Lounaci A., (1987).** Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'oued Aissi (grand kabylie. Houari Boumadiene).
- Lounaci A., (2005).** Recherches sur la faunistiques, l'écologie et la biogéographie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie (Tizi Ouzou, Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou.
- Lounaci A., G. Vinçon., (2005).** Les Plécoptères de la Kabylie du Djurdjura (Algérie) et biogéographie des espèces d'Afrique du Nord [Plecoptera]. *Ephemera*, Vol. 6 (2).

M

- Maissait J., Baehr J.L., Pecaud J.L., (2005).** Biologie animale : invertébrés. 2ème Edition. Dunod. Paris.
- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van M., (2011).** Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss journal.
- Marcel D., (1995).** Chimie des oxydants et traitement des eaux. L'université de Poitiers (E.S.I.P).
- Masson S., M Desrosiers., B Pinel-Alloul., L. Martel., (2010).** Relating macroinvertebrate community structure to environmental characteristics and sediment contamination at the scale of the St. Lawrence River. *Hydrobiologia*.
- Mizi A., (2006).** Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles. Thèse de doctorat d'état, université d'Annaba, Algérie.
- Moisan J., (2006).** Guide d'identification des principales macros invertébrées benthiques d'eau douce du Québec, surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, direction.
- Moisan J., (2010).** Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 - Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonde.
- Moisan, J., Pelletier L., (2011).** Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2011, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166-0 (PDF).

Mouthon L., (1980). Les mollusques Dulcicoles. Données biologiques et écologiques. Clés de détermination des principaux genres de Bivalves et de Gastéropodes de France.

N

Neeson, T. M., I. Van Rijn., Y Mandelik., (2013). How taxonomic diversity, community structure, and simple size determine the reliability of higher taxon surrogates. Ecological applications.

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

O

Oudin, L. C., Maupas D., (2003). Système d'Evaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Rapport de présentation SEQ-Eau (Version 2) - MEDD & Agences de l'eau.

P

Philippo P., Pommery J., Thomas P., (1981). Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportements des espèces métalliques au contact des matières humiques. Journal français d'hydrologie.

Pielou E.C., (1966).The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*

Pielou E.C., (1977).Mathematical ecology.2nd ed. John Wiley, Wiley-Interscience, Toronto.

Pihan J. A., Mohati A.,(1984). Les peuplements benthiques du réseau permanent de l'ouedourika (haut Atlas de Marrakech). Qualité des eaux. Verh. Internat. Limnol.

R

Ramade P., (1981). Ecologie des ressources naturelles. Masson, Paris.

Ramade F., (2009). Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Dunod, Paris.

Reggam A., (2015). Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux d'Oued Seybouse. Thèse doctorat. Université de Guelma.

Rejsek F., (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et technique. Sceran. Paris.

Reynoldson T. B., Rosenberg D. M., Resh V.H., (2001). Comparison of methods predicting invertebrate assemblages for biomonitoring in the Fraser River catchment, British Columbia. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.

Rodier J., (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Dunod.

Rodier J., (2009). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 9ème édition: Dunod, Paris

S

Shannon C. E., Weaver W., (1963). The mathematical theory of communications.

Simboura N., Zenetos A., (2002). Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean Marine Science*, 3(2).

Simpson E.H., (1949). Measurement of diversity, *Nature*, 163, 688–688, *doi:10.1038/163688a0*.

Stewart PH., (1968). Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Ul. Soc .Hist. Nat. Afrique du Nord, Alger*, 59 (1 – 4).

T

Tachet H., Bournaud M., Richoux Ph., (1980). Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (systématique élémentaire et aperçu écologique) .association française de limnologie.

Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., (2012). Invertébrés d'eau douce- Systématique, biologie, écologie. Editions CNRS, Paris. *Tomes 1, 2, 3 et 4*.

Tachet H., Bournaud M., Richoux P., Usseglio-Polatera Ph., (2000). Invertébrés des eaux douces : Systématique, Ecologie, Biologie. Ed CNRS-Paris.

Tachet H., Bournaud M., Richoux P., Usseglio-Polatera Ph., (2010). Invertébrés des eaux douces : Systématique, Biologie, Ecologie.

Thomas J.D., (1993). Biological monitoring and tropical biodiversity in marine environments: A critique with recommendations, and comments on the use of amphipods as bioindicators ». *Journal of Natural History*.

Türkmen G., Kazanci N., (2010). Applications of various biodiversity indices to benthic macroinvertebrate assemblages in streams of a national park in Turkey, *Review of Hydrobiology*, 3, p111-125, 2010. *Univ. Illinois, Urbana*.

V

Verneaux J., Tuffery G., (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices boutiques. *Ann. Sci. Univ. Besançon*.

Verneaux., (1977) : Biotypologie de l'écosystème eau courante - Déterminisme approché de la structure biotypologique - C.R. Acad. Sci. Paris, t. 284, Série D.

W

Water Framework Directive (WFD),, (2003). Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential, Water Framework Directive Common Implementation Strategy Working Group 2, A Ecological Status (ECOSTAT).

Walter D.E., Proctor H.C., (1999). Mites: ecology, evolution and behavior. University of New South Wales Press, Sydney, New South Wales.

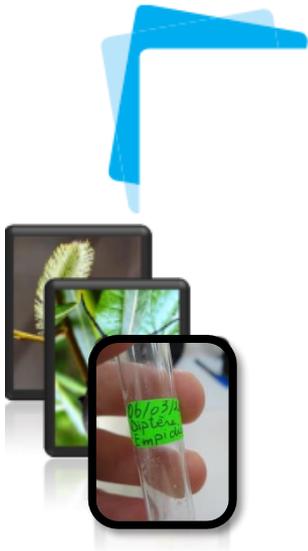
Z

Zouggaghe F., Moali A., (2009). Variabilité structurelle des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie, Afrique du Nord). Revue D'Ecologie-La Terre et La Vie.

WEBOGRAPHIE

[1] : <http://nico8386.free.fr/cours/BA/Classifprotos.pdf> (consulté le 15 /02/2019).

- <http://www.univ-guelma.dz/presentation/guelma-ville.asp>
- http://www.guelma.org/francais/index2.php?rub=sejour&srub=promenades&goto=barrage_bouhamdane
- <http://www.elwatan.com/Alimentation-en-eau-potable-a,154445>
- Bio films : une microbiologie de surface à déchiffrer : <http://www2.cnrs.fr/presse/communique/661.htm>



ANNEXES

Annexe 01. Evaluation des températures mensuelles de la région d'étude (Années 1994-2018).

Mois	T (max.)	T (mini.)	T (Moy.)
Jan.	15,90	4,96	9,82
Fév.	16,50	4,59	10,05
Mar.	19,61	6,55	12,46
Avr.	22,16	8,31	15,02
Mai.	27,14	11,81	19,42
Jui.	32,09	15,75	24,07
Juil.	36,26	18,46	27,18
Aou.	36,48	19,59	27,47
Sept.	31,47	17,35	23,65
Oct.	27,45	13,84	19,60
Nov.	21,20	9,44	14,61
Déc.	16,93	6,24	10,98

Annexe 02. Variations mensuelles des précipitations en (mm) (1994-2018)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aou.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations en (mm)	99,28	69,77	64,64	66,59	44,97	15,29	3,09	16,02	49,89	41,21	71,91	74,50

Annexe 03. Données climatiques (Précipitations et Températures) de Guelma (Années 1994-2018)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aou.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations en (mm)	99,28	69,77	64,64	66,59	44,97	15,29	3,09	16,02	49,89	41,21	71,91	74,50
Températures en °C	9,82	10,05	12,46	15,02	19,42	24,07	27,18	27,47	23,65	19,60	14,61	10,98

Annexe 04. Les normes européennes d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (Oudin et Maupas, 2003)

Paramètres	Unité	Symb	Normes
Température	°C	T°	20 à 25
pH	pH	pH	6,5 à 9,5
Cond. électrique	μS/cm	EC	180 à 3500
Salinité	mg/l	SAL	1
Potentiel redox	mV	Eh	-
Solides Totaux Dissous	mg/l	TDS	-
Oxygène dissous	mg/l	OD	8 à 4
Mat. en suspension	mg/l	MES	2 à 38
Turbidité	NTU	Turb	1 à 70
Nitrates	mg/l	NO ₃ ⁻	2 à 25
Nitrites	mg/l	NO ₂ ⁻	0,03 à 0,5
Sulfates	mg/l	SO ₄ ⁻	60 à 190
Ammonium	mg/l	NH ₄ ⁺	0,1 à 2
Calcium	mg/l	Ca ₂ ⁺	32 à 300
Chlorures	mg/l	Cl ⁻	50 à 150
Ortho phosphates	mg/l	PO ₄ ³⁻	0,1 à 1
Carb.de calcium	mg/l	CaCO ₃	< 200
Titre hydrométrique	°F	TH	4 à 8

Annexe 05. Les valeurs de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) selon Afnor, 1992.

IBGN	20 à 16	16 à 12	12 à 8	8 à 4	4 à 0
Couleur	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise

Annexe 06. Liste des 138 taxons (extrait de la norme AFNOR T 90-350, 1992).

INSECTES	HETEROPTERES	Stratiomyidae	Physidae
PLECOPTERES	Aphelocheiridae (3)	Syrphidae	Planorbidae
Capniidae (8)	Corixidae	Tabanidae	Valvatidae
Chloroperlidae (9)	Gerridae	Thaumaleidae	Viviparidae
Leuctridae (7)	Hebridae	Tipulidae	ACHETES (1)
Nemouridae (6)	Hydrometridae	ODONATES	Erpobdellidae
Perlidae (9)	Naucoridae	Aeschnidae	Glossiphoniidae
Perlodidae (9)	Nepidae	Calopterygidae	Hirudinae
Taeniopterygidae (9)	Notonectidae	Coenagrionidae	Piscicolidae

<p>TRICHOPTERES</p> <p>Beraeidae (7)</p> <p>Brachycentridae (8)</p> <p>Ecnomidae</p> <p>Glossosomatidae (7)</p> <p>Goeridae (7)</p> <p>Helicopsychidae</p> <p>Hydropsychidae (3)</p> <p>Hydroptilidae (5)</p> <p>Lepidostomatidae (6)</p> <p>Leptoceridae (4)</p> <p>Limnephilidae (3)</p> <p>Molannidae</p> <p>Odontoceridae (8)</p> <p>Philopotamidae (8)</p> <p>Phryganeidae</p> <p>Polycentropodidae (4)</p> <p>Psychomyidae (4)</p> <p>Rhyacophilidae (4)</p> <p>Sericostomatidae (6)</p> <p><i>Thremmatidae</i></p> <p>EPHEMEROPTERES</p> <p>Baetidae (2)</p> <p>Caenidae (2)</p> <p>Ephemerllidae (4)</p> <p>Ephemeridae (6)</p> <p>Heptageniidae (5)</p> <p>Leptophlebiidae (7)</p> <p>Oligoneuriidae</p> <p>Polymitarcidae (5)</p> <p>Potamanthidae (5)</p> <p>Prosopistomatidae</p> <p>Siphonuridae</p>	<p>Mesoveliidae</p> <p>Pleidae</p> <p>Veliidae</p> <p>COLEOPTERES</p> <p>Curculionidae</p> <p>Donaciidae</p> <p>Dytiscidae</p> <p>Eubridae</p> <p>Elmidae (2)</p> <p>Gyrinidae</p> <p>Halplidae</p> <p>Helodidae</p> <p>Helophoridae</p> <p>Hydraenidae</p> <p>Hydrochidae</p> <p>Hydrophilidae</p> <p><i>Hydroscaphidae</i></p> <p><i>Hygrobiidae</i></p> <p><i>Limnebiidae</i></p> <p><i>Spercheidae</i></p> <p>DIPTERES</p> <p><i>Anthomyidae</i></p> <p><i>Athericidae</i></p> <p>Blephariceridae</p> <p>Ceratopogonidae</p> <p>Chaoboridae</p> <p>Chironomidae (1)</p> <p>Culicidae</p> <p>Dixidae</p> <p>Dolichopodidae</p> <p>Empididae</p> <p>Ephydriidae</p> <p>Limoniidae</p> <p>Psychodidae</p> <p>Plychopteridae</p> <p>Ragionidae</p> <p>Scatophagidae</p> <p>Sciomyzidae</p> <p>Simuliidae</p>	<p>Cordulegasteridae</p> <p>Corduliidae</p> <p>Gomphidae</p> <p>Lestidae</p> <p>Libellulidae</p> <p>Platycnemididae</p> <p>MEGALOPTERES</p> <p>Sialidae</p> <p>PLANIPENNES</p> <p>Osmylidae</p> <p><i>Sysyridae</i></p> <p>HYMENOPTERES</p> <p>LEPIDOPTERES</p> <p><i>Pyrilidae</i></p> <p>CRUSTACES</p> <p>BRANCHIOPODES</p> <p>AMPHIPODES</p> <p>Gammaridae (2)</p> <p>ISOPODES</p> <p>Asellidae (1)</p> <p>DECAPODES</p> <p>Astacidae</p> <p>Atyidae</p> <p>Grapsidae</p> <p>Cambaridae</p> <p>MOLLUSQUES (2)</p> <p>BIVALVES</p> <p>Curbiculidae</p> <p>Dreissenidae</p> <p>Sphaeriidae</p> <p>Unionidae</p> <p>GASTEROPODES</p> <p>Ancylidae</p> <p>Bithynidae</p> <p>Bythinellidae</p> <p>Hydrobiidae</p> <p>Lymnaeidae</p> <p>Neritidae</p>	<p>TRICLADES</p> <p>Dendrecalidae</p> <p>Dugesidae</p> <p>Planariidae</p> <p>OLIGOCHETES (1)</p> <p><i>NEMATHELMINTHES</i></p> <p><i>HYDRACARIENS</i></p> <p><i>HYDROZOAIRENS</i></p> <p><i>SPONGIAIRES</i></p> <p><i>BRYOZOAIRENS</i></p> <p><i>NEMERIENS</i></p>
--	--	---	---