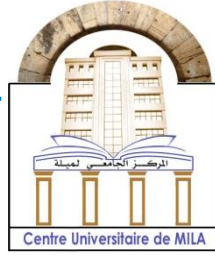


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et de l'Environnement

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème :

**Etude de l'effet de la pollution sur la vie
aquatique dans le barrage Béni Haroun.**

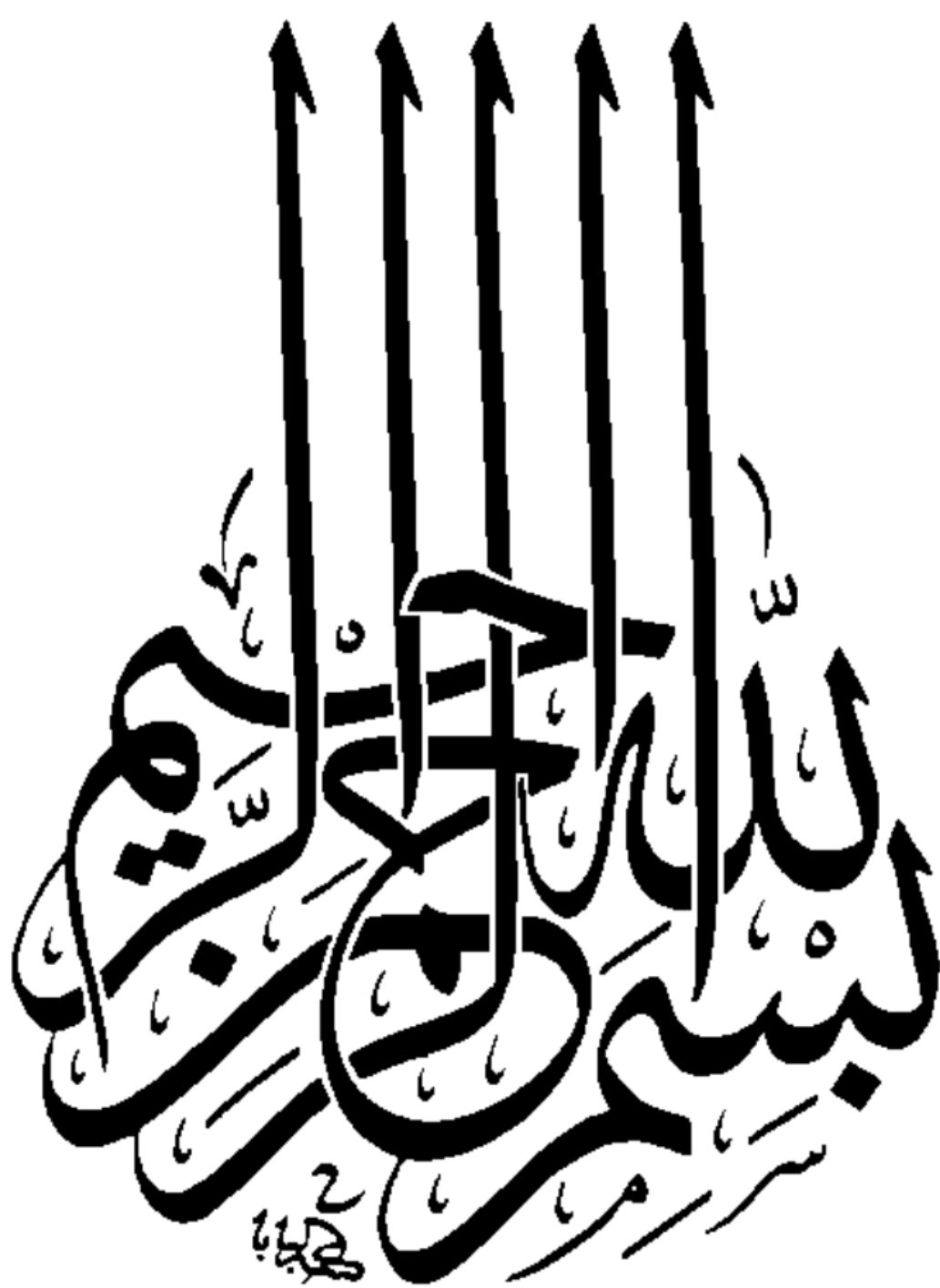
Présenté par :

- BENZIANE ISMAHAN
- KADRI NOUHA

Devant le jury :

Présidente	Mlle Kherief Nacereddine Saliha	MCA	C U M
Promoteur	Mme Djeddi Hamssa	MCB	C U M
Examinatrice	Mlle Kadeche Lilia	MCB	C U M

Année Universitaire : 2023/2024





REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier tous d'abord **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et le courage pour réaliser notre mémoire, Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail :*

*Mademoiselle **Kherief Nacereddine Saliha** d'avoir accepté de présider le jury.*

*Mademoiselle **Kadeche Lilia** d'avoir accepté d'examiner notre travail et de l'enrichir par ses propositions.*

*Nous tenons à remercier Madame **DJEDDI HAMSSA**, notre encadreur, qui nous a encouragé, pour ses conseils avisés et son suivi de près de ce mémoire.*

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude pour sa disponibilité, pour répondre à nos interrogations et nos incertitudes malgré un emploi du temps toujours chargé, pour le temps consacré aux corrections du manuscrit, pour ses idées scientifiques enrichissantes, sa gentillesse, et son soutien scientifique et moral.

A tous les enseignants du département de Biologie et Ecologie du Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf Mila

Aussi un grand remerciement pour toutes les personnes du laboratoire pédagogique du département de biologie du Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf Mila

Et nous n'oublions pas le directeur de l'agence nationale des barrages et transferts (ANBT).

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce travail. Nous leur exprimons ici toute notre reconnaissance et notre gratitude

Merci à tous



Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrasses, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

*A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Abd Alwahab***

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, mon adorable mère **Maria***

*A mes très chers frères **Aissam** et **Ali** et ma chère sœur **Chaima**.*

*A ma chère tante **Aziza**.*

Qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études

*Ma chère binôme **Ismahan***

*A mes chères cousines, **Hadir** et **Yamina***

*A mes très chères amies, **Rawnak**, **Ghada**, Avec lesquelles j'ai partagé mes moments inoubliables de joie et de bonheur.*

Enfin mon plus profond respect va tout droit à mes aimables professeurs dans

tous les cycles de ma scolarité qui mon éclairé la voie du savoir.

Nouha





Dédicaces

*D'abord je remercie le bon dieu allah de l'avoir accordée cette faveur
afin que j'ai continué mes études,*

*À ma très chère mère «**Nadjat**», qui me donne toujours l'espoir de vivre et
qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*À mon très cher père «**Bouzid**», pour ses encouragements, son soutien,
surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le
déroulement de mes études.*

*À mon marie «**Walid**» bien-aimée, pour tout le soutien*

*À ma chère fille «**Taline**».*

*À mes chers frères «**Aymen , Fadi**». À ma sœurs «**Manel**»*

À mes chers grandes mère, mes tantes et mes oncles

*Et toute la famille «**Benziane** »*

*A ma chère binôme «**Nouha**», et tous mes amis «**Intissar Rawnak** et
Ghada».*

Merci à tous

Ismahan



ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقييم تأثير التلوث على الحياة المائية في سد بني هارون. تشمل دراستنا أيضاً قياس المعايير الفيزيائية والكيميائية (درجة الحرارة، درجة الحموضة، الموصلية الكهربائية والأكسجين المذاب) وحساب المؤشرات البيئية (مؤشر تنوع شانون-ويفر ومؤشر المساواة) لتقييم جودة مياه السد.

تشير نتائج المعايير الفيزيائية والكيميائية إلى درجات حرارة موسمية، ودرجات حموضة قلبية قليلاً، وموصلية كهربائية عالية تعكس التمدن الجيد. بالإضافة إلى وجود اضطراب واضح في فونا اللاقاريات الكبيرة في المحطات الثلاث، مما يشير إلى جودة مياه سيئة جداً، ربما بسبب التلوث العضوي. يظهر تطبيق المؤشرات البيئية لشانون-ويفر أن جميع محطاتنا تظهر جودة بيئية سيئة تعتبر ملوثة جداً.

الكلمات المفتاحية: سد بني هارون، التلوث، المعايير الفيزيائية والكيميائية، المؤشر البيولوجي، اللاقاريات الكبيرة.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer l'effet de la pollution sur la vie aquatique dans le barrage Béni Haroun. Notre étude également à portée sur la mesure des paramètres physico-chimiques (Température, pH, Conductivité électrique et oxygène dissous) et le calcul des indices écologiques (indice de diversité de Schannon-Weaver et l'indice d'équitabilité) afin d'évaluer la qualité des eaux du barrage.

Les résultats des paramètres physicochimiques obtenus montrent des températures saisonnières, des pH légèrement alcalins, des conductivités électriques élevées qui traduisent la bonne minéralisation.

Ainsi qu'une perturbation évidente de la faune macroinvertébrée pour les trois stations, qui indique une très mauvaise qualité des eaux, due probablement à une pollution organique. L'application des indices écologiques, de Shannon-Weaver montre que, toutes nos stations présentent une mauvaise qualité écologique considérées comme très polluées.

Mots Clés : Barrage Béni Haroun, pollution, paramètres physico-chimique, Indice biotique, macroinvertébrés.

Abstract

The main objective of this work is to assess the effect of pollution on aquatic life in the Béni Haroun dam. Our study also includes the measurement of physicochemical parameters (temperature, pH, electrical conductivity, and dissolved oxygen) and the calculation of ecological indices (Shannon-Weaver diversity index and equitability index) to evaluate the water quality of the dam.

The results of the physicochemical parameters obtained show seasonal temperatures, slightly alkaline pH levels, and high electrical conductivities that indicate good mineralization. Additionally, there is a clear disturbance of the macroinvertebrate fauna at the three stations, indicating very poor water quality, probably due to organic pollution. The application of ecological indices, Shannon-Weaver, shows that all our stations exhibit poor ecological quality, considered highly polluted.

Keywords: Béni Haroun Dam, pollution, physicochemical parameters, biotic index, macroinvertebrates.

Liste des figures

Figure 1: Pollution agricole.....	6
Figure 2: Pollution industriel	7
Figure 3: Pollution physique.....	8
Figure 4: Pollution thermique	9
Figure 5: Pollution radioactive	10
Figure 6: Morphologie de Nématodes	19
Figure 7: Annélides-Oligochètes	19
Figure 8: Annélides-Sangsues	19
Figure 9: Quelques types de Crustacée.....	20
Figure 10: Quelques types de Mollusques	21
Figure 11: Quelques types des larves d'Ephémères.	21
Figure 12: Un coléoptère (adulte et larve)	22
Figure 13: Trichoptères	22
Figure 14: Différentes formes des larves des diptères	23
Figure 15: Morphologie générale des larves des Odonates.....	24
Figure 16: Localisation des stations de prélèvement	30
Figure 17: La première station (S1) El Maleh.	31
Figure 18: La deuxième station (S2) Ferdoua.	31
Figure 19: La troisième station (S3) la Digue.....	32

Figure 20: Filet à troubleau.....	34
Figure 21: Balai à alfa.....	34
Figure 22: Variations spatiotemporelles de la température des eaux des stations du barrage Béni Haroun.....	43
Figure 23: Variations spatiotemporelles du pH des eaux des stations du barrage Béni-Haroun.....	45
Figure 24: Variations spatiotemporelles de la conductivité électrique des eaux des stations du barrage Béni-Haroun.	46
Figure 25 : Variations spatio-temporelles de l'indice biotique des eaux du barrage Béni Haroun.....	50
Figure 26 : Abondance stationnelle dans la première campagne.....	53
Figure 27: Abondance stationnelle dans la deuxième campagne.	54
Figure 28: Richesse spécifiques stationnelle dans les deux campagnes.	55
Figure 29: Indice de diversité de Schanon-Weaver stationnelle dans les deux campagnes.....	56
Figure 30: Indice d'équitabilité stationnelle dans les duex campagnes.	57

Liste de tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques du barrage Béni Haroun	29
Tableau 2 : Calendrier de campagnes de prélèvement.....	32
Tableau 3: Limites de détermination des unités systématique.....	36
Tableau 4: Tableau standare de Tuffery rt verneaux.....	37
Tableau 5 : Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Béni Haroun.....	42
Tableau 6: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température	44
Tableau 7: Aptitude à la biologique en fonction de la température	44
Tableau 8: Echelle de pH de l'eau	45
Tableau 9: Aptitude à la biologie en fonction de pH	46
Tableau 10: Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique	47
Tableau 11: Aptitude à la biologie en fonction de CE	47
Tableau 12: Liste des macroinvertébrés récoltés et calcul de l'indice biotique pour les deux campagnes de prélèvement.	48
Tableau 13: Classification de la qualité biologique de site.....	51
Tableau 14: Exempele de classification de pollution à partire de la valeur de H' dans les habitats sableux/vaseaux	57

Liste d'abréviation

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transfert.

C : Compagne.

C° : Degré Celsius.

CE : Conductivité Electrique.

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

E : Equitabilité.

H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver

Ib : Indice biotique.

MES : Matières en suspension

PH : Le potentiel hydrogène.

S : Station.

S : Richesse spécifique.

T : Température.

µS/cm: Microsimens par centimètre

Sommaire

Remerciements	
Liste des figures	
Liste de tableaux	
Liste d'abréviation	
Introduction.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I.1. Généralités sur la pollution aquatique	4
I.1.1.1. La pollution domestique et urbaines.....	5
I.1.1.2. La pollution agricole.....	5
I.1.1.3. La pollution industrielle.....	6
I.1.1.4. La pollution naturelle.....	7
I.1.2. Les type de pollution	7
I.1.2.1. Pollution physique	7
I.1.2.2. La pollution chimique.....	10
I.1.2.3. Pollution biologique	11
I.1.3. Les conséquences de la pollution aquatique.....	11
I.1.3.1. Les conséquences écologiques	11
I.1.3.2. Les conséquences économiques	12
I.1.4. Les effets de la pollution aquatique.....	12
I.2. Evaluation la qualité d'eau	13
I.2.1. Evaluation de la qualité organoleptique	13
I.2.1.1. Couleur	13
I.2.1.2. Odeur	13
I.2.1.3. Goût et saveur.....	13

I.2.1.4. Turbidité.....	14
I.2.2. Evaluation la qualité physico chimique d'eau	14
I.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques.....	14
I.2.3. Evaluation la qualité biologique d'eau	16
I.2.3.1. Généralités sur la surveillance biologique.....	16
I.2.3.2. L'utilisation des macro-invertébrés benthiques comme bio indicateur	17
I.2.3.3. Quelques espèces de macroinvertébrés	18
I.2.3.4. Les indices biologiques	24

Chapitre II :Matériel et Méthodes

II.1. Présentation la zone d'étude.....	28
II.1.1. Présentation de la wilaya de Mila	28
II.1.2. Présentations la zone d'étude	28
II.1.2.1. Présentation physique de l'aire d'étude	28
II.1.2.2. Présentation du réseau hydrographique	29
II.2. Choix et localisation des stations de prélèvements	30
II.3. Rythme et Nature des prélèvements.....	32
II.4. Analyse physico-chimique des eaux	32
II.4.1. Température.....	32
II.4.2. Potentiel Hydrique.....	32
II.4.3. La conductivité électrique	33
II.5. Analyse biologique.....	33
II.5.1. Technique de prélèvement.....	33
II.5.2. Traitement et conservation des échantillons.....	34
II.5.3. Identification des macrosinvertébrés.....	35
II.6. Détermination des indices écologiques et biologiques	36

II.6.1. Détermination de l'indice biotique (Ib).....	36
II.6.2. Détermination des indices écologiques	38
Chapitre III: Résultats et Discussion	
III.1. Les paramètres physico-chimiques	42
III.1.1. Température	42
III.1.2. Potentiel hydrogène (pH)	44
III.1.3. Conductivité électrique (CE).....	46
III.2. Les paramètres biologiques	47
III.2.1. Diversité faunistique	48
III.2.2. L'indice biologique (Ib)	50
III.2.3. Les indices écologiques	52
III.2.3.1. L'abondance	52
III.2.3.2. La richesse spécifique	55
III.2.3.3. Diversité : Indice de Schannon et Weaver, Indice d'équitabilité	55
Conclusion	61
Références bibliographiques	63
Annexe	73

Introduction



Les perturbations environnementales dues aux activités anthropogéniques telles que l'agriculture, l'industrie et les besoins vitaux se multiplient dans de nombreuses régions du globe et entraînent diverses pollutions des eaux tant souterraines que superficielles.

La pollution hydrique est un phénomène courant en Algérie vu l'évolution socioéconomique du pays qui compte 17 bassins versants alimentés à la fois par des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables (**Chaoui et al., 2013**). Parmi les grands projets réalisés, le barrage Béni Haroun au Nord-Est de l'Algérie, constitue actuellement le plus puissant aménagement hydraulique réalisé à travers le pays et le second du continent africain après le barrage d'Al Sed El Ali en Egypte.

La retenue du barrage Béni Haroun est constamment menacée par une série d'influences naturelles et anthropiques, entraînant une pollution des eaux, collectées par les deux bras du barrage oued Rhumel et oued Endja (**Djeddi, 2019**). Les pollutions les plus graves à ce jour qui touchent le bassin de Béni-Haroun, sont celles dues aux activités humaines, à savoir les pratiques agricoles, industrielles, rejets domestiques diffus et, dans une moindre mesure, aux retombées atmosphériques (**Kherief Nacereddine et al., 2018**).

Les organismes aquatiques qui peuplent ces milieux manifestent des préférences et des exigences vis-à-vis des différents facteurs biotiques et abiotiques : lorsqu'un changement survient dans un milieu, on constate des perturbations des communautés qui le peuplent (**Ferguani et Arab, 2013**). Les études faunistiques (macroinvertébrés benthiques), écologiques (répartition spatiale, structure des communautés) revêtent d'une importance primordiale dans la compréhension du fonctionnement et de la gestion des systèmes naturels, d'autre part, dans l'évaluation de l'état de santé écologique des hydrosystèmes (**Lounaci, 2005**). 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.

L'étude de la faune des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau d'Algérie a été entreprise ces dernières décennies afin de dresser un inventaire aussi exhaustif que possible et d'avoir des connaissances sur leur systématique, leur écologie ainsi que leur biogéographie (**Haouchine, 2011**).

Les invertébrés benthiques présentent plusieurs avantages. Ce sont d'abord des organismes sédentaires continuellement exposés aux effets de la pollution. Ils ont un cycle de vie relativement long, qui permet l'intégration, avec le temps, des agents de stress environnementaux et de leurs effets cumulatifs. En outre, ils constituent un groupe d'organismes très diversifié, permettant à différentes espèces de réagir et de répondre de manière variée à plusieurs types de perturbations.

Dans ce sens, Une étude des effets des facteurs environnementaux sur les communautés benthiques d'eau douce a été menée au barrage Béni Haroun. Notre étude s'est intéressée à la méthode biologique et plus exactement celle fondée sur l'ensemble des macroinvertébrés benthiques connus comme bio-indicateur afin de connaître d'une part l'état actuel de la qualité de l'eau par le biais de certains paramètres physicochimiques et la réalisation d'un inventaire des macroinvertébrés par le calcul des indices écologiques et biotiques.

Notre mémoire comporte trois chapitres à savoir :

Le premier chapitre est une synthèse bibliographique comprenant deux parties, la première présente un ensemble de généralités sur la pollution aquatique. La seconde partie est un rappel général sur les macroinvertébrés benthiques et leurs utilisations comme bioindicateur.

Le deuxième chapitre : Matériel et méthodes comprend la zone d'étude et l'explication de la méthodologie expérimentale avec les différents matériels et protocoles suivis.

Le troisième chapitre a traité les résultats obtenus et leurs discussions.

Enfin, nous terminons par une conclusion où sont proposées des perspectives qui permettraient de cerner d'autres problématiques concernant ce thème.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique



I.1. Généralités sur la pollution aquatique

La pollution comme étant la dégradation d'un environnement naturel due à l'introduction de substances extérieures, soit directement soit indirectement. Elle souligne également les conséquences de cette pollution sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes et la biodiversité, et met en évidence la possibilité que ces effets soient durables (**Alain et Botta, 2007**). Elle est la conséquence néfaste des activités humaines, se traduit par une modification défavorable des milieux naturels, engendrant un déséquilibre durable de ces environnements (**Elisabeth, 2014**).

Un environnement aquatique est considéré comme pollué lorsqu'il subit une altération durable de son équilibre, marquée par des changements défavorables dans ses caractéristiques biologiques et physico-chimiques, Cette altération est généralement causée par une quantité excessive de substances, plus ou moins toxiques, provenant soit de sources naturelles, soit d'activités humaines (**Banouh et Sadaoui, 2010**).

La pollution des eaux découle de l'introduction, directe ou indirecte, de substances polluantes dans le cycle hydrologique, L'Organisation mondiale de la santé (OMS) fournit la définition suivante : "Un cours d'eau est considéré comme pollué lorsque la composition et l'état de ses eaux sont altérés, directement ou indirectement, par l'activité humaine, au point où elles ne conviennent plus aussi facilement à toutes les utilisations pour lesquelles elles seraient appropriées à l'état naturel, voire à certaines d'entre elles (**Amavis et al., 1981**).

Le concept de pollution se réfère à l'introduction dans l'environnement aquatique de toute substance capable d'altérer les propriétés physico-chimiques, biologiques et bactériologiques de l'eau, et de générer des risques pour la santé humaine. Cette altération peut également nuire le charme des sites naturels, ou entraver toute autre utilisation ordinaire des ressources en eau (**Chenaifia, 2012 ; Bentata-Keddar, 2015**).

Cependant, la pollution des eaux représente l'un des aspects les plus préoccupants de la dégradation de l'environnement naturel. Les dommages infligés à cet écosystème peuvent à terme représenter une véritable menace pour l'humanité et mettre en danger la survie de la flore et de la faune aquatiques. C'est ce que souligne la définition fournie par le GESAMP (Groupe d'experts sur les aspects scientifiques de la pollution marine), notamment en ce qui concerne l'environnement

marin(Belhafiane, 2016 ; Bentata-Keddar, 2015).

I.1.1. L'origine de la pollution aquatique

I.1.1.1. La pollution domestique et urbaines

Elle englobe les rejets liquides (eaux usées domestiques et urbaines), et les rejets solides des décharges publiques, qui sont en majorité sauvages et non contrôlées. En effet, les décharges contiennent des matières organiques biodégradables, qui en présence des eaux météoriques, subissent un lessivage vers les eaux superficielles, où elles s'infiltrent vers les nappes phréatiques. Pour les eaux usées qu'elles soient urbaines, domestiques ou des rejets industriels, elles sont directement évacuées dans les oueds sans aucun traitement préalable (Touati, 2020).

Selon Gaujous (1995) , la pollution domestique est caractérisée par :

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

I.1.1.2. La pollution agricole

L'agriculture est la principale source de la pollution de l'eau, considérée, comme le premier utilisateur et consommateur d'eau (Ben Ayache, 2014). En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux.

Selon Seghir, 2008, L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines. Le transfert des engrais et des pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, par rejet dans des puits perdus, des gouffres et des bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockée en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais.



Figure 1: Pollution agricole

(<https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=fr>).

I.1.1.3. La pollution industrielle

C'est la plus importante pollution, générée principalement par les industries minières au niveau des différentes étapes du traitement des minerais métalliques. Ces derniers libèrent une grande variété de substances métalliques, qui contribuent de façon cruciale à la mise en circulation des ETM et à leur distribution dans les sols, les sédiments, les nappes d'eaux et les végétaux (**Touati, 2021**). La pollution industrielle résulte de l'émission d'effluents liquides provenant des activités industrielles. Ces effluents peuvent contenir une multitude de substances, dont le degré de biodégradabilité varie considérablement (**Gaujous, 1995**). La nature des polluants industriels est extrêmement diverse et dépend étroitement du type d'activité en cause. On retrouve parmi ces contaminants des substances organiques, qu'elles soient d'origine naturelle ou synthétique, des hydrocarbures, des sels minéraux et des métaux lourds. Si certains polluants industriels, comme les fuites accidentelles de réservoirs ou de canalisations, sont ponctuels, d'autres, tels que les rejets chroniques liés à des processus industriels spécifiques, s'inscrivent malheureusement dans la durée (**Beauchamps, 2006**).



Figure 2: Pollution industriel (<https://iptc.org/>).

I.1.1.4. La pollution naturelle

Il est important de souligner que certains phénomènes naturels peuvent également contribuer à la pollution de l'environnement. Parmi ces événements, on peut citer les éruptions volcaniques, qui libèrent dans l'atmosphère et les cours d'eau des gaz et des cendres toxiques, les fuites sous-marines d'hydrocarbures, qui contaminent les écosystèmes marins, et la dissolution naturelle de certains minéraux présents dans les filons géologiques, comme les métaux lourds ou l'arsenic, qui peut affecter la qualité des eaux souterraines et de surface (**Khattab *et al.*, 2017**). Parfois, certaines substances naturellement présentes dans l'environnement peuvent causer des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques tels que le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent se retrouver dans l'eau destinée à la consommation. L'eau souterraine est particulièrement exposée à la contamination lorsque des métaux sont présents dans les formations géologiques avoisinantes (**Fatmia, 2020**).

I.1.2. Les type de pollution

I.1.1.2.1. Pollution physique

La pollution physique est une modification dans la structure physique par divers facteurs, il peut s'agir d'un rejet d'eau douce qui fera baisser la salinité d'un lieu, un rejet liquide ou solide de substances en modifiant la turbidité du milieu (boue, les

sables, limon...), un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide) **Laurence (2013)**.



Figure 3: Pollution physique

(<https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=fr>).

- **Pollution par les matières en suspension**

Lorsqu'on dit matières en suspension il s'agit des matières minérales qui sont des particules produites par l'exploitation des sables et graviers, en plus les rejets de résidus de fabrications industrielles le long de littoral. Elles ont une action mécanique : elles augmentent la turbidité de l'eau et modifient la nature de fonds, changeant ainsi la flore et la faune, et la matière organique (**Beauchamp, 2003**).

- **Pollution thermique**

La pollution thermique est une augmentation ou une réduction nocive de la température normale des eaux, elle peut exercer une influence catastrophique sur les biocénoses aquatiques. Causé par l'évacuation de la chaleur provenant des installations techniques.

Les industries sont les grandes productrices des rejets thermiques, à savoir les centrales fonctionnant aux combustibles fossiles, pétrole, gaz et carbone, les centrales nucléaires, les usines chimiques, les papeteries et les centrales électriques (**Jeanne, 2000**).



Figure 4: Pollution thermique

(<https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=fr>).

- **Pollution radioactive**

La pollution de notre planète par des éléments radioactifs artificiels résultant de l'utilisation de l'énergie nucléaire, dont les différentes applications entraînent notamment l'apparition de déchets radioactifs. Ces déchets ont des origines diverses, on rencontre dans les sous-produits d'opérations minières, au cours de la purification du minerai d'uranium. Ils proviennent également des installations de préparation et de traitement des combustibles nucléaires, usines de séparation des isotopes, ainsi que des véhicules qui a propulsion nucléaire. Les résidus de combustion des réacteurs nucléaires restent le plus important polluant (**Queneudec, 1965**).

Selon **Berebouh, 2017**, Les trois principaux agents de cette pollution sont :

- La chaleur ;
- Les éléments solides entraînés par l'eau ;
- La radioactivité est potentiellement le plus dangereuse des polluants physiques .



Figure 5: Pollution radioactive

(<https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=fr>).

I.1.2.2. La pollution chimique

Cette pollution résulte de l'émission de contaminants chimiques, d'origine organique et minérale, générés par les diverses activités humaines. Elle englobe une large gamme de substances, dont les solvants, les métaux lourds tels que le zinc, le plomb et le cadmium, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les produits pharmaceutiques, les pesticides et les sels (**Benkaddour, 2018**). L'utilisation intensive d'engrais et de pesticides dans l'agriculture contribue également à la contamination chimique des sources et des nappes phréatiques. L'enrichissement excessif des sols en ces produits chimiques peut entraîner leur lessivage dans les eaux souterraines, provoquant ainsi une pollution durable des ressources en eau (**Aroua, 1994**). Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse (**Boudeal et al., 2003**).

Cependant La pollution minérale des eaux résulte de la libération dans ces dernières de divers métaux toxiques et des substances inorganiques telles les nitrates, les phosphates et autres sels minéraux nutritifs utilisés en agricultures comme fertilisants, enfin de divers résidus rejetés par la métallurgie et d'autres activités (**Ramade, 2005**).

I.1.2.3. Pollution biologique

La pollution biologique est la plus ancienne c'est la présence en quantité excessive de germes, bactéries et virus, parmi lesquels certains sont pathogènes peuvent provoquer des maladies gastro-intestinales. D'autres organismes, par nature plus opportunistes, infectent les individus fragiles par contact du corps avec l'eau contaminée ou par inhalation de goutte d'eau de mauvaise qualité avec divers aérosols. Le littoral, et plus précisément les estuaires, est un espace où se trouve concentré un grand nombre de rejets : le fleuve, lui-même souvent chargé, les effluents urbains côtiers, les rejets industriels ... (Chirstelle, 2006). Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont : Les bactéries ; les virus ; les parasites ; les champignons (Thomas, 1955). Les micro-organismes comprennent par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales : on distingue alors la flore entérique normale et les micro-organismes pathogènes (Boutin *et al.*, 2009).

I.1.3. Les conséquences de la pollution aquatique

I.1.3.1. Les conséquences écologiques

Les conséquences écologiques de la pollution des ressources en eau se traduisent par la dégradation des écosystèmes aquatiques. Tout d'abord, l'eau a comme propriétés de dissoudre la plupart des substances minérales ou organiques et de mettre en suspension les matières insolubles. En contamination. Par ailleurs, les gaz sont peu solubles dans l'eau, Les milieux aquatique sont donc naturellement pauvres en oxygène dissous, élément indispensable à la respiration de la faune aquatique. Or, la dégradation (l'élimination), par le milieu des pollutions organiques est fortement consommatrice d'oxygène : plus la pollution organique est forte, plus le milieu concerné s'appauvrit en oxygène. Ce phénomène peut aller jusqu'à l'anoxie de l'eau (absence d'oxygène), avec des conséquences très graves pour la faune. La relative pauvreté naturelle en oxygène dissous des milieux aquatiques amène les animaux à absorber de très grandes quantités d'eau pour satisfaire leurs besoins en oxygène. Ils risquent donc, beaucoup plus que les animaux terrestres, d'ingérer de grandes quantités de toxiques, même lorsque ceux-ci ne se trouvent qu'en très faibles quantités dans le milieu.

Enfin, les variations naturelles de température des milieux aquatiques sont d'une amplitude beaucoup plus faible que celle des milieux terrestres. Les organismes aquatiques sont donc nettement plus sensibles aux changements de température, même faibles. De ce fait, ils sont particulièrement exposés lorsqu'ils sont soumis à une «pollution thermique» (rejet d'eaux chaudes dans le milieu) (**Mezerdi, 2020**).

I.1.3.2. Les conséquences économiques

Les conséquences de la pollution des ressources en eau sur l'économie d'une ville, d'une région ou d'un pays peuvent prendre plusieurs formes. Les sociétés économiquement développées ont fini par prendre conscience, ces dernières décennies, que l'augmentation continue des pollutions et des prélèvements d'eau risquaient de compromettre le développement futur. En France, dans les années 60, la situation des cours d'eau a fait craindre pour la croissance industrielle (**Mezerdi, 2020**).

I.1.4. Les effets de la pollution aquatique

L'eau potable et les aliments contaminés par l'eau polluée sont à l'origine des maladies à transmission hydrique (MTH) qui sont des maladies du péril fécal à allure épidémique, dont la symptomatologie est plus souvent digestive (diarrhée, vomissement, nausée). Les MTH restent encore très répandues et constituent toujours une menace dans les pays pauvres et dont la mortalité est très élevée surtout pour les enfants en bas âge et parmi ces maladies on cite : le choléra, la fièvre typhoïde, l'hépatite virale et la dysenterie basilaire (**Abdelkafi, 1999**).

Selon **Mezerdi, 2020**, les effets néfastes de la pollution des ressources en eau sont en effet multiples, sur les plans économique et social. On peut citer, en particulier :

- Pour la production d'eau potable, la pollution peut réduire le nombre de ressources utilisables, augmenter le coût des traitements de potabilisation ou celui du transport de l'eau, lorsqu'il faut avoir recours à des ressources plus lointaines.
- L'industrie est un gros consommateur d'eau et ses exigences, en terme de qualité de l'eau, sont parfois très élevées. C'est pourquoi la dégradation des ressources peut devenir un frein au développement industriel (c'est d'ailleurs l'une des raisons qui a amené les pays industrialisés, avant les autres, à se soucier de l'état de leurs ressources).

- L'exploitation même des milieux aquatiques (pisciculture, loisirs...) sera entravée en cas de pollution.
- L'altération de la qualité de vie consécutive à la pollution du milieu influe également sur la dépréciation d'un site.
- L'agriculture a largement recours aux eaux brutes, non traitées, pour l'irrigation des sols. Une eau de mauvaise qualité ne sera donc pas sans conséquence sur la production agricole.

I.2. Evaluation la qualité d'eau

Pour évaluer l'état écologique de l'eau, un ensemble d'indicateurs biologiques, physico-chimiques et organoleptiques sont utilisés, fournissant des informations sur la qualité de l'eau.

I.2.1. Evaluation de la qualité organoleptique

I.2.1.1. Couleur

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les Substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. La couleur est esthétiquement indésirable. Il est important de la mesurer, étant donné qu'une couleur élevée est esthétiquement indésirable (**FNS, 2013**).

I.2.1.2. Odeur

Signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition (**WHO, 2011**), l'odeur est un paramètre important qui permet de porter un jugement bref sur la qualité de l'eau (**Rodier et al., 2009**).

I.2.1.3. Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lors de la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (**Rodier et al., 2005**). Des nombreuses substances minérales peuvent donner une saveur désagréable

à des concentrations beaucoup plus faibles que celles qui provoqueraient des effets toxiques (**Graindorge, 2015**).

I.2.1.4. Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...), elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour la sécurité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU (**Jean Claude, 1992**).

I.2.2. Evaluation la qualité physico chimique d'eau

La qualité physico-chimique de l'eau informe sur la localisation et l'évaluation d'un niveau de pollution, en fonction d'un ensemble de paramètre. Basée sur des valeurs de référence, elle s'apprécie à l'aide de plusieurs paramètres :

- **Qualité physique** : Matière en suspension, turbidité, transparence, température, conductivité et salinité (**Catherine, 2013**).
- **Qualité chimique** : pH, sels minéraux, matière organique (Demande Biologique en Oxygène en 5 jours, Carbone Organique Dissous), oxygène dissous, nutriments (nitrites, nitrates, ammonium, phosphate, silice), pesticides...etc (**Catherine, 2013**).

I.2.2.1. Les paramètres physico-chimiques

- Température (T °C)

Selon Rodier (1984), la température joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz dans l'eau (**Rodier., 1984**). C'est un est un facteur écologique important pour les milieux aquatiques, est sujette à des perturbations dues à l'homme, pouvant entraîner des conséquences néfastes sur la vie aquatique et les processus biochimiques.. Elle joue un rôle important dans les processus bactériens comme la nitrification et la dénitrification (**Leynaud, 1998**).

- Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH mesurant l'acidité d'une solution, est défini par l'expression $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ où (H^+) est l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution (**Ramade, 1998**). Qui donne une bonne représentation de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau. Pour l'eau potable, les directives de l'OMS fixent le pH entre 6,5 et 8,5 (**OMS, 2008**). Ce

paramètre joue un rôle très important dans le développement de la vie aquatique (**Derwich et al., 2010**).

Un pH bas accroît la présence de métaux toxiques, tandis qu'un pH élevé augmente les concentrations d'ammoniac, nocif pour les poissons (**Rodier et al, 2009**). Généralement, les valeurs de pH des eaux naturelles sont comprises entre 6 et 8,5 (**Derwich et al, 2010**). L'échelle de pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si:

- $[H^+] < [OH^-] \Rightarrow pH > 7$: l'eau est basique.
- $[H^+] > [OH^-] \Rightarrow pH < 7$: l'eau est acide.
- $[H^+] = [OH^-] \Rightarrow pH = 7$: l'eau est neutre.

- **Conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique (CE) est définie comme la capacité d'une solution à conduire l'électricité (**Rodier et al., 2009**). Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (**Rodier, 2009**). Généralement l'on considère que la situation est particulière ou anormale au-delà de 2000 $\mu S/cm$ et une conductivité de l'eau supérieure à 1500 $\mu S/cm$ classe alors une eau comme difficilement utilisable dans les zones irriguées (**Rodier et al, 2009**).

- **L'oxygène dissous (OD)**

C'est un constituant vital de tous les tissus vivants, végétaux et animaux. Ils ont besoin, pour vivre de dioxygène à l'état libre ou combiné (**Afnor, 2000**). C'est l'un des paramètres les plus sensibles à l'apport de pollution organique dans un cours d'eau (**Bontoux, 1983**). Le taux de l'oxygène dissous constitue le paramètre le plus sensible à l'apport de pollution organique dans un cours d'eau (**Laouar et khouache, 2006**).

- **Matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres microorganismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par

conséquent, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (Merabet, 2010).

- **Demande biochimique en oxygène (DBO)**

La DBO constitue un indicateur de pollution par la matière organique biodégradable. La DBO₅ c'est la Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours, mesure la quantité de Matière Organique biodégradable contenue dans une eau pendant 5 jours (à 20 °C et dans l'obscurité) (Ramade, 2002).

Ce paramètre est exprimé en milligramme d'oxygène nécessaire pendant cinq jours pour dégrader la matière organique contenue dans un litre d'eau ; mg O₂/l (Rodier, 2009). La DBO₅ peut être plutôt favorable à la vie aquatique et il est admis qu'une DBO₅ inférieure à 1 mg/l peut être considérée comme normale, entre 1 et 3 mg/l acceptable et au-delà de 7 mg/l comme douteuse ou anormale (Rousseau *et al.*, 2004).

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La Demande Chimique en Oxygène, ou DCO. Ce paramètre permet de quantifier la matière oxydable contenue dans l'eau par la mesure du taux d'oxygène nécessaire pour la dégrader (Diab, 2016). La DCO est exprimée en mg d'O₂ consommé par les matières oxydables dans un litre d'eau : mg/l d'O₂ (Rodier, 2009).

I.2.3. Evaluation la qualité biologique d'eau

I.2.3.1. Généralités sur la surveillance biologique

Depuis le 19^e siècle, les cours d'eau, surtout dans les nations industrialisées, ont été sérieusement altérés par diverses formes de pollution, qu'elle soit industrielle, urbaine ou agricole. Dans de nombreux pays, des initiatives de surveillance de l'intégrité biologique des cours d'eau ont été lancées afin d'évaluer la qualité des eaux de surface et l'état de santé des écosystèmes aquatiques. Ces initiatives se concentrent principalement sur l'utilisation des communautés de macro invertébrés benthiques (Boissonneault, 2006).

Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes animaux visibles à l'œil nu tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers (Tachet *et al.*, 2006).

Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes qui vivent dans le fond d'un cours d'eau ou qui ne s'en éloignent que de peu durant la majeure partie de leur vie. Dépourvus de colonne vertébrale (**Gagnon et Pedneau , 2006**). Leur cycle de vie est aussi relativement long, de l'ordre d'une année (**Marchant, 1986**). Les macroinvertébrés sont les organismes les plus souvent utilisés pour évaluer l'état de santé des écosystèmes d'eau (**Moison et al ., 2010**).

Selon **Barbour et al ., 1999**, le suivi des macroinvertébrés benthiques est utile pour :

- Évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques.
- Suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau au fil du temps.
- Évaluer et vérifier l'effet d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème.
- Évaluer les impacts des efforts de restauration (habitat et qualité de l'eau).
- Apporter un complément biologique au programme de surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des cours d'eau.
- Documenter la biodiversité des macro invertébrés benthiques dans les cours d'eau

I.2.3.2. L'utilisation des macro-invertébrés benthiques comme bio indicateur

Les macroinvertébrés sont des éléments essentiels parmi les bioindicateurs, fournissant une multitude d'indices biologiques précieux en raison de leur diversité d'espèces, de leur capacité à occuper divers habitats et de leur mobilité relativement limitée par rapport aux poissons. Cette caractéristique les rend particulièrement efficaces pour évaluer la qualité actuelle et passée de l'eau, ainsi que de l'habitat et de l'hydro système qu'ils habitent (**Tachet, 2002**). Les insectes aquatiques, les acariens, les mollusques et les crustacés d'eau douce sont parmi les macroinvertébrés les plus fréquemment utilisés comme bio indicateurs. Ces organismes sont collectés en vue de leur identification jusqu'au niveau de l'espèce, du genre, de la famille ou de l'ordre, selon le type de surveillance choisi par l'initiateur. Ce sont les différences de sensibilité aux perturbations entre les différents taxons qui seront déterminantes ; ces perturbations étant souvent liées aux activités humaines telles que la foresterie, l'agriculture et l'urbanisation, qui se déroulent dans le bassin versant (**Hershey et Lamberti, 2001**).

Les macroinvertébrés constituent un groupe taxonomique très hétérogène regroupant plusieurs phylums et qui colonisent dans des habitats diversifiées (**Nathalie, 2017**). Ils sont visibles à l'œil nu (**Gagnon et Pedneau, 2006**). Tels que

les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs (**Barbour et Gerritsen, 1999**).

Ils sont de bons bio-indicateurs en raison de leur sédentarité, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (**Moisan et Pelletier, 2010**), et reflètent particulièrement bien l'état écologique du cours d'eau en réagissant très vite aux changements survenant dans leur environnement. Par conséquent, ils réagissent aux perturbations environnementales qui entraînent des modifications dans la structure des assemblages benthiques (**Banaru et Perez, 2010**).

Par ailleurs, leur utilisation est répandue depuis longtemps dans l'évaluation et le suivi de la qualité des eaux douces (**Guillaume, 2004**), puisqu'ils sont présents et facilement récoltables, identifiables et échantillonnables (**Barbour, 1999**). Ces organismes participent activement dans la transformation de la matière organique (décomposition des feuilles, bois,). Enfin, ces organismes jouent un rôle crucial dans les écosystèmes aquatiques en tant que composante essentielle de la chaîne alimentaire, étant une source de nourriture pour de nombreuses espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (**Pelletier, 2009; Nathalie, 2017**).

I.2.3.3. Quelques espèces de macroinvertébrés

Les macroinvertébrés les plus fréquemment utilisés dans la bio indication sont les Insectes aquatiques (sous formes larvaires et parfois adultes), les mollusques, les crustacés d'eau douce et les bivalves (**Boissonneault, 2006; Daphné, 2008; Mathieu, 2013**).

- **Nématodes** : Ce sont des organismes présentent un corps rond allongé, non segmenté et effilé aux deux extrémités, caractéristique de leur morphologie. Ces créatures démontrent une tolérance moyenne à la pollution, ce qui les rend relativement résistantes aux altérations de leur environnement (**Moisan, 2010**).

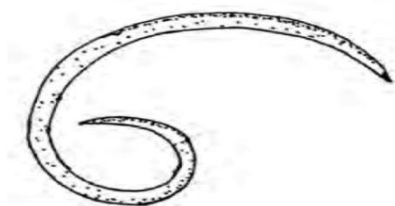
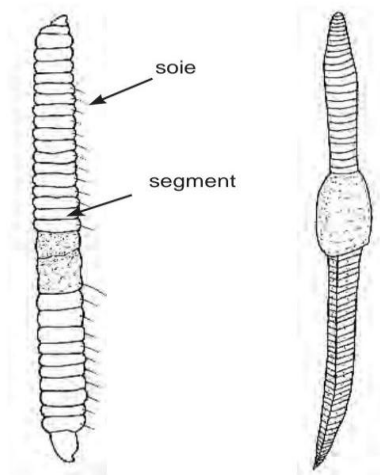
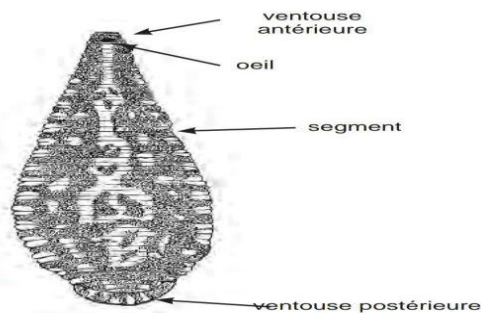


Figure 6: Morphologie de Nématodes (Moisan, 2010).

- **Annélides** : Il y a deux types Annélides – oligochètes et Annélides – sangués :
- Annélides – oligochètes** : C'est un organisme possède un corps mou, allongé et cylindrique, composé de multiples segments similaires. De plus, ces créatures démontrent une certaine tolérance à la pollution, ce qui leur permet de survivre et de prospérer même dans des environnements altérés par l'activité humaine (Moisan, 2010).

**Figure 7:** Annélides-Oligochètes (Moisan,2010).

Annélides – sangués : Ce type d'organisme présente un corps mou et aplati, divisé en segments et doté d'une consistance caoutchouteuse dans les spécimens préservés. Enfin, la tolérance à la pollution suggère une adaptation à des habitats perturbés, ce qui est courant chez les annélides, y compris les sangués, qui peuvent survivre dans des eaux contenant des substances nocives (Moisan, 2010).

**Figure 8:**Annélides-Sangsues (Moisan, 2010).

- **Crustacés** : Le corps des crustacés peut être divisé en trois parties : le céphalon, le thorax et l'abdomen (**Tachet, 2010**). Les crustacés possèdent un minimum de cinq paires de pattes articulées (exception faite des ostracodes) ainsi que deux paires d'antennes (**Beaumont et Cassier, 2009 ; Baudour et Habiles. 2017**).

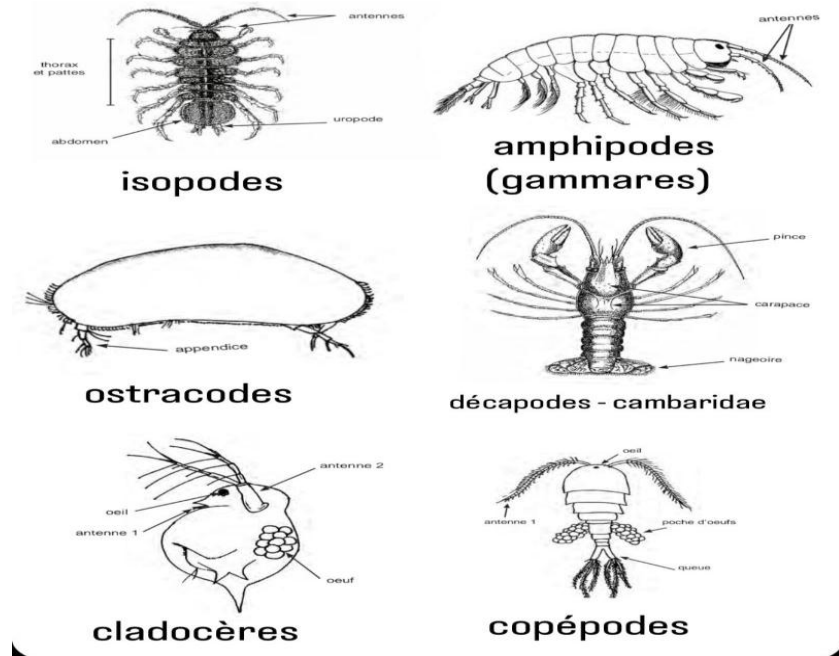


Figure 9: Quelques types de Crustacée (**Moisan,2010**).

- **Mollusques** : Les mollusques sont des invertébrés à corps mou dont la plupart possèdent une enveloppe externe dure, la coquille (**Moisan, 2010**).

Les bivalves sont une classe de mollusques caractérisée par la présence de deux valves jointes par une charnière comme chez les moules. Leur tolérance à la pollution est moyenne (**Moisan, 2010**).

Les gastéropodes sont une classe de mollusques caractérisée par la présence d'une seule coquille habituellement spiralée comme celle des escargots. Les gastéropodes avec un opercule (prosobranches) ont une tolérance moyenne à la pollution, et ceux sans opercule (pulmonés) sont considérés comme tolérants (**Moisan, 2010**).

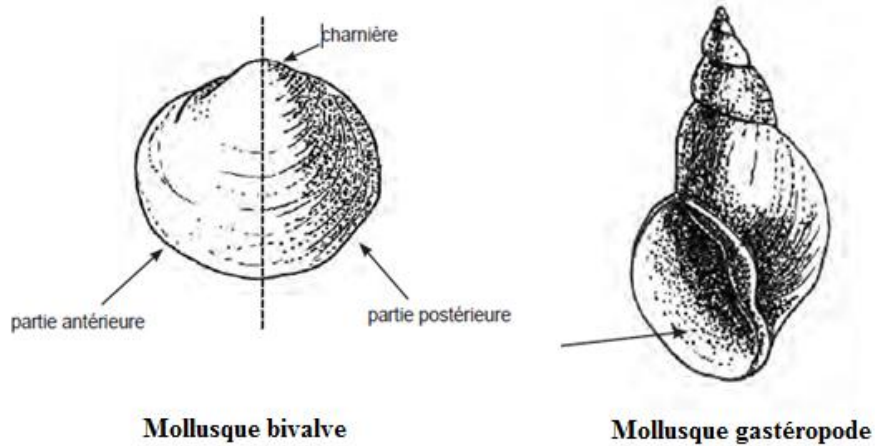


Figure 10: Quelques types de Mollusques (Moisan,2010).

- Insectes

Les Ephéméroptères : Ce sont des insectes dont les larves se trouvent exclusivement dans l'eau et qui se distinguent par la présence rare de deux ou trois queues (deux cerques et un paracerque). Ils sont considérés comme fragiles et nécessitent une manipulation prudente (Douakha *et al.*, 2015).

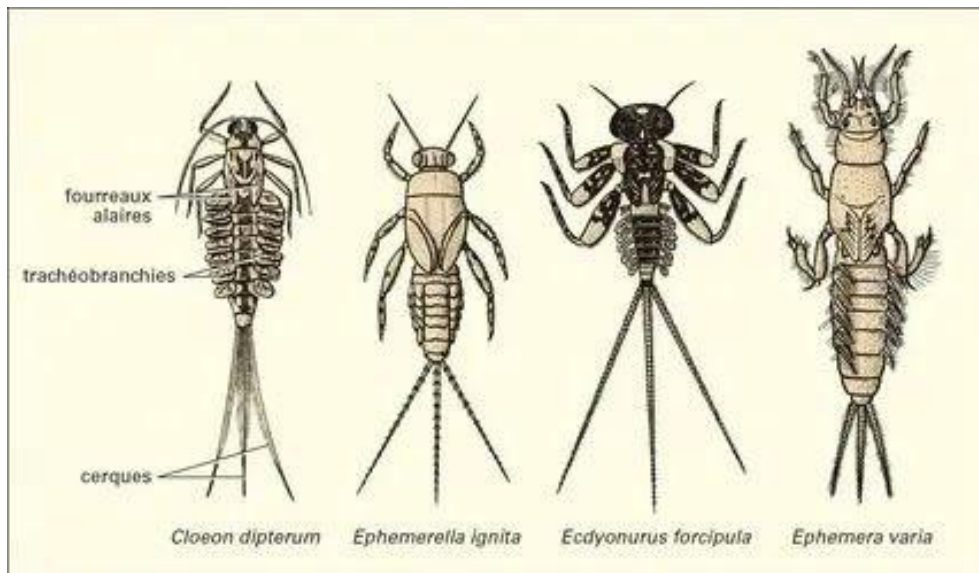


Figure 11: Quelques types des larves d'Ephémères.

Les coléoptères : Ce sont des insectes possédant deux paires d'ailes. Les ailes antérieures sont repliées sous les ailes postérieures, lesquelles se transforment en étuis protecteurs ou élytres. Leur appareil buccal est de type broyeur. Leur développement

passer par au moins quatre étapes : l'œuf, la larve, la nymphe et l'imago (**Chirouf et Moumene, 2015**). Environ 15% des espèces peuvent être définies comme aquatiques (**Tachet, 2013**).

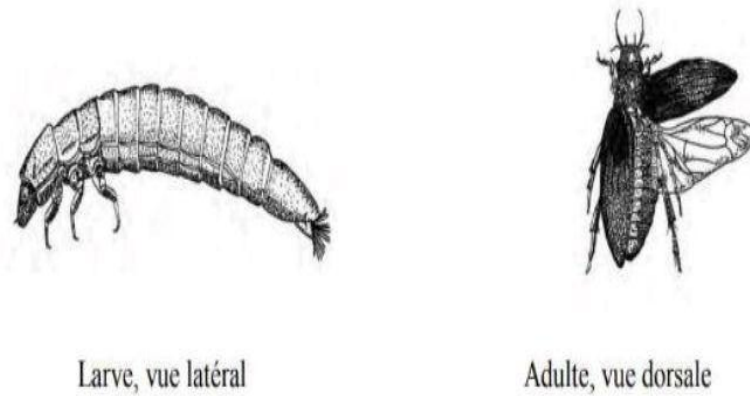


Figure 12: Un coléoptère (adulte et larve) (**Moisans et al., 2008**).

Les Trichoptères (ou phryganes) : Ce sont des insectes holométaboles à facies de papillons et sont hygrophiles et souvent lucifuges, beaucoup sont crépusculaires (**Grassé et al., 1970**). Les larves et les nymphes sont aquatiques, à l'exception du *Limnephilidae Enoicyla* qui s'est secondairement adapté à la vie terrestre (**Tachet, 2013**).

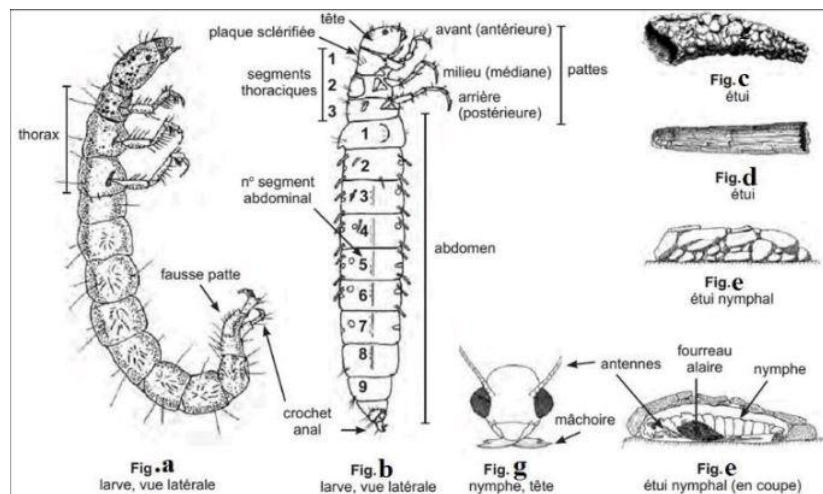


Figure 13: Trichoptères (**Mccafferty, 1981**).

Les Diptères : constituent avec les coléoptères le groupe des ordres d'insectes les plus variés en espèces et abondants dans le monde. Les formes aquatiques sont par contre moins nombreuses que les formes terrestres mais bien souvent ils sont d'un intérêt économique et médical. Ce groupe, à métamorphose complète, est le plus important des insectes aquatiques. Aussi bien en milieu lentique que l'otique. Selon les espèces, les stades larvaires (3 à 4 mues) aquatiques durent plusieurs semaines à près de 2 ans. La plupart des espèces ont une génération par an, certains en ont deux. La plupart des larves ont une respiration cutanée ou branchiale (**Johannsen, 1977 ; Dejoux et al., 1983**).

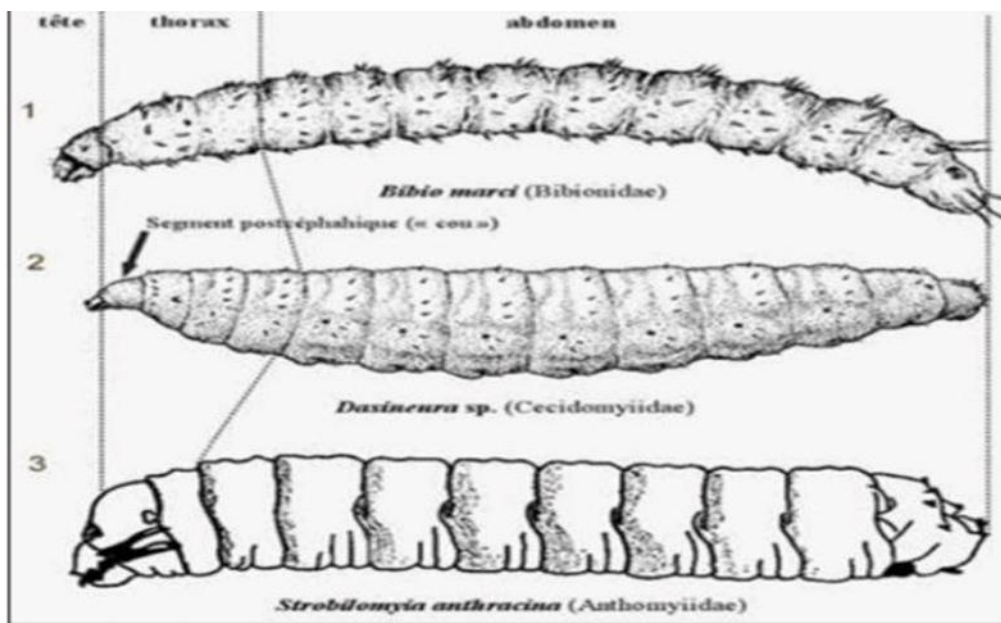


Figure 14: Différentes formes des larves des diptères (**Moisan, 2010**).

Les Odonates (les libellules) : constituent un ordre d'insectes hémimétaboles à larves exclusivement aquatique. Ils sont paléontologiquement un peu plus récents que les Epheméroptères. Ils sont connus depuis le Carbonifère, notamment par les gigantesques Méga isoptères (**Tachet, 2013**). 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 (**Moisson, 2010**).

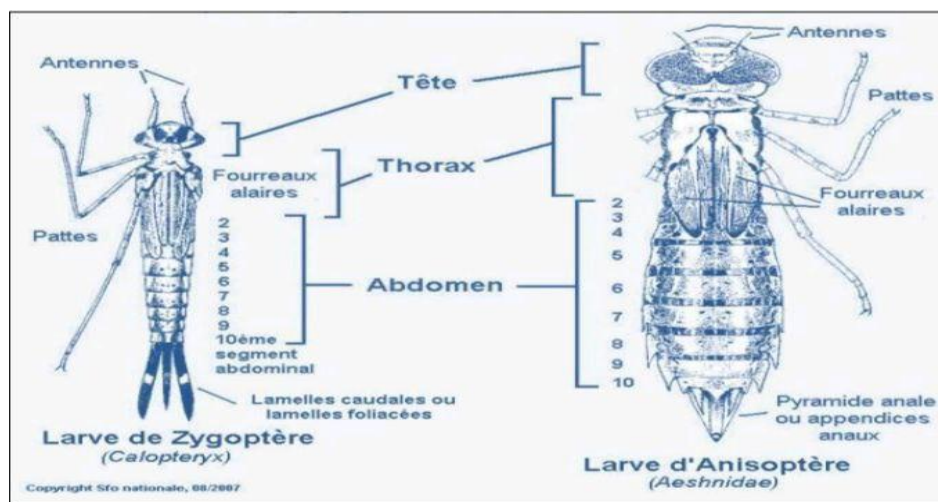


Figure 15: Morphologie générale des larves des Odonates (Moison *et al.*, 2008).

I.2.3.4. Les indices biologiques

Les animaux et les végétaux qui colonisent les milieux aquatiques possèdent des exigences diverses vis-à-vis de ce milieu (Brnard *et al.*, 2009). Tels que la température, la salinité, la profondeur, la lumière, la composition du sol et la présence d'autres organismes. Ces organismes sont donc susceptibles de réagir aux modifications du milieu aquatique et peuvent servir d'indicateur de la perturbation existante (Prygiel J, 2000). De nombreux indices sont couramment utilisés, tant pour les diatomées que pour les invertébrés benthiques. ils permettent d'évaluer la qualité biologique des milieux aquatiques par l'expression d'une valeur simple et unique (Barbour *et al.*, 1999).

- **Indice biologique global normalisé (IBGN)**

L'indice biologique global normalisé est un outil diagnostique basé sur l'étude des macro- invertébrés, très pratiqué en France, permet d'évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau (Afnor, 2010).

L'BGN est une méthode d'évaluation de la qualité de l'eau et des habitats des petits cours d'eau peu profonds. Il constitue une information synthétique exprimant l'aptitude d'un site d'eau courante au développement des invertébrés benthiques (insectes, crustacés, mollusques, vers...), toutes causes confondues.

Il est qualifié de « global » car il traduit les caractéristiques de l'eau et du substrat selon la présence ou l'absence de macro-invertébrés (Solimini *et al.*, 2000).

- **L'indice Chironomidien**

Les Chironomidaes sont caractérisés par un grand nombre d'espèces dont la pollution sensibilité est très variable (**Rico et al., 1992**). Cet indice chironomidien (1989) utilise 24 espèces indicatrices réparties en 5 groupements, et prend également en compte la notion de courant, la note finale est obtenue à partir d'une grille possédant deux entrées : verticalement, les groupements indicateurs, horizontalement, la richesse spécifique et l'indice de Shannon (**Djeddi et Laouar , 2001**).

- **L'indice oligochète (IOBS)**

Les oligochètes ont la particularité d'être de bons bioindicateurs de la qualité des sédiments (**Rosso, 1995; Rosso et al., 1994 ; Prygiel et al., 1999 ; Lafont et al., 2010 ; Rodriguez & Reynoldson, 2011**). Les oligochètes sont inféodés aux sédiments, se déplacent peu, et leur mode d'alimentation est principalement constitué par l'ingestion des sédiments fins (**Timm & Martin 2015**). Le groupe comprend un grand nombre d'espèces, allant de sensibles à très résistantes aux pollutions (**Rodriguez & Reynoldson, 2011**). et les oligochètes sont en règle générale abondants dans les sédiments fins/sableux (**Vivien et at., 2014**). L'indice oligochètes de bioindication des sédiments (**IOBS**) permet d'évaluer la qualité biologique des sédiments fins/sableux (**AFNOR 2002 ; Prygiel et al., 1999 ; Rosso 1995**). et décrit la qualité biologique en 5 classes : très bonne, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise. Selon l'abaque de l'indice, le pourcentage du groupe des tubificidés sans soies capillaires (comprenant les sous-familles Tubificinae, Rhyacodrilinae et Phalloodrilinae) indique le type dominant de pollution (métaux/PCB ou HAP, matière organique) (**AFNOR 2002**).

Chapitre II :
Matériel et Méthodes



II.1. Présentation la zone d'étude

II.1.1. Présentation de la wilaya de Mila

La wilaya de Mila est dotée d'un vaste réseau hydrographique constitué de rivières et de barrages, dont le plus important au niveau national, le barrage Béni-Haroun. Ce dernier est alimenté par deux grands cours d'eau, l'oued Rhumel et l'oued Endja (ANBT, 2007). La confluence de ces deux cours d'eau donne naissance au bassin Kebir-Rhumel (Mebarki, 1982).

II.1.2. Présentations la zone d'étude

Le barrage Béni Haroun, situé dans la commune de hamala, daïra de Grarem Gouga (DTM, 2008), se trouve à moins de 15 km de la wilaya de Mila. Principalement dédié à l'approvisionnement en eau potable, le barrage Béni Haroun est la plus grande infrastructure hydraulique en Algérie, Il est construit dans la région bien arrosée du Tell oriental, Au sud de cette région se trouvent d'importants centres urbains tels que Constantine, Batna, Khenchela, Oum el- Bouaghi et Mila, ainsi que de vastes terres irrigables (hautes plaines semi-arides) qui ne peuvent pas être suffisamment alimentées par les ressources locales. La région est caractérisée par son appartenance au climat méditerranée (Djeddi *et al.*, 2018).

II.1.2.1. Présentation physique de l'aire d'étude

Le bassin de Béni Haroun est reconnu comme l'un des plus vastes bassins hydrographiques majeurs en Algérie. Il couvre une superficie de 5328 km², soit plus de 60% de la superficie totale du grand bassin Kebir Rhumel dont il fait partie (Kerdoud, 2006). La digue est élevée sur oued El Kébir en aval de la confluence des oueds Endja et Rhumel, principaux cours d'eau alimentant le réservoir (Djeddi *et al.*, 2018). Cette entité hydrographique est composée de quatre sous bassins versant. Selon Kerdoud (2006), il est limité naturellement par :

Au Nord-Ouest et Est le bassin des côtiers Constantinois Est et Centre .

Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois .

A l'Ouest les bassins de l'Algérois- Hodna- Soummam .

A l'Est le bassin de Seybouse.

Le barrage Béni Haroun à la capacité de stocker 960 millions de mètres cubes d'eau, dont 732 hm³ sont utilisables, sur une plage d'altitude allant de 172 à 200 mètres. Il assure la régularisation d'un apport annuel en eau de 435 millions de mètres cubes. Le rapport entre la capacité de stockage et la surface de la retenue donne une profondeur moyenne de 24 mètres (**Kerdoud .,2006**),

Tableau 1 : Caractéristiques du barrage Béni Haroun (**Kerdoud .,2006**),

Caractéristiques	Barrage béni Haroun
Année de finalisation	2003
Capacité	960 m ²
Volume de la digue du barrage	1.9 millions de 3 m3 de BCR
Hauteur au – dessus du lit	114 m
Largeur du barrage à la base	100 m
Longueur du barrage en crête	710 m

III.1.2.2. Présentation du réseau hydrographique

L'Oued Rhumel, avec son réseau hydrographique dense et une superficie qu'il draine de plus de 123 km, se distingue comme le principal cours d'eau. Il prend sa source dans les hauts plateaux de Sétif, traverse les gorges de Constantine jusqu'à rejoindre l'Oued Endja, puis prend le nom d'El Kébir. Le bassin de Kebir-Rumel résulte de l'assemblage de deux rivières, les rivières Rhumel et Kébir, qui drainent respectivement une superficie de 5 315 km² et 2 160 km² (**Mebarki, 1982**).

L'Oued Endja, s'étendant sur 15 km, prend sa source à la jonction de l'Oued El Kébir et de l'Oued Redjas. Son lit présente une configuration lithologique particulièrement intéressante du point de vue hydrogéologique, ce qui contribue à la densité du réseau hydrologique du barrage Béni Haroun. Quant à l'Oued El Kébir, issu de la convergence des deux oueds précédents, Rhumel et Endja, il parcourt 56 km avant de se jeter dans la mer (**Melghit, 2009**).

II.2. Choix et localisation des stations de prélèvements

Les campagnes d'échantillonnage au niveau du barrage Béni Haroun se sont déroulées de mars et avril 2024. Le choix des 3 stations d'études repose sur leur situation par rapport aux agglomérations, aux sources de pollution possible et à leur accessibilité. Elles ont été choisies afin qu'elles représentent les différentes conditions du milieu, principalement la géologie locale, l'érosion des sols agricoles, le ruissellement de surface des zones environnantes, et l'impact des effluents et déchets domestique (Fig 16).



Figure 16: Localisation des stations de prélèvement (Google Earth, 2024).

Elles sont définies comme suit:

- Station El Maleh (S1): Située à l'extrémité occidentale du barrage, la zone d'intérêt se trouve à environ 13 kilomètres au nord de la ville de Mila et à environ 5 kilomètres de la région de Beïnen. Ses coordonnées géographiques précises sont N : 36° 30' 23,05" et E : 06° 11' 51,79", et son altitude s'élève à 203 mètres.



Figure 17: La première station (S1) El Maleh.

- Station Ferdoua (S2) : Située au nord-est du barrage, la zone d'intérêt se trouve à environ 8 kilomètres au nord de la ville de Mila. Elle est positionnée sous un pont, offrant un point de vue unique sur le paysage environnant.



Figure 18: La deuxième station (S2) Ferdoua.

- Station la digue (S3) : La station se trouve en aval de la commune d'Anouche Ali, sur une pente douce et régulière. Elle sert de point de transition entre El Grarem et Sibaris1, juste avant l'ANBT. Située au nord-est du barrage, elle est à environ 10 kilomètres au nord de la ville de Mila et à environ 3 kilomètres de la région de Grarem. Ses coordonnées géographiques précises sont 36°32'28,97" de latitude nord et 6°17'12,43" de longitude est.



Figure 19: La troisième station (S3) la Digue.

II.3. Rythme et Nature des prélèvements

Pour évaluer la qualité des eaux du barrage Béni Haroun, deux prélèvements ont été réalisés dans trois stations suscitées pour l'analyse physico-chimique et biologique (Tab.2).

Tableau 2 : Calendrier de campagnes de prélèvement.

Stations	Campagne 1			Campagne 2		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Paramètres physico-chimiques	23/03/2024			27/04/2024		
Macroinvertébrés benthiques	23/03/2024			27/04/2024		

II.4. Analyse physico-chimique des eaux

II.4.1. Température

La mesure de la température a été effectuée sur terrain en utilisant un appareil multi paramètre (Adwa. AD 8000). La lecture a été faite après une immersion de 10 minutes à environ 15 cm de profondeur. Les résultats sont exprimés en C°.

II.4.2. Potentiel Hydrique

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre de modèle (Adwa. AD8000), en insérant l'électrode dans l'eau à une profondeur d'environ 6 à 8 cm sous la surface. Avant utilisation, le pH mètre est calibré en utilisant des solutions étalons de pH 4, 7

et 9 à une température de 20°C conformément à la norme NF t 90-008. Les valeurs obtenues sont exprimées en unités de pH.

II.4.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un appareil multi paramètre (Adwa. AD 8000). A la température de référence de 20°C. La conductivité est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C.

II.5. Analyse biologique

II.5.1. Technique de prélèvement

La récolte des macroinvertébrés benthiques a avant tout un caractère qualitatif. Pour cela, tous les micro- habitats susceptibles d'en abriter (micro-biotopes) sont explorés (Les plantes aquatiques, les pierres, la boue, les racines plongeante des buissons) (Afri-Mehennaoui, 1998). La collecte des macroinvertébrés a été réalisée en mars et avril, ces mois correspondent à la saison favorable pour le prélèvement. Afin de faciliter la mise en œuvre de notre plan d'échantillonnage. Deux méthodes ont été effectuées :

La première technique de prélèvement a été réalisé suivant le protocole normalisé XPT90-333 (AFNOR, 2009) intitulé « Prélèvements des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes ». Elle consiste à déposer le filet Surber (1/20 m², 500 μm de vide de maille) à main sur le fond de la station de prélèvement, l'ouverture du filet face au courant. L'opérateur, met le sédiment en suspension par le mouvement des pieds. Il fouille le substrat du fond et des berges délogeant les organismes qui, entraînés par le courant, sont alors récoltés dans le filet. Comme l'échantillonnage au filet n'est pas toujours applicable à tous les habitats, il faut parfois l'effectuer à la main. L'opérateur doit être de préférence le même pour une série d'échantillonnage.



Figure 20: Filet à troubleau.

La deuxième technique consiste à employer des balais comme substrat artificiel pour l'étude de la faune macro invertébrée benthique. Ce balai, immergé pendant 15 ou 20 jours au fond de chaque station d'étude, servira d'habitat artificiel à ces organismes.



Figure 21: Balai à alfa.

II.5.2. Traitement et conservation des échantillons

Sur le terrain, il est important de veiller à éliminer autant que possible les feuilles, les pierres et la boue de l'échantillon dans le filet même. Cette opération peut être réalisée de la manière suivante :

Première étape : Éliminer la boue et le sable par des rinçages répétés. Récupérer les organismes non flottants, tels que les Trichoptères à fourreaux et les Mollusques.

Ensuite, transférer l'échantillon dans une boîte en plastique remplie d'eau. Pour une identification précise, il est indispensable de porter un masque et d'ajouter du formol dilué à 35% (un produit conservateur) aux organismes collectés. Pour identifier chaque échantillon, on appose une étiquette sur la boîte indiquant la date et le numéro de la station.

Au laboratoire, les échantillons fixés au formol sont entreposés en vue de leur traitement ultérieur. Une étape cruciale consiste à effectuer un pré-tri, divisant l'échantillon en trois fractions distinctes. Ces fractions sont ensuite lavées à l'eau au-dessus de trois tamis superposés, dont la taille des mailles (2mm, 1mm, et 0.25mm). Décroît graduellement. Ce processus permet de séparer les éléments grossiers, les éléments de taille moyenne et les plus fins. Le premier tamis retient les éléments les plus gros tels que les morceaux de bois, les feuilles, les vases et les pierres, tandis que les éléments de taille moyenne et les plus fins sont respectivement collectés par le deuxième et le troisième tamis.

Le contenu de chaque tamis est ensuite vidé progressivement, en petites quantités, dans des bacs en plastique blanc.

Les organismes sont récoltés, à l'aide d'une pince entomologique, ces derniers sont triés et mis dans des piluliers contenant de l'éthanol, sans oublier de les fermer et étiquetés pour ensuite faire leur identification

II.5.3. Identification des macrosinvertébrés

L'identification des organismes benthiques a nécessité l'emploi d'une loupe binoculaire pour une observation détaillée, et parfois, une observation à l'œil nu a suffi. L'évaluation finale a été faite grâce aux clés d'identification comme Guides d'identification (**Moisan et Pelletier, 2008 ; Moison, 2010 ; Leclercq et Solito de Solis, 2010**). Pour un examen plus approfondi de caractéristiques morphologiques spécifiques telles que les têtes, les mandibules, les soies, les ailes, le corps et les yeux, une loupe binoculaire à plus fort grossissement est souvent nécessaire. Le niveau d'identification a été déterminé en fonction de la précision requise (famille ou genre) (Tab.3).

Tableau 3: Limites de détermination des unités systématique (**Tuffery et verneaux, 1978**)

Groupe taxonomique	Niveau de détermination
Plécoptères	Genre
Trichoptères	Famille
Ephéméroptères	Genre
Odonates	Genre
Coléoptères	Famille
Mollusques	Genre
Crustacés	Famille
Mégaloportes	Genre
Hémiptères	Genre
Plathelminthes	Genre
Hirudinées	Genre
Oligochètes	Famille
Némathelminthes	Présence
Hydro cariens	Présence
Diptères	Famille

II.6. Détermination des indices écologiques et biologiques

II.6.1. Détermination de l'indice biotique (Ib)

L'indice biotique est déterminé à l'aide du tableau standard à double entrée de **Tuffery et Verneaux (1978)**, (Tab.4). Les catégories faunistiques rencontrées, classées en 7 groupes selon leur résistance croissante à la pollution, sont reprises de haut en bas dans ce tableau.








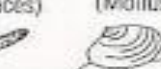
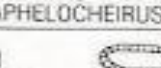
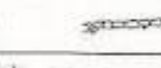
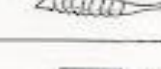




Les groupes les plus sensibles à la pollution, comme les Plécoptères, les Ephéméroptères et les Trichoptères, se trouvent en haut du tableau. Les groupes les plus résistants, tels que les Tubificidae et certaines familles de Diptères (Chironomidae, Syrphidae), se situent en bas du tableau. Les colonnes verticales représentent le nombre total d'unités taxonomiques classées par groupe.

Les indices biotiques sont déterminés par l'intersection de la ligne correspondant au groupe faunistique le plus sensible présent dans l'échantillon et de la colonne

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

L'indice biotique minimal de 0, indiquant une pollution maximale, est atteint uniquement en présence d'Eristalines, tous les autres groupes fauniques étant absents. Dans ce cas, on observe une seule unité taxonomique, ou une absence totale de groupes.

Tableau 4: Tableau standard de **Tuffery et Verneaux (1978)**.

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

limite de pollutioneaux non polluéeseaux polluées

II.6.2. Détermination des indices écologiques

Les indices écologiques (abondance, richesse spécifique, indice de diversité de Schannon-Weaver) et d'équitabilité sont calculés selon les formules mathématiques suivantes:

- **L'abondance** : L'abondance relative d'un groupe, ou d'une espèce, est le nombre d'individus de ce groupe, ou de cette espèce, par rapport au nombre total d'individus présent par unité de surface ou de volume. La valeur est donnée en pourcentage :

$$P_i = n_i / N$$

- n_i = nombre d'individus de l'espèce i
- N = nombre total d'individus

Elle exprime l'influence exercée par une espèce ou par un groupe dans le peuplement

- **La richesse spécifique « S »** : On appelle richesse d'un peuplement ou d'un écosystème le nombre d'espèces ou de taxons (niveau genre, famille etc.) présents dans chaque prélèvement. Ce paramètre renseigne sur la qualité du milieu, plus le peuplement est riche plus le milieu est complexe et par conséquent stable (**Dajoz, 2006**).
- **Indice de diversité de Shannon-Weaver** : L'indice de diversité de Shannon (H') mesure le degré et le niveau de complexité d'un peuplement.

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \log_2 (p_i)$$

- i : une espèce du milieu d'étude ;
- p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu).

Ainsi, la valeur de H' dépend du nombre d'espèces présentes, de leurs proportions relatives, de la taille de l'échantillon (N) et de la base de logarithme.

Dans la nature, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillons de grande taille de communautés complexes) (**Jean et al., 2015**).

- **Indice d'équitabilité**

Cet 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) (**Blondel, 1979**).

Appelée aussi régularité, l'équitabilité (E) est définie par le rapport de la diversité réelle à la diversité maximale.

$$E = \text{Ish} / \log_2 (S)$$

Où Ish est l'indice de diversité de Shannon, S est la richesse spécifique et $\log_2 (S)$ est la valeur maximale que prend Ish lorsque toutes les espèces se présentent avec la même abondance. Dans ce cas dernier, l'équitabilité est forte en tendant vers 1, elle est minimale par contre, quand une ou quelques espèces seulement sont nettement dominantes. Une valeur d'équitabilité de 0.8 traduit un peuplement équilibré (**Daget, 1979**).

Chapitre III:
Résultats et Discussion



III.1. Les paramètres physico-chimiques

Ce tableau résume les analyses physico-chimiques réalisées sur les eaux du barrage Béni Haroun.

Tableau 5 : Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Béni Haroun.

Site Paramètres	Campagne 1			Campagne 2		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
T(C°)	22,5	22	20,8	23,7	23,6	23,4
pH	8,2	7,30	7,35	7,65	7,05	8,36
CE (µS/cm)	1141	970	942	1281	1050	912

III.1.1. Température

La température de l'eau est un paramètre qui dépend des facteurs climatologiques. Du fait de la faible profondeur de l'eau échantillonnée, les variations de la température des eaux sont fonction de celles de l'air ambiant.

L'analyse du tableau 4 révèle que les valeurs de la température de l'eau ne présentent aucune variabilité notable lors des deux campagnes. Les variations sont d'une manière générale spatiotemporelle et semblent moins fluctuantes.

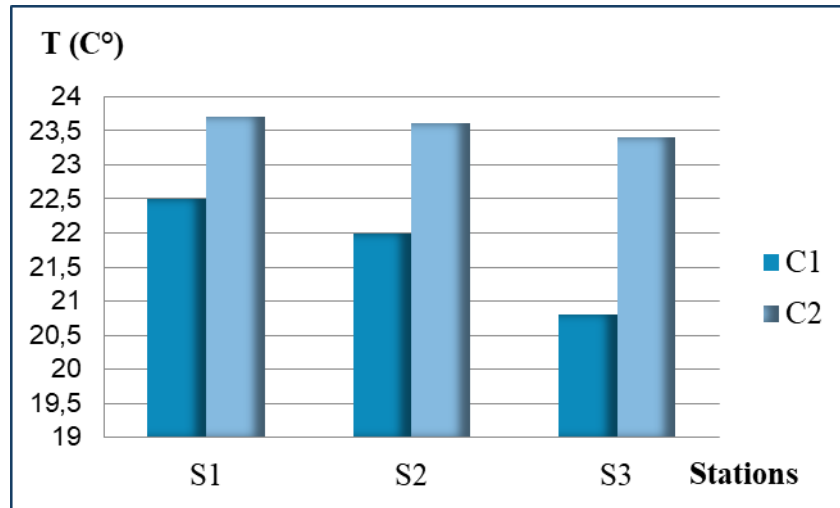


Figure 22: Variations spatiotemporelles de la température des eaux des stations du barrage Béni Haroun.

Lors de la première campagne de prélèvement effectuée en mars, la température de l'eau était très similaire sur les trois sites d'échantillonnage. La température maximale était de 22,5 C° (S3) alors que la température minimale était de 20,8 C° (S2). Pour le deuxième campagne de prélèvement effectué en avril, la température de l'eau était également similaire sur les trois sites d'échantillonnage, avec une température maximale de 23,7 C° dans la première station et une température minimale de 23,4 C° enregistrée dans la troisième station.

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (**Leynaud, 1968**). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (**W.H.O, 1987**).

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau utilisée en France depuis 1979 (**Masson, 1988**) (Tab. 4), et si nous comparons nos résultats obtenus avec ceux mesurés par (**Melghit, 2010**), (**Rabia et Djamaa, 2014**) et (**Ghouila et Amiour, 2018**) les eaux du barrage Béni Haroun sont toujours de moyenne qualité (classe 2) en fonction de leurs températures.

Tableau 6: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température (Masson, 1988).

Température	Qualité	Classe
$\leq 20\text{ °C}$	Normale	1A
$20\text{ °C} - 22\text{ °C}$	Bonne	1B
$22\text{ °C} - 25\text{ °C}$	Moyenne	2
$25\text{ °C} - 30\text{ °C}$	Médiocre	3
$\geq 30\text{ °C}$	Mauvaise	4

Les températures des eaux du barrage sont aux alentours de 22 °C , donc considérées comme "bonne" à "passable" en terme de qualité pour la biologie aquatique (Tab. 6).

Tableau 7: Aptitude à la biologie en fonction de la température (SEQ-Eau, 1999).

Qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
T°C	20	21,5	25	28	>28

III.1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre qui mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité des écosystèmes aquatiques. Dans notre travail, cette variable présente des valeurs très proches dans tous les sites où nous avons prélevé des échantillons. La valeur la plus élevée (8,36) a été enregistrée en avril lors de la deuxième campagne pour la troisième station, et la valeur la plus basse (7,05) a également été enregistrée en même mois lors de la deuxième campagne pour la deuxième station (Fig.23).

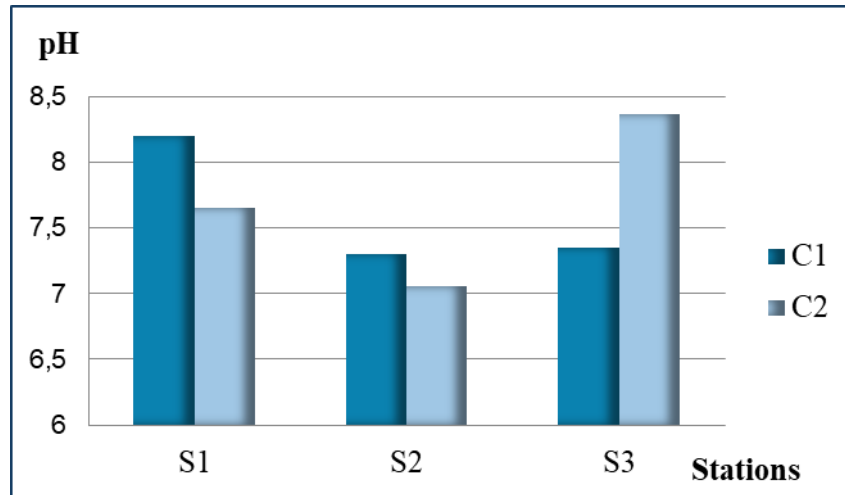


Figure 23: Variations spatiotemporelles du pH des eaux des stations du barrage Béni-Haroun.

Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique (Sahli, 2002).

En effet, les organismes vivants sont très sensibles aux variations brutales même limitées du pH. Il est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il est impliqué dans des processus complexes en interaction avec d'autres facteurs tels que la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température (Rodier et al., 2005).

Selon Brémond et Vuichard (1973), les eaux alcalines tendent à abriter une faune plus variée et abondante que les eaux acides.

Tableau 8: Echelle de pH de l'eau (SOLTNER, 1989) in (Hammouda, 2013).

pH	Qualité de l'eau
$6,75 < PH < 7,25$	Neutre
$7,25 < PH < 8,5$	Alcalin
$PH > 8,5$	Très alcalin

Si l'on se réfère à Cette norme (Tab.8), nous pouvons dire que les eaux des stations de prélèvement sont neutres à alcalines.

Nos résultats viennent à confirmer ceux des travaux précédents, (Habla, 2018), (Kherief Nacereddine et al., 2018), (Djeddi et al., 2018), (Kherief Nacereddine, 2019) et (Djeddi, 2019) sur l'eau du barrage béni Haroun qui est légèrement basique.

Comparativement aux données de la grille du Système d'Evaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ-Eau), (Tab. 9), l'eau du barrage est de qualité bonne à très bonne pour la vie aquatique. Toutes nos valeurs sont aux alentours de 7 à 8.

Tableau 9: Aptitude à la biologie en fonction de pH (SEQ-Eau, 1999).

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

II.1.3. Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement, mais approximativement la minéralisation globale de l'eau elle s'effectue à l'aide d'un conductimètre (Rodier *et al.*, 2009, Mbeukam, 2013 ; Sari, 2014).

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente (Detay, 1993). Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels (Dussart, 1966).

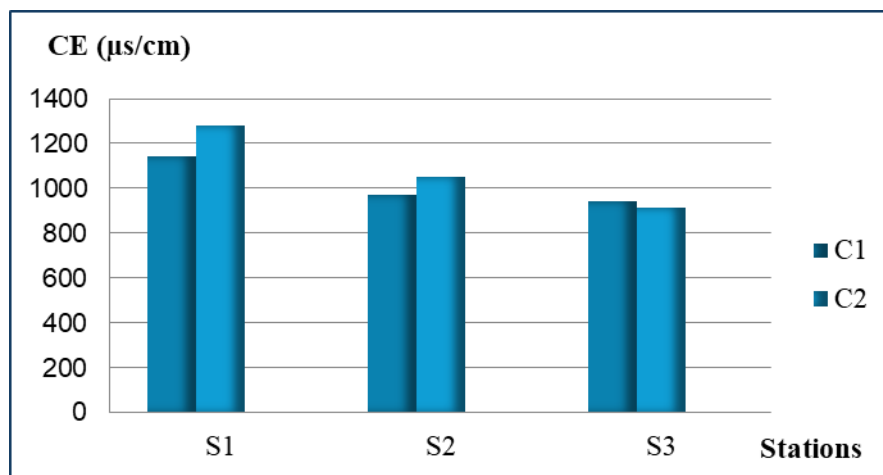


Figure 24: Variations spatiotemporelles de la conductivité électrique des eaux des stations du barrage Béni-Haroun.

La conductivité électrique montre des fluctuations inégales d'une station à l'autre. Selon la figure 24, les valeurs de la conductivité électrique sont variées entre (912 - 1141µS/cm). La mesure la plus élevée est de 1141 µS/cm mesurée dans la

première station en mars. En revanche, la valeur la plus basse est de 912 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée dans la troisième station en avril.

Si la conductivité est supérieure à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la minéralisation est élevée (**Rodier et al., 2009**). Alors, les mesures de conductivité obtenues au cours de cette étude révèlent une concentration minérale élevée dans la première et la deuxième station, ce qui signifie que ces eaux sont très minéralisées, alors que les valeurs de la troisième station sont inférieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ donc la concentration minérale diminue.

Selon la grille de la qualité des eaux de rivières (**Masson, 1988**). La qualité de l'eau des trois stations est de passable qualité (classe 2).

Tableau 10: Qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (**Masson, 1988**).

Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Qualité des eaux	Classe
CE<400	Très bonne	1A
400<CE<750	Bonne	1B
750<CE<1500	Passable	2
1500<CE<3000	Médiocre	3

Comparativement aux données de la grille du Système d'Évaluation de la Qualité des cours d'eau (SEQ-Eau), Les eaux du barrage sont d'une très bonne qualité pour la vie aquatique (Tab.11).

Tableau 11: Aptitude à la biologie en fonction de CE (SEQ-Eau, 1999).

Qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2500	3000	3500	4000	>4000

. III.2. Les paramètres biologiques

Les communautés des macroinvertébrés sont très sensibles à la variabilité environnementale. Par conséquent, la diversité des espèces présentes et leur abondance peut apporter des indications importantes sur la qualité du milieu aquatique (**Djeddi, 2019**). Ces invertébrés (insectes, crustacés, mollusques et vers), relativement facile à prélever et à identifier, ont une mobilité faible, un temps de génération assez long leur permettant d'enregistrer les situations les plus

préjudiciables et sont différemment sensibles aux pollutions (Afri-Mehennaoui, 2009).

III.2.1. Diversité faunistique

Les résultats des deux campagnes d'échantillonnage sont présentés dans le tableau 10 qui regroupe, pour chaque prélèvement, la liste faunistique rencontrée dans les trois stations.

Tableau 12: Liste des macroinvertébrés récoltés et calcul de l'indice biotique pour les deux campagnes de prélèvement.

Ordre	Famille	Campagne 1			Campagne 2		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3
Diptères	<i>Chironomidae</i>	16	8	9	60	26	60
Mollusques gastéropodes	<i>Planorbidae</i>				1		
	<i>Lymnaeidae</i>	3		4	1		
	<i>Bulimidae</i>	1			1		
Coléoptères	<i>Gyrinidae</i>	1					
Odonates	<i>Libellulidae</i>			3	2		
	<i>Aeshnidae</i>				2		
Crustacés	<i>Ostracode</i>					9	15
	<i>Gammaridae</i>			1			1
	<i>Paleomonidae</i>						2
Hémiptères	<i>Corixidae</i>	22	25		320	175	
Autre Organismes			2			27	
Nombre d'unités Systématiques		5	3	4	7	4	4
Ib (Tuffery et Verneaux)		5	3	5	6	3	4
Classe de Pollution		III	IV	III	III	III	III

La présente étude faunistique, effectuée au cours des deux campagnes de prélèvements, a permis de recenser, pour les trois stations, 797 individus répartis dans trois grands groupes zoologiques (les Mollusques, les Crustacés et les Insectes), 6 ordres

ou classes et 11 familles. Dans la première campagne (mars), le groupe le mieux représenté est les Mollusques, ils comprennent deux familles. Ensuite viennent les Hémiptères, les Odonates, les Crustacés les Coléoptères et les Diptères, ils comptent chacun une seule famille. Globalement, l'effectif du peuplement pour la deuxième campagne (Avril) montre que les Crustacés sont nettement dominants. Ils représentent trois familles de la faune récoltée. Ils sont suivis des Odonates (2 familles), et enfin viennent les Mollusques, les Hémiptères, les Diptères avec Chacun une seule famille.

Dans les trois stations du barrage Béni Haroun 12 unités systématique ont été déterminées durant la première campagne : 5 familles pour la première station (S1), 3 familles pour la deuxième station (S2), et 4 familles récoltées dans la troisième station (S3).

Pendant la deuxième campagne 15 unités systématiques ont été déterminées dans les trois stations du barrage Béni Haroun : 7 familles dans la première station, 4 familles dans la deuxième station, et 3 familles sur la troisième station.

Les macroinvertébrés dominants dans le Barrage Béni Haroun sont répartis sur six groupes: Diptères, Hémiptères, Mollusques, Coléoptères, Odonates et Crustacés (Tab.12). L'ordre le plus représenté est comme suit :

Mollusques–gastéropodes : représentés avec trois familles (*Planorbidae* , *Lymnaeidae*, *Bulimidae*) ont colonisés la première station (S1) puisqu'elles fréquentent surtout les eaux stagnantes.

Crustacés : principalement représentés par les trois familles *Ostracode* colonisant la deuxième et la troisième station (S2, S3) durant la campagne 2. *Gammaridae* présente seulement dans la troisième station S3. *Palaemonidae* héberge toujours la troisième station. Les crustacés vivent dans les eaux douces stagnantes, ou à faible courant, qui sont riches, en débris organiques. La prolifération de crustacés constitue donc un indice de pollution organique. De plus, ils sont sensibles à la pollution par les nitrates et les pesticides, ainsi qu'à l'acidification et à la faible oxygénation des plans d'eau (**Hullnudd, 2009**). Ce qui explique leurs présences dans ces deux stations proches aux agglomérations.

Odonates : principalement représentés par les familles (*Libellulidae* et *Aeshnidae*) qui se trouvent aux deux stations S1 et S3.

Les Diptères : avec une seule famille *Chironomidae* qui est présente dans toutes les stations (S1, S2, S3) durant les deux campagnes de prélèvement.

Coléoptères : avec une famille *Gyrinidae* présente dans une seule station (S1) durant la première campagne.

Hémiptères : présenté par une seule famille *Corixidae* hébergeant les deux stations S1 S2 pendant les deux campagnes.

C'est une famille assez résistante aux pollutions, marque une préférence pour les eaux lentes (mares, étangs et parties calmes des rivières).

III.2.2. L'indice biologique (Ib)

Le calcul des indices biotiques repose sur deux notions : la diversité faunistique et la sensibilité des US représentées par des taxons indicateurs de la qualité écologique du milieu.

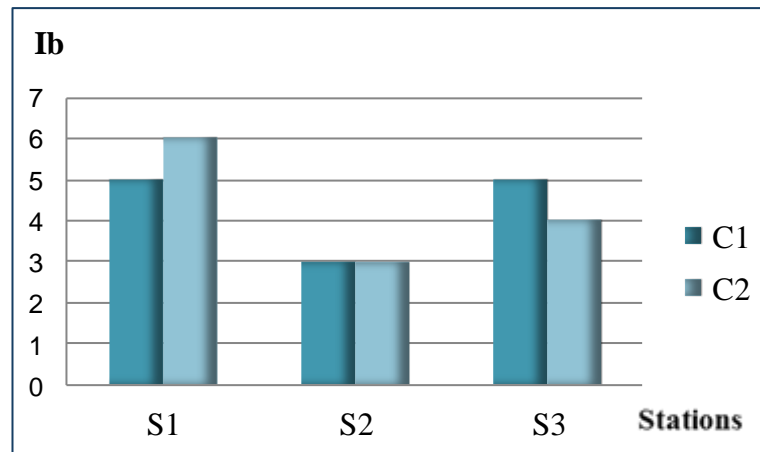


Figure 25 : Variations spatio-temporelles de l'indice biotique des eaux du barrage Béné Haroun.

D'après la figure 25, on observe que la valeur d'indice biotique (Ib) varie entre 5 et 6 pour la première station, tandis qu'elle reste stable pour la deuxième station (Ib= 3) lors des deux campagnes. Pour la troisième station, la valeur d'Ib fluctue entre 4 et 5 durant les deux campagnes de prélèvement. Dans ces trois stations, l'Ib est représenté par le groupe faunistique 6, (*Chironomidae*) qui sont des organismes connus par leur résistance à la pollution, leur nombre élevé dans les deux prélèvements ne donne pas une valeur distincte (l'Ib dans le cas (-) qui indique limite de pollution).

Selon la classification proposée par **De pauwet et Vanhooren (1983)** (Tab.13), nos résultats montrent une moyenne pollution (classe III) pour la première station

pendant les deux campagnes vu l'indice biotique Ib (5-6). La deuxième station signale une pollution élevée (classe IV) durant les deux campagnes vu l'indice biotique Ib 3. Alors que la troisième station indique une moyenne pollution (classe III) lors de la première campagne, et une pollution élevée (classe IV) durant la deuxième campagne.

Tableau 13: Classification de la qualité biologique de site

(De pauwet et Vanhooren, 1983)

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

Nous observons la présence de familles d'organismes les plus adaptées à la pollution, telle que les Diptères représentés par la famille (Chironomidae). Ces organismes peuvent survivre dans des conditions d'eau peu oxygénée et contenant une quantité significative de polluants, même à des températures plus élevées. La présence abondante de ces espèces, combinée à l'absence d'espèces sensibles, suggère une mauvaise qualité de l'eau. Avec l'augmentation des perturbations anthropiques, l'abondance des taxons les plus sensibles diminue, tandis que celle des taxons tolérants à la pollution, tels que les Chironomidae, augmente. Cet ordre est généralement considéré comme l'un des plus résistants à la pollution et aux perturbations (Klemm *et al.*, 1990).

Une abondance élevée de ces taxons est généralement associée à une augmentation des perturbations, ce qui semble être le cas dans notre étude vue la localisation de nos stations proches des agglomérations. Il est important de noter que l'échantillonnage parfait ou même très bon des macroinvertébrés en milieu stagnant reste un problème non résolu à ce jour, contrairement au milieu courant où les méthodes d'échantillonnage se montrent très efficaces (AFNOR, 1992).

Comparativement aux résultats des travaux précédents (Kemoukh et Litim 2017 ; Djeddi, 2019). Nos résultats sont très différents pour la première station qui présentait une faible pollution en 2017, actuellement, elle montre une moyenne

pollution vue l'indice biotique de 4. Ainsi que la deuxième station qui signale une pollution élevée puisque l'indice biotique chute de 6 en 2017 et 2019 à 3 pour cette année 2024.

III.2.3. Les indices écologiques

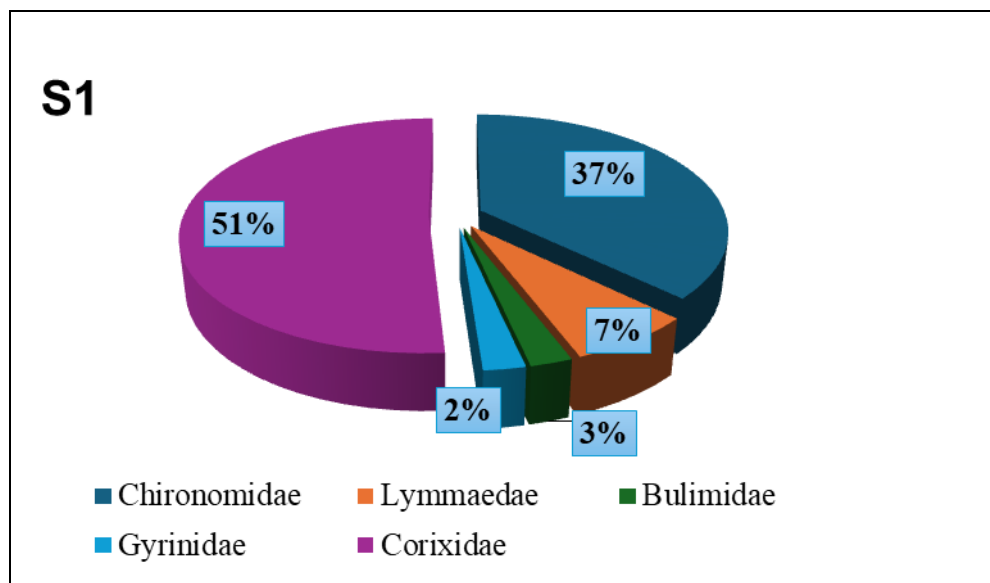
III.2.3.1. L'abondance

Notre étude révèle que l'abondance des différents groupes taxonomiques varie selon les stations d'étude, les insectes étant le groupe le plus abondant dans les eaux du barrage.

Nos résultats rejoignent ceux de plusieurs études qui ont démontré la domination des insectes dans les milieux aquatiques. (**Haouchine, 2011 ; Jean et al., 2015 ; Kemoukh et Litim, 2017 ; Ghouila et Amiour, 2018 ; Djeddi, 2019**).

Cette diversité s'explique probablement par les multiples facteurs qui influencent les milieux aquatiques ainsi que par les caractéristiques des différents habitats (nature du substrat, vitesse du courant, présence de végétation). En effet, un cours d'eau perturbé par la pollution peut devenir défavorable à certains organismes sensibles, laissant ainsi la place à d'autres plus résistants.

La figure 26 présente l'abondance relative des taxons récoltés dans les trois stations d'étude durant la première campagne de prélèvement. Les éléments abondants et fréquents dans cette campagne sont les diptères avec la famille *Chironomidae* dans la première station, les hémiptères avec la famille de *Corixidae* dans les deux stations (S1 et S2).



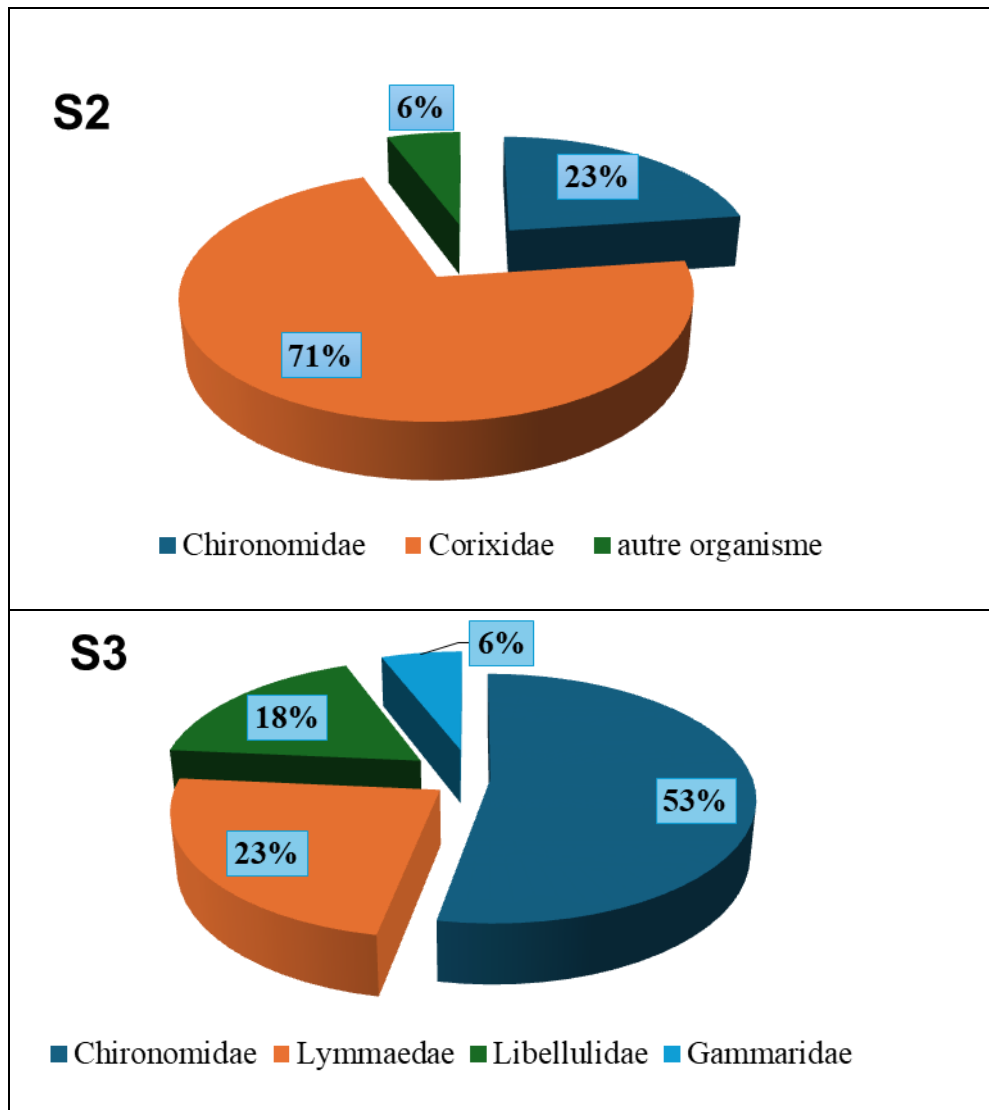


Figure 26 : Abondance stationnelle dans la première campagne.

Les graphiques de la figure 27 présente l'abondance relative des taxons récoltés dans les trois stations d'étude.

Durant la deuxième campagne de prélèvement (Fig.27), la famille des Corixidae reste la plus abondante dans les deux stations (S1, S2), les diptères avec la famille Chironomidae prédomine la station trois (S3). Cette variation spatiale s'explique vraisemblablement par la combinaison de divers facteurs environnementaux et des caractéristiques propres aux différents habitats.

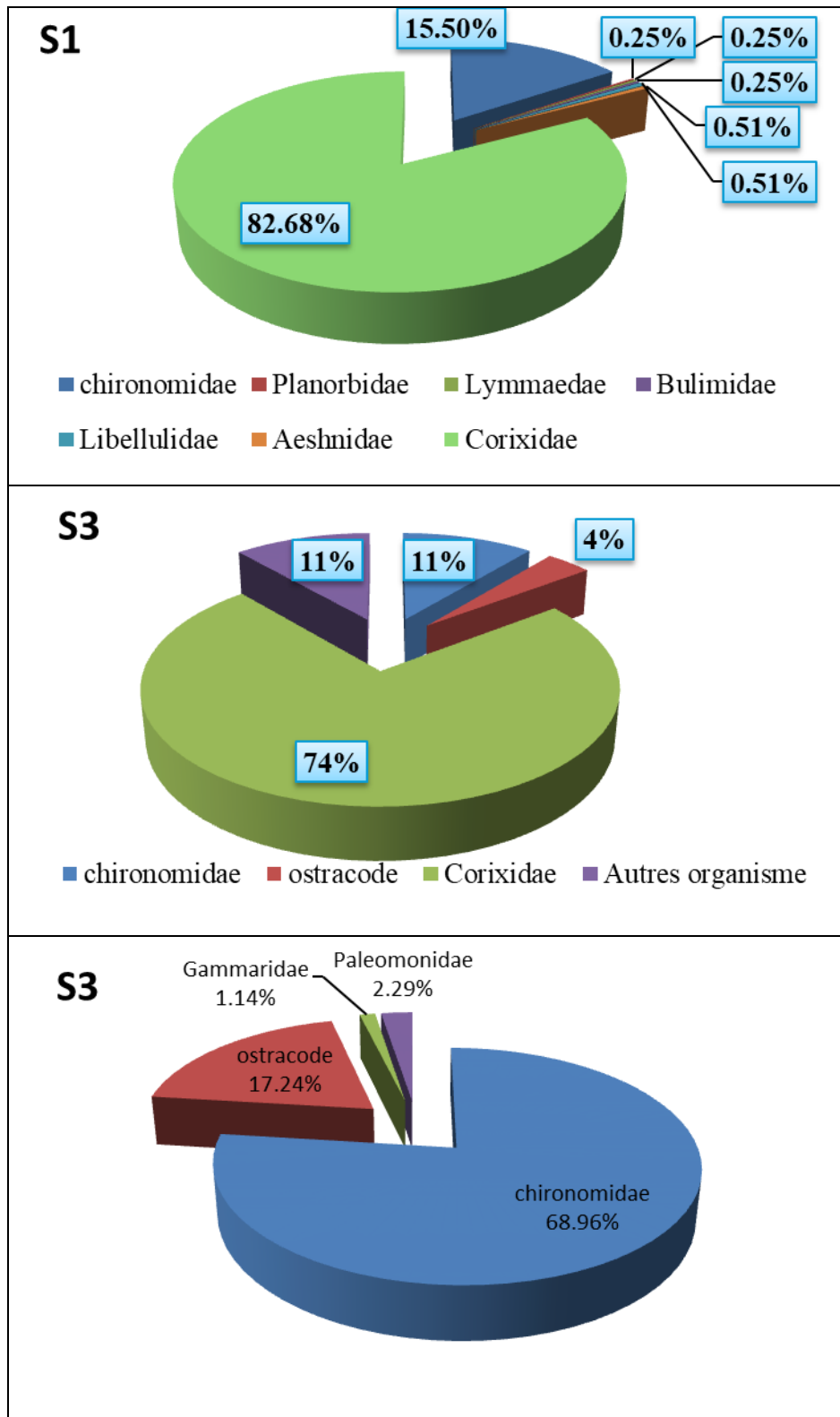


Figure 27: Abondance stationnelle dans la deuxième campagne.

Le principal changement observé dans la communauté des macroinvertébrés au cours des deux campagnes a été l'abondance de Corixidae et de Chironomidae respectivement, taxons dominants des saisons pluvieuses et sèches.

En effet, la perturbation d'un cours d'eau par la pollution peut créer des conditions défavorables à certains organismes sensibles, laissant ainsi la place à d'autres plus résistants. Parmi ces derniers, les Chironomidae sont particulièrement tolérants à la pollution organique et aux déficits en oxygène.

III.2.3.2. La richesse spécifique

La diversité géographique dans la zone d'étude a conduit à une diversité biologique. La lecture de la figure 29, relatifs à la richesse spécifique stationnelle des deux campagnes montre des fluctuations. Le nombre des taxons varie d'une station à une autre, la première station a présenté la valeur la plus élevée de la richesse des invertébrés, avec 7 taxons enregistrés durant la deuxième campagne et 5 taxons lors de la première campagne. Suivi de la station (S2) durant la deuxième campagne et (S3) lors de la première campagne avec 4 taxons chacun. D'autre part, la plus faible richesse a été observée dans les stations S2 au mars et S3 en avril, où seulement trois taxons ont été collectés.

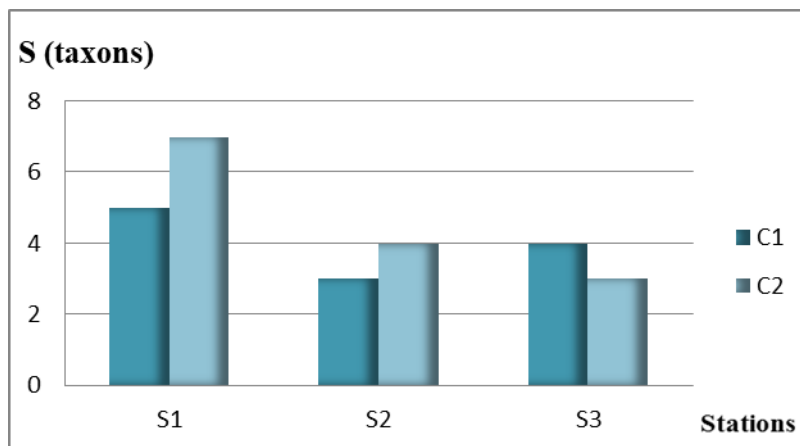


Figure 28: Richesse spécifiques stationnelle dans les deux campagnes.

D'un point de vue taxonomique, El Maleh (S1) héberge la plus grande richesse taxonomique à l'exception des stations (S2, S3) ce qui peut être expliqué par certaines conditions environnementales qui favorise l'existence de certains taxons et l'absence d'autres dans un milieu aquatique.

III.2.3.3. Diversité : Indice de Schannon et Weaver, Indice d'équitabilité

L'indice de diversité de Shannon H' (Shannon, 1948) est utilisé en écologie comme mesure de la diversité spécifique (Margalef, 1958 in Frontier, 1983).

D'une manière générale, H' et E augmentent d'une part, avec le nombre d'espèces et, d'autre part, avec la régularité de leur distribution, autrement dit, un indice faible est une conséquence d'un faible nombre de taxons et/ ou de la dominance de quelques espèces (**Haouchine, 2011**). Dans la nature, la valeur de H' se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillons de grande taille de communautés complexes) (**Jean et al., 2015**).

Nous avons calculé pour chaque station l'indice de Schannon et d'équitabilité dans les deux campagnes. La diversité des espèces H et E variait grandement d'une station à l'autre, tout comme la richesse et l'abondance spécifiques.

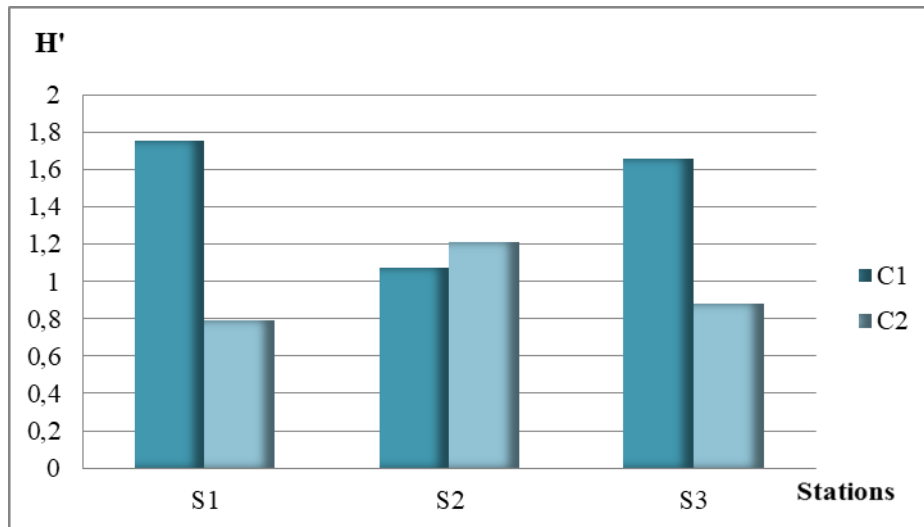


Figure 29: Indice de diversité de Schanon-Weaver stationnelle dans les deux campagnes.

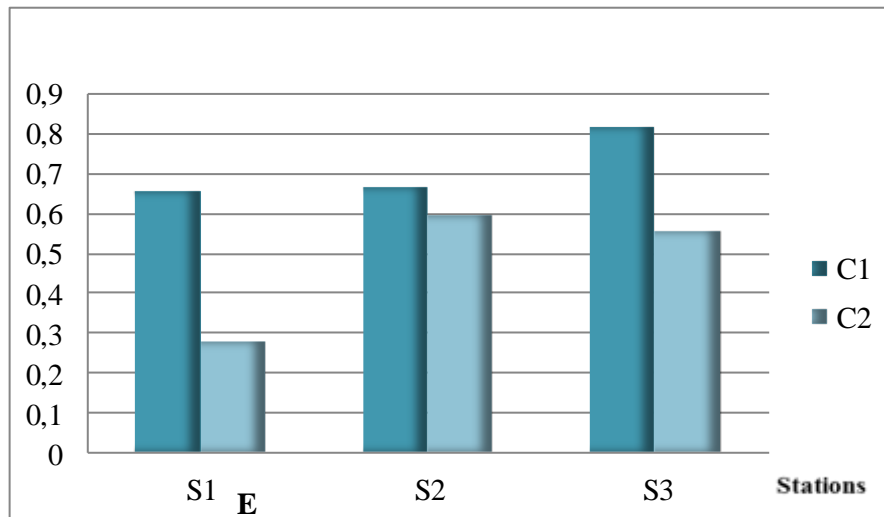


Figure 30: Indice d'équitabilité stationnelle dans les deux campagnes.

Nos résultats indiquent une variété taxonomique importante. L'indice de diversité H' et d'équitabilité E ont atteint leur maximum à la troisième station (S3), avec des valeurs respectives de $H'=1,66$ et $E=0,82$. Les valeurs minimales ont été observées à la deuxième station (S2) pour $H' =1,07$ et à la première station (S1) pour $E =0,66$ lors de la première campagne d'échantillonnage.

Durant la deuxième campagne d'échantillonnage, l'indice de diversité H' et d'équitabilité E ont atteint leur maximum à la deuxième station (S2) avec des valeurs respectives de 1,21 et 0,68. Les valeurs minimales ont été observées à la première station (S1) pour H' (0,79) et E (0,56).

Le tableau 14 présente les classes de pollution à partir de la valeur de H' dans les habitats sableux / vaseux, état similaire à nos stations d'étude.

Tableau 14:Exemple de classification de pollution à partir de la valeur de H' dans les habitats sableux/vaseux, (d'après Simboura et Zenetos 2002 in **Grall Coic 2006**).

	Etat écologique	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

Si on applique cette classification, toutes nos stations présentent une mauvaise qualité écologique considérées comme très polluées.

Conclusion

Conclusion

Au cours des dernières décennies, de nombreux travaux scientifiques ont examiné la faune aquatique en Algérie, mettant en lumière sa diversité spécifique notable.

Le but de notre travail est l'évaluation de la qualité des eaux à travers l'analyse de paramètres physico-chimiques (température, potentiel d'hydrogène, conductivité électrique) ainsi qu'un diagnostic écologique par la réalisation d'un inventaire des peuplements des macroinvertébrés qui traduit par le calcul des indices écologiques et biologiques la qualité des eaux du barrage Béni Haroun.

En effet les résultats des paramètres physico-chimiques montrent :

- Une température saisonnière de qualité bonne à moyen, avec une moyenne de 22,67°C.
- Des pH légèrement neutres à alcalines de moyenne 7,65 avec une qualité très bonne pour la vie aquatique.
- La conductivité électrique (CE) dépassant 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ révèle une minéralisation importante de l'eau, avec une moyenne de 1049,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indiquant la très bonne qualité pour la faune aquatique.

Ces résultats physico-chimiques offrent une perspective limitée sur la qualité de l'eau, ce qui souligne l'importance de les compléter par une étude sur la qualité biologique, notamment en analysant les macroinvertébrés benthiques.

Les résultats obtenus nous ont permis de recenser un total de 796 individus répartis dans trois grands groupes zoologiques (les Mollusques, les Crustacés et les Insectes), dans les 3 stations du barrage. Les macroinvertébrés récoltés dans notre travail se composent de 11 unités systématiques avec la présence des familles les plus résistants à la pollution telle que les chironomidae et les Corixidae dans toutes les stations.

L'évaluation par l'indice biotique a révélé que la qualité biologique de l'eau a connu une régression particulièrement importante par rapport à la période 2017, dans les stations du barrage montrant une pollution moyenne à élevée.

L'absence de mesures adéquates pour limiter la pollution a grandement contribué à la régression de la qualité biologique de l'eau, ce qui se traduit par notamment une forte diminution de la richesse spécifique constatée au sein de ces stations.

Conclusion

L'application des indices écologiques, de Shannon-Weaver montre que, toutes nos stations présentent une mauvaise qualité écologique considérées comme très polluées. Il est possible que cette richesse soit importante si l'échantillonnage avait été plus abondant et plus étalé dans le temps.

Cette étude amène diverses questions qu'il serait intéressant d'élucider dans le futur. Avant tout, il faudrait multiplier les analyses physico-chimiques et biologiques. Il devient donc nécessaire d'instaurer un programme de contrôle et de surveillance continu des différentes sources de pollution et de leur effet sur l'environnement, en obligeant les divers industriels existants à se doter de système de traitement de leurs eaux résiduelles, ainsi que le recyclage et la réutilisation des déchets.

Références

bibliographiques

***Références :**

- **A.N.B. T., 2007 :** Agence Nationale des Barrages et Transferts de Mila.
- **Abdelkafi S., 1999.** Contribution à l'étude de l'évolution des MTH dans la région de Bejaia et analyse bactériologique de quelques eaux de boisson, mémoire de fin d'étude (D.E.U.A) en écobiologie, université A/Mira, Bejaia, p 65.
- **Afnor, 1992.** Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN).
- **Afnor., 1992.** Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Association française de normalisation : NF T 90-350, 12p.
- **Afnore., 2010.** Qualité écologique des milieux aquatiques, Qualité de l'eau, Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés des cours d'eau, Association française de normalisation, Prénorme expérimentale XP T : 90-388 p.
- **Afri-Mehennaoui F.Z., 2006.** Evaluation du niveau de contamination par les métaux lourds de différents compartiments d'un écosystème aquatique (eau, sédiments, faune macroinvertébrés, macrophytes) de l'oued Rhumel et son affluent l'oued Boumerzoug en zone urbaine (Constantine). Thèse de Doctorat en Sciences, Université Mentouri-Constantine. 276p.
- **Alain V., Botta A.2007.** Toxicologie : les pesticides. 2eme éd. Université paris VII..
- **Amavis R., Bourgeois B., Chovin P., Colas R., Crepey J., Denner A., Micheau J., Faugere J-G., Hubert P., Jacquard P., Mattei J., Perrin J-B., Sliosberg A Ternisien J-A., Yon D. 1982.** Dictionnaire usuel de l'environnement et de l'écologie. Edition:Guy Le Prat. Paris. 158p.
- **Angelier E., 2000 .** Ecologie des eaux courantes.
- **Anns., 1993.** Effets des métaux lourds sur les peuplements d'oligochètes de l'Ill et de ses affluents (Haut-Rhin, France). 29 (3-4) : 295-305 p.
- **Aroua, A. (1994).** L'homme et son milieu. Edition société national. Alger, 73-85p • Association française de normalisation : NF T 90-350, 12p.
- **Banaru., D. et Perez., T. 2010.** Bio-indicateurs – Biomarqueurs, Notes de cours. Marseille, Université de Marseille, 15p.
- **Banouh D., Sadaoui A., 2010.** Etude du transfert des polluants de l'interface sol vers les eaux souterraines, cas de la basse Soummam, Mémoire d'ingénieur en écologie et environnement, université A/mira, Bejaia, p 79.

- **Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D and Stribling J.B., 1999.** Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers : periphyton, benthic macroinvertebrates and fish –Chapter 3: Elements of biomonitoring. 2e édition, Washington D.C., U.S.Environmental Protection Agency, Office of water, 17p.
- **Barbour, M. T., Gerritsen, J.,** Journal of the North American Benthological Society, 3 (1996), 386.
- **Belhafiane, M Y. (2016).** Impact de la pollution marine par quelque métaux lourds(Cu, Zn, Cd) au niveau de la station de Marset Ben M' hidi.
- **Benayache, N. (2014).** Evaluation de niveau de la pollution organique des eaux des Barrage Hammam Grouz et béni- Haroun, [Mémoire de Master], gestion durable des écosystèmes et protection de l'environnement, Université Constantine1, 50p.
- **Benkaddour, B. (2018).** Contribution a l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie), [Thèse de Doctorat], chimie, Université de Mostaganem, 192p.
- **Berebouh, N. (1997).** Contribution à l'étude de la contamination par les métaux lourds (Cd, Cr, Cu, Fer, Ni, Pb, Zn) d'un poisson pélagique, la Sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1972), pêchée dans la baie d'Oran, [Mémoire de Magister], ISMAL, 139p.
- **Blondel J., 1979.** Biogéographie et écologie. Masson, Paris, 173p.
- **Boissonneault Y., 2006.** Le suivi écologique des rivières au Québec: comparaison des bioindicateurs basés sur les invertébrés et les diatomées benthiques. Mémoire présenté à l'université du québec à trois-rivières, maroc. 137p.
- **Bontoux M., 1983 :** Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux
- **Bontoux M., 1983 :** Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. CEBEDOC édition. Lavoisier, p7. de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes.Larhyss.
- **Boudeal., Djouid, H. (2003).** Pollution de l'Oued boussellem par les eaux usées urbaines et industrielles et impact de leur utilisation dans l'irrigation. Thèse ing, des écosystèmes universitaires, Setif. 6-13p.
- **Boutin, C., Hédui, A., Helmer, J. (2009).** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT), Rapport final, Action : 28 « Réutilisation des eaux traitées », 1-100p.

- **Bouzidi A., (1989).** Recherches hydrobiologiques sur les cours d'eau des massifs du Haut-Atlas (Maroc). Bio-écologie des macroinvertébrés.
- **Brémond R., et Vuichard R., (1973).** Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris. 173p •
- **Brnard L ., Nicole M ., Coli ., 2009 .** les indicateurs biologique de la qualité des eaux.L'Analyse de l'eau ,9 édition, Paris,871p.
- **Catherine B., Anne D. 2013.** Méthodes de bio-indication en eaux littorales. Indicateur phytoplancton et physico-chimie, Livrable A2 : Synthèse des conclusions du GT phytoplancton-hydrologie. Validation intermédiaire des grilles biomasse dans les MET de Manche Atlantique. Révision de la définition des masses d'eau turbides pour la prise en compte de l'indicateur phytoplancton, Ifremer Nantes et Brest. Rapport de contrat. N° 32358. p63.
- **Cetic, 2009.** Centre des Techniques de l'Information et de la Communication.
- **Chahlaoui A.,** Etude Hydrobiologique de l'Oued Boufekrane - Impact sur l'environnement et la santé, Thèse d'état en Biologie. Univ. Moulay Ismail Fac. Sci. Meknès. (1996) 256pp.
- **Chenaifia, D. 2012.** Effets de l'extraction des granulats sur la nappe Alluviale d'Oued El-Harrach (Mitidja amont)-Wilaya de Blida (Doctoral dissertation, Remini Boualem).
- **Chirstelle B. 2006.** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rural: Module MP3 Bac professionnel Services en milieu rural, chap sur la gestion de la santé par une alimentation adaptée. Editions Educagri, France. 231p.
- **Claude L., 2009.** Indices basés sur les oligochètes et les chironomides indiquant la restauration écologique des sédiments du Léman. ISSN 0037-9603. Bull. Soc. vaud. Sc. nat.91.3: 283-300p.
- **Daget J., 1979.** Les modèles mathématiques en écologie. Ed. Masson, Paris, 172 p.
- **Dajoz R., 2006.** Précis d'écologie. 7ème Edition. Dunod, Paris. 615p.
- **Derwich E, Benaabidate L, Zian A, et al.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. Larhyss Journal. 2010 Jun;101–112.
- **Derwich E, Benaabidate L, Zian A, et al.** Caractérisation physico-chimique des eaux Ed. Dunod, Paris.Journal. 2010 Jun;101–112. l'environnement.

- **Diop, C. (2006).** Etude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar, [Mémoire de Master], études approfondies de productions animales, Université Cheikh Anta, diop de Dakar, 40p.
- **Djeddi H., Kherief Necereddine.,S., Keddari D & Mehennaoui F Z., 2018.** Teneurs des éléments traces métalliques Cu, Zn et Pb des sédiments du barrage Béni Haroun (Nord-Est de l'Algérie) *European Scientific Journal May 2018*, 14(15) 269-286.
- **Djeddi, H., 2019.** Niveau de contamination par les ETM des sédiments du barrage Béni Harounet des oueds qui l'alimentent : transfert vers la faune. Thèse de Doctorat en science., Universités Frères Mentouri Constantine1. 216p.
- **DTM., 2008.** Direction des travaux maritimes. Mila. Algérie Echinoderme (Paracentrotus lividus).(Diplôme de Master, Université De Tlemcen. • Elisabeth, S. (2014). Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon : guide méthodologie. Métropole de Lyon. P55.
- **Fatmia, Z. (2020).** Analyse physico-chimique de l'eau de mer au niveau de Quelques Sites De Rejets Des Eaux Usées – Côte De Mostaganem, [Mémoire de Master], Ressources Halieutiques, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, 46p.
- **Fondation Nationale de la Santé (2013),** Manuel pratique d'analyse de l'eau 4ème édition Brasilia. P57, 67 Brésil
- **Gagnon, É. et Pedneau, J. 2006.** SurVol Benthos, guide du volontaire, programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau. CVRB, Québec. Canada.
- **Gaujous D., (1995).** La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier, Paris. 220p.
- **Graindorge, J., 2015.** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial éditions, paris. 126. 142. 147.162. 165. 183 p
- **Hammouda N., 2013.** Contribution à l'étude de l'effet de l'action anthropique sur les zones humides du Sud-Est du Sahara (Cas de l'Oued Righ). Mémoire de master Académique. Université d'Ouargla. 82p.
- **Haouchine, S.,** Recherche sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie.Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques, Université MouloudMammeri de Tizi ouzou, Algérie. (2011) 157 pp.

- **Isenmann P., Moali A., 2000.** The birds of Algeria- Les oiseaux d'Algérie. Soc. Etudes Ornithol., France, Muséum Nat. Hist. Nat., Paris. 336p.
- **Jean C., Séraphin N., Alexandre N & Victor K., 2015.** Influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés benthiques dans un système lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(2): 970-985 p.
- **Jean Claude. -B, 1992.** Chimie des Eaux. 2ème Edition. Les éditions du griffon d'Argile.P 213-215.
- **Jeanne mager S. 2000.** Encyclopédie de sécurité et de santé au travaille ; bureau internationales du travaille Genève.
- **Karrouch, L.,** Bio-évaluation de la qualité des eaux courantes de la région Meknès (Centre- Sud, Maroc) –Impact sur l’environnement et la sante. Thèse doctorat es sciences en biologie. Faculté des sciences.Meknès, (2010) 216pp.
- **Kerdoud S., (2006).** - The watershed of Beni Haroun, water and pollution magister in the planning of the territory Option: geomorphology university mentouri-constantine Facu.
- **Kerdoud S., 2006.** Le bassin versant de Beni Haroun, Eau et pollution. Magister en aménagement du territoire. Université Mentouri- Constantine. 128p.
- **Khattab, N., Hemmam, F., (2017).** Impactes des Barrages et des retenues collinaires sur la qualité des eaux de surface du bassin versant d’Oued d’Hous,[Mémoire deMaster], eau santé et environnement, Universite Akli Mohand Oulhadj – Bouira, 81 p
- **Kherief Necereddine S., 2019.** Etude de l’évolution de la qualité écologique des eaux et inventaire de la microflore aquatique du barrage de Béni Haroun. Thèse de Doctorat en science. Université des Frères Mentouri Constantine1. 164p.
- **Kherief Necereddine S., Djeddi H., Benayach N.Y & Mehennaoui F.Z., 2018.** Dynamique Des Eléments Nutritifs Et Du Phytoplancton Dans Le Barrage Béni Haroun Dans l’Est Algérien. *European Scientific Journal April 2018 edition Vol.14, No.12:111-129.*
- **Lafont M, Jézéquel C, Vivier A, Breil P, Schmitt L, Bernoud S., 2010.** Refinement of biomonitoring of urban water courses by combining descriptive and ecohydrological approaches. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 10:3-11.
- **Laouar N., KhoubbachA .,(2006).** Mémoire de fin d’étude , La pollution organique des eaux de l ’oued El kébir wilaya de Jijel P : 5.

- **Leclercq L & Solito de Solis M.M., 2010.** Clés simple de détermination des macroinvertébrés d'eau douce à l'usage du « petit gardien des rivières ». Les laboratoires de la station Scientifique des Hautes-Fagnes. 62p.
- **Leynaud G.** Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique B.T.I. Ministère de l'agriculture. 1968.
- **Louar H ,djeddi H., 2001.** Pollution métallique et qualité biologique par les macroinvertébrés de l'oued Rhumel dans la zone de Constantine mémoire d'ingénieur et d'état en écologie université de Constantine. 11p.
- **Lounaci A,2005.** Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogeography des macroinvertébrés des cours d'eau de kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de doctorat d'état en biologie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie). 208p.
- **Maqboul A., Aoujdad R., Fekhaoui M., Fadli A. et Touhami A., (2001).** Riv. Idrobiol., 40,2-3:129-152.
- **Marchant, R., 1986.** "Some quantitative aspects of the life history of aquatic insects in temperate Australian rivers", p. 151-158, dans P. De Decker & W. D. Williams (éd.), CSIRO,Melbourne et W. Junk, Dordrecht, Limnology in Australia
- **Masson J. P.,(1988).**Suivi de la qualité des eaux superficielles : l'expérience française. In : la qualita delle acque superficiali, criteria per una metodologia omogenea di valutazione, atti del convegno interazione. Palazzo dei Congressi. 99-100p.
- **Mébariki A., 1982.** Le bassin du Kébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau. Thèse de doctorat 3ème cycle. Nancy II.304p.
- **Mebarki, A., 1982.** Le bassin du kébir-Rhumel (Algérie) : hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau.
- **Melghit M., 2009.** Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et Beni Haroun Université Mentouri de Constantine ; Magistère en Ecologie. 141p.
- **Merabet. S., 2010.** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de Constantine. pp 4, 5,9 .
- **Mezerdi, D. (2020).** Analyses Physicochimique des ressources en eau de surface Réception d'effluents d'eaux usées courants à Biskra Etude comparative entre Oued Biskra et Zemor, [Mémoire de master], Microbiologie appliquée, Université Mohamed Khider de Biskra ,54p.

- **Moisan J & Pelletier L., 2008.** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat grossier, 2008. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. ISBN : 978-2-550-53590-4 (version PDF). 86p.
- **Moisan, J., 2010.** Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthique d'eau douce du Québec, 2010 – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-58416-2 (version imprimée), 82 p. (incluant 1 ann.).
- **Moisan, J., Pelletier, L.,** Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, (2008) 86 p.
- **Moison, M., Roux, F., Quadrado, M., Duval, R., Ekovich, M., Lê, D. H., ... & Budar, F., (2010)** . Cytoplasmic phylogeny and evidence of cyto- nuclear co- adaptation in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 63(5), 728-738.
- **Nathalie S., 2017.** Macroinvertébrés benthiques et hyphomycètes aquatiques : diversité et implication dans le fonctionnement écosystémique des cours d'eau de Guinée. Thèse de doctorat. Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier). 226p.
- **OMS (organisation mondiale de la santé) ,(1989).**
- **Prygiel J., 2000** . Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. Agences de l'Eau-Cemagref, 134 p. (Disponible en ligne : http://www.eau-artois-picardie.fr/IMG/BaseDoc/aegis/2496/B_16478.pdf)
- **Prygiel J., Rosso-Darmet A., Lafont M, Lesniak C., Ouddane B. 1999.** Use of oligochaete communities for assessment of ecotoxicological risk in fine sediment of rivers and canals of the Artois-Picardie water basin (France). *Hydrobiologia*, 410: 25-37.
- **Ralston J., 1971.** De-icing salts as a source of water pollution. Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto.
- **Ramade F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de
- **Ramade F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Ralston J., 1971. De-icing salts as a source of water pollution. Mini

- **Rico E., Rallo A., Sevillano M.A., Arretxe M.L., 1992** .Comparison of several biological indices based on river macroinvertebrate benthic community for assessment of running water quality. *Annls Limnol.* 28 (2) : 147- 156.
- **Rodier J., 1976.** L'analyse de l'eau. Eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. 5^{ème}.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L.,(2005).** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} .Ed. DUNOD. Paris, 1383 pp .
- **Rodriguez P., Reynoldson TB., 2011.** The Pollution Biology of Aquatic Oligochaetes, Ed. Springer Science+Business Media: 224 pp.
- **Rosso A., 1995.** Description de l'impact des micropolluants sur les peuplements d'Oligochètes des sédiments de cours d'eau du bassin versant de l'Ill (Alsace). Elaboration d'une méthode biologique de diagnostic de l'incidence des micropolluants. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, France: 176 pp.
- **Rosso A., Lafont M., Exinger A., 1994.** Impact of heavy metals on benthic oligochaete communities in the River Ill and its tributaries. *Water, Science and Technology*, 29: 241-248.
- **Sahli L., 2002.** Evaluation de la contamination par le Cadmium, le Chlore, le Plomb et le Manganèse dans les sédiments, les macroinvertébrés et une plante aquatique (*Roriphanasturium*) dans l'oued Rhumel et son affluent l'Oued Boumerzoug en zone urbaine. Mémoire de Magistère en Ecologie et Ecotoxicologie, Univ. Mentouri de Constantine. 126p.
- **Seghir K., 2008.** Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eau et gestion active du sous-système aquifer de Tebessa Hammamet (Est Algrien). Thèse de doctorat. Univ Annaba, 151p
- **Solimini A.G., Gulia P., Monfrinotti M. et Carchini., 2000.** Effet de différentes méthodes d'échantillonnage sur les valeurs d'indices biotiques de la qualité de l'eau du cours inférieur d'un fleuve méditerranéen : le Tibre. *Annls Limnol.*36 (2). P141.
Stère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto.
- **Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., Usseglio-Polatera P.,** Invertébrés d'eau douce: systématique,
- **Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., Usseglio-Polatera P.,** Invertébrés d'eau douce.,

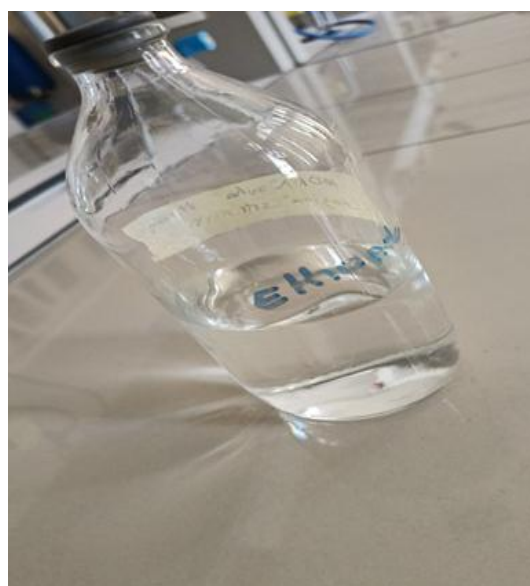
- **Thomas, O., (1955).** Météorologie des eaux résiduaires, Tec et Doc, Ed Lavoisier, Cedeboc, 1- 135p. • Timm T, Martin PJ. 2015. Clitellata : Oligochaeta. //: Thorp J., Rogers D.C. (eds.), Ecology and General Biology. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Academic Press, pp 529-549.
- **Touati, L., (2021).** Pollution des eaux, [cour de master], écologie , Université Frères Mentouri Constantine 1, 15p.
- **UNEP., 2009.** Water Security and Ecosystem Services. The Critical Connection. A Contribution to the United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). Country done this study (Unit Nation Environmental Programme (UNEP)).
- **Vivien R, Tixier G, Lafont M., 2014.** Use of oligochaete communities for assessing the quality of sediments in watercourses of the Geneva area and Artois-Picardie basin (France): proposition of heavy metal toxicity thresholds. Ecohydrology and Hydrobiology, 14: 142-151.
- <https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=fr>.
- <https://iptc.org/>.
- <https://support.google.com/legal/answer/3463239?hl=fr>.

Annexe

Annexe 01 : Matériels utilisés



Formole



Ethanol



Boites en plastique



filet a suber

Annexe



Matériel de labo



Binoculaire

Annexe



Le tamis



Bacs en plastique blanc.



Multi paramètre

Annexe



Les échantillons



L'identification des macroinvertibrés

Annexe

Annexe 02 : La Richesse des macroinvertébrés identifiée dans les trois stations.

