



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen

Faculté des sciences de la Nature et de la vie et des sciences de la Terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Environnement



MÉMOIRE

**En vue de l'obtention du
Diplôme de Master en Sciences de la mer**

Le : 24 juin 2026

Thème

***Composition des macroinvertébrés
benthiques dans un cours d'eau de la haute
Tafna***

Présenté par : MEKNI Siham

Devant le jury composé de :

Président :	Mme TABTI Nassima	MCA	Université de Tlemcen
Encadrant :	Mme BENKEBIL Zeyneb	MCB	Université de Tlemcen
Examineur :	Mme BOUZID Samia	MAA	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2025 – 2026



2
0
2
6

Remerciements

Après un parcours de plusieurs années, marqué par beaucoup de peine et de fatigue, la réalisation de ce mémoire a constitué ma première expérience dans le domaine de la recherche scientifique. Celle-ci a été marquée par l'excitation et de suspense, mêlés à une certaine peur. Mais grâce à Dieu, à Sa miséricorde et à Sa compassion, je suis arrivée là où je suis aujourd'hui. Je le remercie pour chaque bénédiction qu'Il m'a accordée et qui a contribué à mon succès ~
Louange à Dieu ~.

*J'adresse également mes remerciements et mes louanges à mon encadrante, Madame **BENKEBIL Zeyneb**, pour ses efforts, son dévouement à mon égard et ses encouragements. Vraiment, mon travail avec elle a été meilleur que ce à quoi je m'attendais, car c'était une enseignante compréhensive et honnête qui aimait son travail.*

*Je tiens aussi à remercier **les membres du jury** pour avoir accepté l'évaluation de mon travail.*

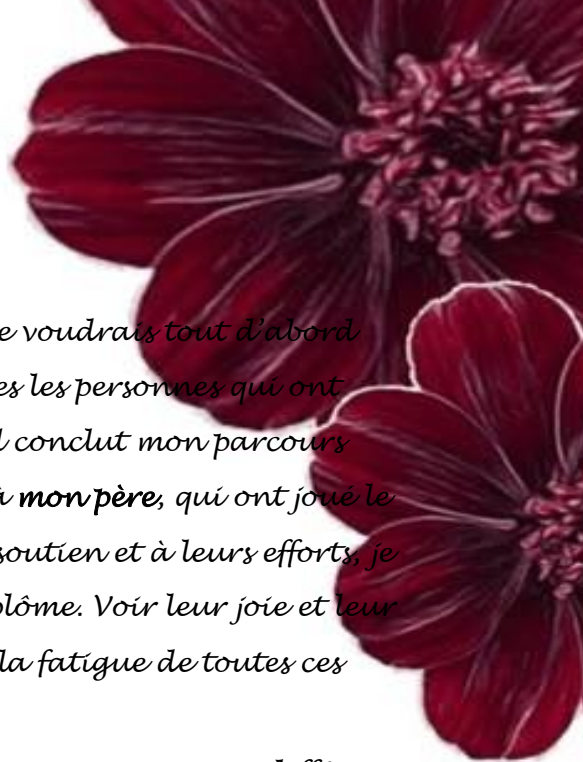
*Mes remerciements s'adressent à Monsieur **BABALI Ibrahim** pour son aide précieuse dans l'identification des espèces végétales de la station d'étude. Ils s'adressent également à Madame Nassima, l'ingénieur du laboratoire du Département d'Écologie et Environnement pour avoir mis à ma disposition un cadre de travail adéquat ayant permis le traitement des échantillons dans de bonnes conditions.*

Je remercie également tous ceux qui m'ont soutenu sur ce chemin, qui marque l'aboutissement de ma carrière académique.





Dédicace



2
0
2
6

La fin de ce parcours est désormais arrivée. Je voudrais tout d'abord exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à mon arrivée jusqu'ici. Ce travail conclut mon parcours académique, grâce à Dieu, puis à **ma mère** et à **mon père**, qui ont joué le plus grand rôle dans ma réussite. Grâce à leur soutien et à leurs efforts, je suis aujourd'hui ici, honorée d'obtenir mon diplôme. Voir leur joie et leur fierté à mon égard suffit à me faire oublier la fatigue de toutes ces années.

Vraiment, ce que j'ai ressenti à ce moment-là était un sentiment différent de tout ce qui avait précédé. Je ne peux pas décrire la fierté de mon père à mon égard ; ses larmes et son regard ce jour-là ont effacé toutes les larmes que j'ai versées d'épuisement au cours de ces années. Je n'oublie pas non plus le soutien de **ma grand-mère** tout au long de mon enfance. Elle attendait toujours ce moment, mais n'a malheureusement pas eu la chance de le vivre. Je demande à Dieu de renouveler Sa miséricorde envers elle et de lui accorder une place dans Ses vastes paradis.

Je ne peux oublier ma grande sœur **Meriem**, à qui j'adresse mes sincères remerciements pour son grand rôle, son soutien et ses précieux conseils, ainsi que ma grand-mère **Fatima**, que Dieu lui accorde une longue vie. Je ne peux conclure sans mentionner mes sœurs **Rahil** et **Noha**, ainsi que mon frère **ABD ELbari** et mon neveu **ABD Elmonaïm**. Je leur souhaite également beaucoup de succès et de chance dans leur vie. Enfin, mes chères amies **Khadíja Bouderga** et **Khadíja Remadí**, qui ont été pour moi une source d'inspiration et de soutien. Je leur souhaite bonheur et réussite dans leur vie.

Merci à tous ceux qui m'ont soutenue et souhaité le succès, y compris **mes oncles**, **ma chère tante** et **mes collègues**. Que Dieu vous bénisse dans votre carrière et votre vie.



Résumé

Cette étude a été réalisée au niveau de la station T3 de la haute Tafna (Nord-Ouest algérien) dans le but d'analyser la composition des communautés de macroinvertébrés benthiques et d'évaluer l'influence des microhabitats sur leur répartition. Les prélèvements ont été effectués au mois d'avril 2026 dans six microhabitats différenciés par la vitesse du courant et la nature du substrat. Des mesures physico-chimiques de l'eau ont également été réalisées. Les résultats physico-chimiques indiquent une température de 16,5 °C, une concentration en oxygène dissous de 5,68 mg/L, un pH de 8,51 et une conductivité de 1009 µS/cm, traduisant des conditions globalement favorables au développement de la faune aquatique.

L'analyse faunistique a permis de recenser 1450 individus appartenant à six taxons. Les insectes aquatiques dominent la communauté avec 56 % des effectifs, suivis des Oligochètes (32 %) et des Nématodes (12 %). Les Baetidae constituent le taxon le plus abondant dans la majorité des microhabitats. Le microhabitat MH3, caractérisé par un courant rapide et un substrat composé de galets, de graviers et de sable, présente les abondances les plus élevées ainsi que la richesse taxonomique maximale. Les indices de diversité montrent des variations modérées entre les microhabitats, reflétant principalement des différences dans la répartition des abondances relatives des taxons.

Les résultats obtenus soulignent l'importance de l'hétérogénéité des habitats dans la structuration des communautés benthiques et confirment l'influence déterminante du courant et de la nature du substrat sur la distribution des macroinvertébrés benthiques dans la haute Tafna.

Mots clés : Macroinvertébrés benthiques, haute Tafna, cours d'eau, microhabitats, biodiversité aquatique.

Abstract

This study was carried out at Station T3 in the Upper Tafna River (North-Western Algeria) with the aim of analyzing the composition of benthic macroinvertebrate communities and assessing the influence of microhabitats on their distribution. Sampling was conducted in April 2026 in six microhabitats distinguished by current velocity and substrate characteristics. Physico-chemical parameters of the water were also measured.

The physico-chemical results revealed a temperature of 16.5°C, dissolved oxygen concentration of 5.68 mg/L, pH of 8.51, and conductivity of 1009 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicating generally favorable conditions for the development of aquatic fauna.

Faunal analysis recorded 1,450 individuals belonging to six taxa. Aquatic insects dominated the community, accounting for 56% of the total abundance, followed by Oligochaetes (32%) and Nematodes (12%). Baetidae was the most abundant taxon in the majority of microhabitats. Microhabitat MH3, characterized by a fast current and a substrate composed of pebbles, gravel, and sand, exhibited the highest abundances as well as the greatest taxonomic richness. Diversity indices showed moderate variations among microhabitats, mainly reflecting differences in the relative abundances of taxa.

These findings highlight the importance of habitat heterogeneity in structuring benthic communities and confirm the determining influence of water flow and substrate characteristics on the distribution of benthic macroinvertebrates in the Upper Tafna River.

Keywords: Benthic macroinvertebrates, Upper Tafna, stream, microhabitats, aquatic biodiversity.

ملخص

أُنجزت هذه الدراسة على مستوى المحطة بوادي تافنة العليا (شمال غرب الجزائر)، بهدف تحليل تركيب مجتمعات اللافقاريات الكبيرة القاعية وتقييم تأثير الموائل الدقيقة على توزيعها. أُجريت عمليات أخذ العينات خلال شهر أبريل 2026 في ستة موائل دقيقة مختلفة تتميز بسرعة الجريان وطبيعة الركيزة. كما تم إجراء قياسات للخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه.

أظهرت النتائج الفيزيائية والكيميائية درجة حرارة بلغت 16.5°م، وتركيز الأكسجين المذاب 5.68 ملغ/لتر، ودرجة حموضة (pH) قدرها 8.51، وموصلية كهربائية بلغت 1009 ميكروسيمنز/سم، مما يدل على ظروف ملائمة بصفة عامة لتطور الأحياء المائية.

سمح التحليل الحيواني بإحصاء 1450 فردًا تنتمي إلى ست مجموعات تصنيفية. وقد هيمنت الحشرات المائية على المجتمع الحيوي بنسبة 56% من إجمالي الأفراد، تلتها قليلاات الأشواك (32%) ثم النيماتودا (12%). وكانت فصيلة Baetidae الأكثر وفرة في معظم الموائل الدقيقة. وقد سجل الموئل الدقيق MH3، المتميز بجريان سريع وركيزة مكونة من الحصى الكبير والحصى الصغير والرمل، أعلى قيم الوفرة وأكبر غنى تصنيفي. كما أظهرت مؤشرات التنوع اختلافات متوسطة بين الموائل الدقيقة، تعكس أساسًا الفروق في الوفرة النسبية للمجموعات التصنيفية.

تبرز هذه النتائج أهمية تغاير الموائل في تشكيل المجتمعات القاعية، وتؤكد التأثير الحاسم لكل من سرعة الجريان وطبيعة الركيزة في توزيع اللافقاريات الكبيرة القاعية بوادي تافنة العليا.

الكلمات المفتاحية: اللافقاريات الكبيرة القاعية، تافنة العليا، مجرى مائي، الموائل الدقيقة، التنوع البيولوجي المائي.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Matériel utilisé sur le terrain.....	19
Tableau 2 : Matériel utilisé au laboratoire.....	19
Tableau 3 : Caractéristiques des microhabitats sélectionnés pour l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques.....	23

Liste des figures

Figure 1 : Nématode	7
Figure 2 : Annélides (Moisan et al., 2008).	8
Figure 3 : Mollusques (Moisan et al., 2008).	9
Figure 4 : Crustacé (Moisan et al., 2008).....	10
Figure 5 : Larve d'insecte : un Éphéméroptère (Tachet et al., 2012)	11
Figure 6 : Hydracarien (Moisan, 2010)	11
Figure 7 : Carte de localisation du bassin versant de la Tafna et du site d'étude (Rouissait, 2016 modifié).	13
Figure 8 : Photo de la station T3 avec le site de chaque prélèvement.....	17
Figure 9 : Matériel utilisé sur le terrain et au laboratoire	22
Figure 10 : Composition faunistique globale des macroinvertébrés benthiques de la station T3	28
Figure 11 : Abondance relative des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats de la station T3	29
Figure 12 : Répartition des principaux groupes faunistiques dans les six microhabitats de la station T3	30
Figure 13 : Composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les six microhabitats	32
Figure 14 : Variation de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats	33
Figure 15 : Variation de l'indice de diversité de Shannon-Weaver des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats.....	34
Figure 16 : Variation de l'indice d'équitabilité de Pielou des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats	35

Table de matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Les eaux courantes 4

I.2 Définition des cours d'eau et leur importance dans le fonctionnement des écosystèmes 4

I.3 Les macroinvertébrés benthiques 4

I.3.1. Importance écologique des macroinvertébrés benthiques 5

I.3.2. Etat de connaissance à l'échelle mondiale et locale 5

I.3.3. Les groupes taxonomiques principaux des macroinvertébrés benthiques 6

Chapitre II : Étude du milieu physique

II.1 Présentation du milieu d'étude 12

II.1.1 Bassin versant de la Tafna 12

II. 1.2 Géologie 14

II. 1.3 Hydrologie 14

II. 2. Description de la station d'étude 15

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Échantillonnage de la faune benthique 18

III.1.1. Matériel utilisé 18

III.1.2. Technique d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques 22

III.1.3. Tri et identification au laboratoire 23

III. 2. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau 23

a. Température de l'eau (T°) 23

b. Oxygène dissous (OD) 23

c. Conductivité électrique 24

d. Potentiel hydrogène (pH) 24

III.3. Analyse des données 24

Richesse taxonomique (S) 24

L'abondance relative (P_i)	24
L'indice de diversité de Shannon-Weaver (H')	24
L'indice d'équitabilité de Pielou (J')	25

Chapitre IV : Résultats et interprétations

IV. 1. Résultats des analyses physico-chimiques	26
IV.1.1-Température	26
IV.1.2-Oxygène dissous	26
IV.1.3-pH	27
IV.1.4-Conductivité	27
IV.2. Résultats faunistiques	28
IV.2.1. Composition faunistique globale des principaux groupes de macroinvertébrés benthiques de la station T3	28
IV.2.2- Comparaison des abondances relatives des différents microhabitats	28
IV.2.3- Répartition des principaux groupes faunistiques dans les six microhabitats de la station T3	29
IV.2.4- Composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les six microhabitats	31
IV.3. Structure des communautés	32
IV.3.1. Richesse taxonomique	33
IV.3.2. Indice de Shannon-Weaver (H')	33
IV.3.3. Indice d'équitabilité de Pielou (J')	34
Discussion	36
Conclusion	39
Références bibliographiques	40

Introduction

Introduction

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable à la vie et au fonctionnement des écosystèmes. Son rôle fondamental dans le maintien de la biodiversité, le développement des activités humaines et le fonctionnement des cycles biogéochimiques confère une importance particulière à la préservation de sa qualité et de sa disponibilité. Les besoins en eau ne cessent de croître, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, faisant de sa gestion durable un enjeu majeur pour les sociétés contemporaines (Haouchine, 2011).

Bien que l'eau recouvre une grande partie de la surface terrestre, l'eau douce disponible représente moins de 1% des ressources hydriques de la planète (Dudgeon et al., 2006). Cette ressource se présente sous différentes formes telles que les rivières, les oueds, les lacs et les zones humides, qui constituent des habitats essentiels pour de nombreuses communautés biologiques.

Le bassin versant de la Tafna représente l'un des principaux bassins hydrographiques du Nord-Ouest algérien et le deuxième en importance dans l'Oranie après celui du Chélif (Remanoun, 2003). Il joue un rôle majeur dans l'approvisionnement en eau pour divers usages domestiques, agricoles et industriels. Comme l'ensemble des eaux de surface, la qualité de ses eaux est influencée par des facteurs à la fois naturels et anthropiques (Bemoussat-Dekkak, 2022).

Les cours d'eau constituent des écosystèmes complexes qui assurent de nombreuses fonctions écologiques et hébergent une biodiversité remarquable (Wetzel, 2001). Parmi les organismes qui peuplent ces milieux figurent les macroinvertébrés benthiques, ensemble d'organismes vivant au contact ou à l'intérieur des sédiments du fond des écosystèmes aquatiques. Ce groupe comprend notamment des insectes aquatiques, des annélides, des mollusques, des crustacés et des nématodes (Merritt et al., 2008 ; Thorp & Covich, 2010).

L'étude des macroinvertébrés benthiques constitue aujourd'hui un outil complémentaire indispensable aux analyses physico-chimiques dans l'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau (Aissata et al., 2018). En effet, ces organismes, faciles à prélever et à identifier, fournissent des informations précieuses sur l'état de santé des écosystèmes aquatiques et permettent de déceler les impacts des perturbations environnementales (Décamps et al., 1975 ; Lounaci et al., 2000). Leur présence, leur abondance et leur diversité reflètent les caractéristiques du milieu et les stratégies écologiques mises en place par les différentes espèces pour s'adapter aux changements environnementaux (Lécuyer et Benoit, 2017).

L'importance des macro invertébrés ne se limite pas à leur rôle en tant que bioindicateurs de pollution, mais s'étend à leur capacité à répondre à l'ensemble des altérations touchant

Introduction

l'écosystème, qu'il s'agisse de la dégradation de la structure physique des habitats aquatiques, des modifications biologiques ou morphologiques ou encore des changements dans l'usage des sols au niveau des bassins versants, ainsi qu'aux différentes pressions anthropiques telles que le pâturage, l'agriculture ou les rejets d'eaux usées (Rosenberg et Resh, 1993). Leur grande diversité, ainsi que leurs niveaux de tolérance variés aux perturbations leur confèrent un fort pouvoir discriminant permettant de classer les sites aquatiques selon leur degré de dégradation écologique, comme l'ont confirmé plusieurs études pionnières dans ce domaine (Hellawell, 1986 ; Barbour et al., 1999 ; WFD, 2003).

En Algérie, plusieurs travaux ont porté sur l'étude des macroinvertébrés benthiques des écosystèmes aquatiques continentaux, notamment ceux de Bendiouis-Chaoui Boudghene, (2012, 2015), Belaidi et al (2004), Benkebil (2013), Benkebil et al (2021), Ammouri (2014), Bemoussat-Dekkak (2017, 2022), Benhadji (2020). Malgré les connaissances acquises sur la composition et l'écologie de nombreux groupes faunistiques, les données relatives à certains secteurs hydrographiques demeurent encore limitées, notamment dans les cours d'eau de la haute Tafna.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, consacrée à la composition des macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau de la haute Tafna. Ce travail vise à contribuer à la connaissance de la biodiversité benthique locale et à mieux comprendre la structure des communautés présentes au niveau de la station T3.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- ✚ Réaliser l'échantillonnage des macrosinvertébrés benthiques au niveau de la station T3.
- ✚ Identifier les organismes récoltés jusqu'au niveau taxonomique le plus précis possible.
- ✚ Déterminer la richesse taxonomique et l'abondance des différents groupes recensés.
- ✚ Analyser la composition faunistique de la communauté benthique.
- ✚ Calculer les principaux indices écologiques (Shannon-Weaver et équitabilité de Pielou).
- ✚ Mesurer quelques paramètres physico-chimiques de l'eau (température, oxygène dissous, pH, conductivité électrique).
- ✚ Interpréter les résultats obtenus afin de caractériser les communautés benthiques de la station étudiée.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

- ✚ Le chapitre 1 : présente une synthèse bibliographique consacrée aux cours d'eau et aux macroinvertébrés benthiques.

Introduction

- ✚ Le chapitre 2 : décrit la zone d'étude ainsi que les principales caractéristiques du bassin versant de la Tafna.
- ✚ Le chapitre 3 : expose le matériel utilisé et les mise en œuvre sur le terrain et au laboratoire
- ✚ Le chapitre 4 : présente les résultats obtenus ainsi que leur interprétation et leur discussion.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Les eaux courantes

Les eaux courantes (milieux lotiques) regroupent toutes les eaux en mouvement : sources, ruisseaux, torrents, rivières et fleuves, formant un vaste réseau hydrologique qui mène à la mer. Ce sont des milieux ouverts qui ont des échanges constants avec les systèmes qu'ils traversent (Genin et al., 2003). Ces milieux lotiques représentent une faible fraction des réserves en eau douce, mais leur taux de régénération est élevé. Ils présentent deux aspects majeurs : une structure linéaire très marquée souvent très ramifiée, et la présence d'un flux hydrique amont-aval (Tachet et al., 2010).

I.2 Définition des cours d'eau et leur importance dans le fonctionnement des écosystèmes

Les cours d'eau désignent tout écoulement naturel d'eau liquide, circulant dans un lit depuis une source jusqu'à une embouchure, avec un débit permanent ou intermittent (Tachet et al., 2010). En raison de leur caractère dynamique, ils constituent la principale voie de transfert de l'eau liquide de la terre vers les océans. Au-delà de ce rôle dynamique, les cours d'eau offrent un stockage temporaire de l'eau en retenant une partie du volume lors des crues, avant de la restituer progressivement en période sèche d'étiage (Musy et Higy, 2004).

Les cours d'eau sont parmi les écosystèmes les plus complexes et productifs (Dynesius et Nilson, 1994). Ils soutiennent une biodiversité exceptionnelle, en hébergeant une grande diversité d'organismes ; invertébrés, poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères, ainsi que des algues et macrophytes. Ce milieu favorise également le recyclage de la matière organique, grâce à la circulation constante des nutriments et à la décomposition rapide (Genin et al., 2003).

Le fonctionnement des écosystèmes d'eau courante diffère de celui des milieux terrestres, océanique et lacustre. Les cours d'eau drainent le bassin versant et atteignent le point le plus bas (Boucenna, 2023). Dans les eaux courantes, le cycle des matières ne suit pas un gradient vertical, mais longitudinal, de l'amont vers l'aval, où le courant transporte et distribue la matière organique et minérale indispensable à l'écosystème. Les organismes vivants des écosystèmes d'eau courante sont entraînés par la puissance du courant, ce qui fait leur originalité (Boucenna, 2023). La photosynthèse n'y joue un rôle majeur que dans les zones calmes et plates des cours d'eau en plaine (faciès lentiques), expliquant pourquoi ces systèmes tendent vers l'hétérotrophie (Angelier, 2000).

I.3 Les macroinvertébrés benthiques

Les macroinvertébrés benthiques sont des petits animaux aquatiques sans colonne vertébrale, visibles à l'œil nu, mesurant plus de 0,5 mm et vivant au fond des écosystèmes aquatiques tels que les rivières et les lacs (Tachet et al., 2006). Ils regroupent principalement des larves d'insectes, des mollusques, des vers et des crustacés (Tachet et al., 2010 ; Touzin, 2008 ; Hamzaoui D, 2015)

I.3.1. Importance écologique des macroinvertébrés benthiques

Les macroinvertébrés benthiques jouent un rôle déterminant dans les écosystèmes d'eau douce en participant à la décomposition de la matière organique et à la transmission d'énergie entre les niveaux trophiques (Tachet et al., 2003). Leur contribution est manifeste à plusieurs égards :

➤ Rôle dans la chaîne alimentaire : Les macroinvertébrés benthiques constituent une composante essentielle du régime alimentaire de nombreuses espèces aquatiques. Les consommateurs secondaires de la chaîne trophique sont des prédateurs carnivores (Diomande, 2001 ; Gnohossou et al., 2009), ont des tailles variées, vivent dans les mares, étangs ou rivières et peuvent être aquatiques comme les poissons, amphibiens comme les grenouilles ou même terrestres qui viennent chasser dans l'eau comme les oiseaux (Beat et Pierre, 2013).

➤ Bioindicateurs de la qualité de l'eau : Certaines espèces de macroinvertébrés benthiques, telles que les perles, les phryganes et les éphémères, sont d'excellents bio-indicateurs de la qualité de l'eau. Elles reflètent de manière précise l'état écologique des zones humides, permettant ainsi une évaluation de la santé environnementale de ces écosystèmes (Leraut, 2003).

➤ Réactivité aux changements environnementaux : Les macroinvertébrés benthiques ayant une niche écologique étroite sont particulièrement sensibles aux variations de leur environnement. Leur capacité à réagir rapidement aux changements permet de détecter des perturbations de manière précoce, comme la pollution ou le réchauffement (Rosenberg et Resh, 1993).

I.3.2. Etat de connaissance à l'échelle mondiale et locale

À l'échelle mondiale, les macroinvertébrés benthiques font l'objet de nombreuses études depuis des décennies. Les recherches scientifiques ont contribué à une meilleure compréhension de leur diversité taxonomique, de leur répartition dans divers habitats aquatiques, ainsi que de leur fonction écologique dans les processus de décomposition de la matière organique et de transfert d'énergie au sein des réseaux trophiques. Ces organismes sont déployés dans le cadre de programmes de surveillance biologique des milieux aquatiques dans diverses parties du globe. En Europe, Tachet et al., (1988) ont contribué à la connaissance de la biodiversité des

macroinvertébrés d'eau douce de la Saône, tandis qu'en Amérique du Nord, Merritt et Cummins (1996) ont publié un ouvrage de référence offrant une présentation détaillée des insectes aquatiques et de leur écologie.

En Algérie, l'étude des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau a connu un développement progressif au cours des dernières décennies. Les recherches effectuées ont permis le répertoriage de divers groupes taxonomiques présents dans les écosystèmes actuels du pays, notamment les insectes aquatiques appartenant aux ordres des éphémères (Gagneur et Clergue-Gazeau, 1988), des plécoptères (Gagneur et Aliane, 1991), des trichoptères et des diptères chironomides (Moubayed et al., 1992). D'autres groupes, tels que les mollusques, les annélides et les crustacés, ont également été observés (Samraoui et Menai, 1999).

En Algérie, l'eau a un caractère stratégique à cause d'un cycle hydrologique perturbé et déséquilibré. Le pays compte jusqu'à 50 sites classés sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale. L'influence humaine se fait sentir sur l'un des principaux fleuves de l'est, la rivière Seybouse, à travers des activités souvent associées à des implantations humaines ici et là le long des cours d'eau. Les organismes aquatiques qui peuplent ces milieux, comme les macroinvertébrés benthiques, ont des préférences et exigences précises vis-à-vis des différents facteurs biotiques (prédation et compétition) et abiotiques (température, oxygène, pH, pollution, etc). Dès qu'un changement survient dans un milieu, on constate des perturbations dans les communautés qui l'habitent (Ferguani et Arab, 2013).

Les caractéristiques des espèces d'invertébrés en Afrique du Nord et dans ses régions arides restent toutefois mal documentées, comparées à celles d'Europe, d'Amérique du Nord ou des rivières tropicales. Ces connaissances sont pourtant nécessaires pour réussir à évaluer les modalités dans le fonctionnement des communautés des macroinvertébrés, qui varient le long des gradients de perturbations naturelles et anthropiques (Guidicelli et al., 1985).

I.3.3. Les groupes taxonomiques principaux des macroinvertébrés benthiques

➤ Embranchement des Némathelminthes :

Les némathelminthes sont des vers fins, sans segmentation et non contractiles, de forme cylindrique ; leur mouvement est caractérisé par une ondulation soudaine (Greenhalgh et Ovenden, 2009). On les trouve en grande quantité dans les lacs et les cours d'eau, où ils passent la plus grande partie de leur vie (Thorp et Covich, 2001). En eau douce, on retrouve surtout : les **nématodes** et les **gordiacés** (Tachet et al., 2010).

Le régime alimentaire des némathelminthes est extrêmement variable, selon qu'ils sont libres ou parasites, ce qui leur a permis de coloniser tous les milieux du globe. Les pièces buccales

Chapitre I : Synthèse bibliographique

sont donc spécialisées selon leur mode d'alimentation (Brusca et al., 2016 ; Ruppert et al., 2004).

On Recense environ 80 000 espèces de nématodes (Figure 1), un chiffre sans doute sous-estimé. Leur taille varie de 100 μm à plus de 100 cm (Jurd, 2000).

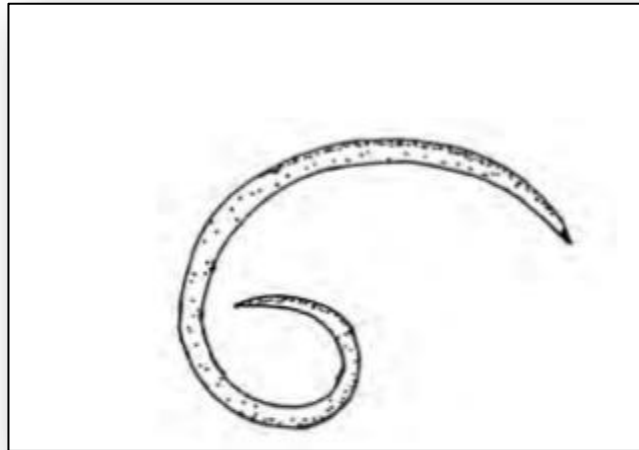
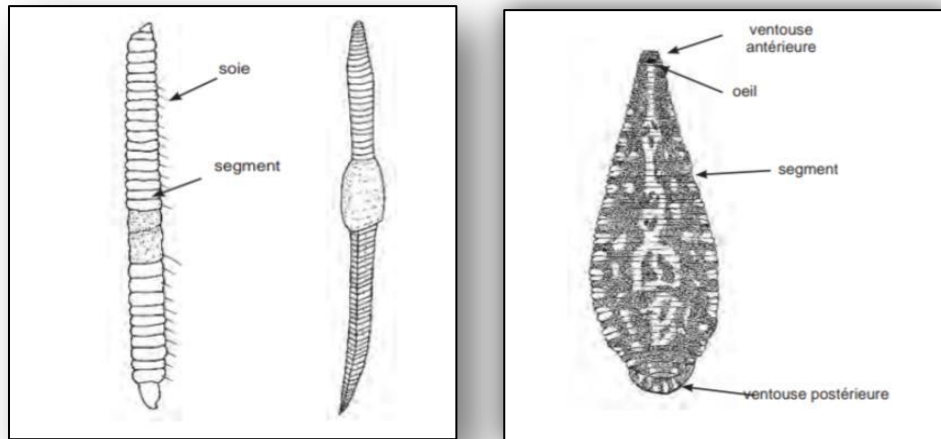


Figure 1 : Nématode (Moisan et al., 2008)

➤ **Embranchement des Annélides :**

Les annélides sont des vers au corps clairement segmentés, portant soit, des soies le long du corps, soit une ventouse à chaque extrémité (Figure 2). Ils sont principalement composés de trois groupes assez diversifiés : **les oligochètes**, **les branchiobdelles**, et les **hirudinées** (ou sangsues, autrefois appelées achètes) (Greenhalgh et Ovenden, 2009). Ils vivent dans les milieux lenticules et lotiques (Thorp et Covich, 2001).

Les oligochètes (Figure 2) sont des vers qui possèdent les deux sexes (Thorp et Rogers, 2015). Ils vivent dans ou sur les fonds de tous types d'environnements aquatiques (eaux en mouvement et eaux stagnantes, y compris les lacs et ruisseaux à faible teneur en éléments nutritifs). Ils se nourrissent en consommant la boue, d'où ils tirent des algues, des diatomées, des bactéries ou des résidus organiques (Tachet et al., 2010). Les hirudinées (Figure 2), aussi connues sous le nom de sangsues, se distinguent par un corps sans soie et deux ventouses ; une antérieure qui abrite la bouche, et une postérieure à l'arrière (Mary, 2017). Les sangsues sont présentes à la fois dans les environnements marins et d'eau douce (Tachet et al., 2010).



Oligochète

Sangsue

Figure 2 : Annélides (Moisan et al., 2008)

➤ Embranchement des Mollusques :

Les mollusques sont des invertébrés à corps mou, généralement protégé par une coquille externe dure (Moisan, 2010). Bien que la majorité des espèces soient marines, certaines vivent en eau douce, tandis que d'autres occupent des milieux terrestres, notamment humides et ombragés (Lamarck, 2003 ; Moisan, 2010).

Deux classes (Figure 3) du phylum des Mollusque dominent les habitats d'eau douce : **les gastropodes** et **les bivalves** (Thorp et Covich, 2001). Les gastéropodes forment l'un des groupes les plus diversifiés d'eau douce. On les retrouve généralement dans les zones littorales des habitats lentiques et lotiques. Les bivalves, eux, préfèrent les lacs, les ruisseaux et les grandes rivières permanentes (Boucenna, 2023).

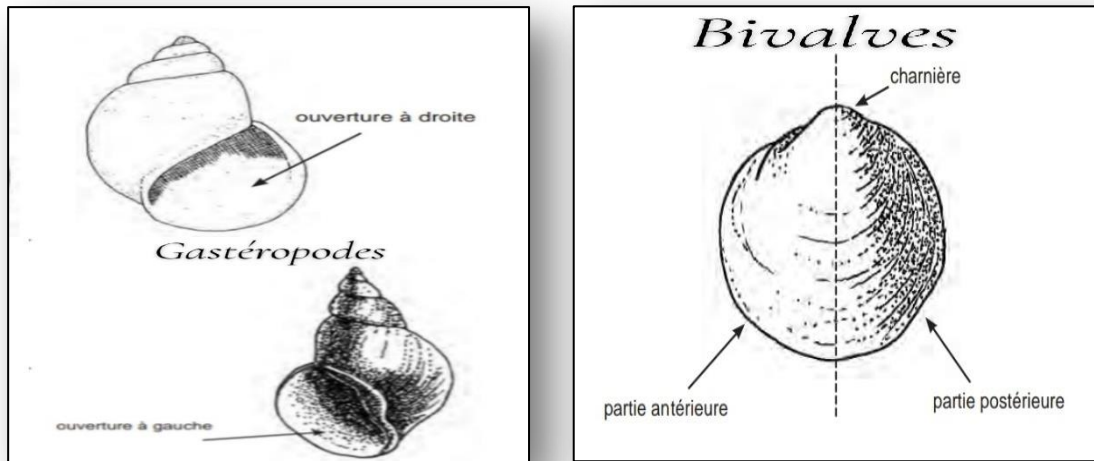


Figure 3 : Mollusques (Moisan et al., 2008).

➤ Embranchement des Arthropodes :

Les arthropodes forment le groupe le plus abondant des macroinvertébrés benthiques, représentant près de 80% du total. Ils possèdent un corps segmenté, un exosquelette rigide en chitine et des appendices articulés qui leur permettent de se déplacer et de s'adapter aux différentes conditions du milieu (Merritt et al., 2008). Cet embranchement est dominé par trois classes principales : **les crustacés, les larves d'insectes et les arachnides.**

Les crustacés (Figure 4), avec 5 à 17 paires de pattes, jouent un rôle essentiel dans les communautés planctoniques et benthiques de presque tous les écosystèmes d'eau douce, y compris les zones humides, les lacs doux ou salés ainsi que les rivières, bien qu'ils ne représentent qu'environ 15 % des espèces recensées (Boucenna, 2023). Ils forment un lien vital entre les producteurs primaires (algues et herbes aquatiques) et les niveaux trophiques supérieurs. Les crustacés se nourrissent en tant que détritivores, herbivores, omnivores et carnivores. Leur taille varie du zooplancton minuscule de 0.1 mm à l'écrevisse géante de 400 mm (Boucenna, 2023). Chez les adultes, on note deux paires d'antennes, une cuticule chitineuse souvent renforcée en carapace-bouclier et un abdomen comptant généralement plus de 11 segments (Thorp et Rogers, 2011). Près de 4000 espèces de crustacés peuplent les eaux douces mondiales, offrant une grande diversité de formes et de niches écologiques (Thorp et Covich, 2001).

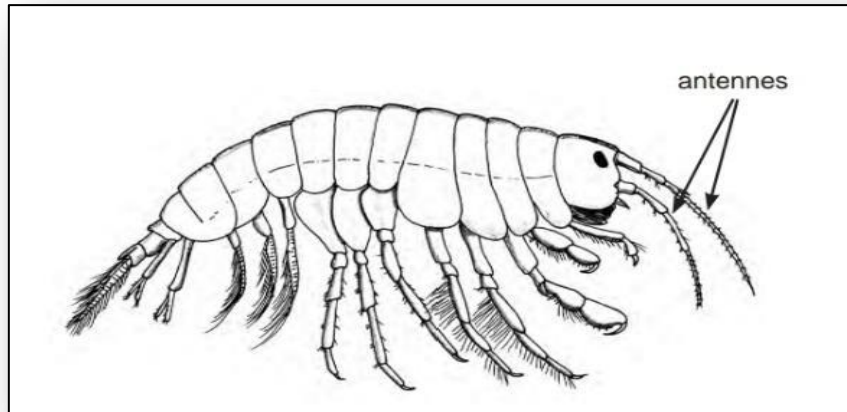


Figure 4 : Crustacé (Moisan et al., 2008)

Les larves d'insectes (Figure 5) représentent la moitié des invertébrés d'eau douce (Angelier, 2000), un groupe hyper diversifié, avec environ 76 000 espèces, toutes dotées de 3 paires de pattes et capables de s'adapter à tous les types d'habitats (Balian et al, 2008). Elles dérivent de divers ancêtres terrestres qui ont secondairement envahi les milieux aquatiques (Balian et al., 2008). Certains ordres d'insectes sont exclusivement aquatiques à certaines phases de leur cycle de vie, comme les éphéméroptères, les plécoptères, les odonates, les plécoptères et les mégaloptères, tandis que d'autres regroupent aussi bien des espèces aquatiques que terrestres, tels que les coléoptères, les héteroptères et les diptères (Balian et al., 2008 ; Thorp et Rogers, 2011 ; Hauer et Resh, 2017). Les larves d'insectes aquatiques présentent deux grands types de cycles de vie. Chez les ordres à métamorphose incomplète, comme les éphéméroptères (Gattoliat, 2002), les odonates et les plécoptères, le développement se déroule en trois stades successifs, œufs, larve et adulte. Chez les ordres à métamorphose complète, tels que les trichoptères, il comprend quatre stades, œuf, larve, nymphe et adulte (Wiggins, 1996). La plupart des insectes adultes d'eau douce sont ailés et vivent de façon terrestre ou semi-aquatique (Thorp et Rogers, 2011), avec une vie courte centrée sur la reproduction, bien plus brève que la phase larvaire aquatique (Thorp et Covish, 2001 ; Thorp et Rogers, 2011). Les écosystèmes du monde entier dépendent des insectes pour la pollinisation, la décomposition de la matière organique, l'aération du sol et le cycle des nutriments et de l'énergie (Black et Vaughan, 2009).

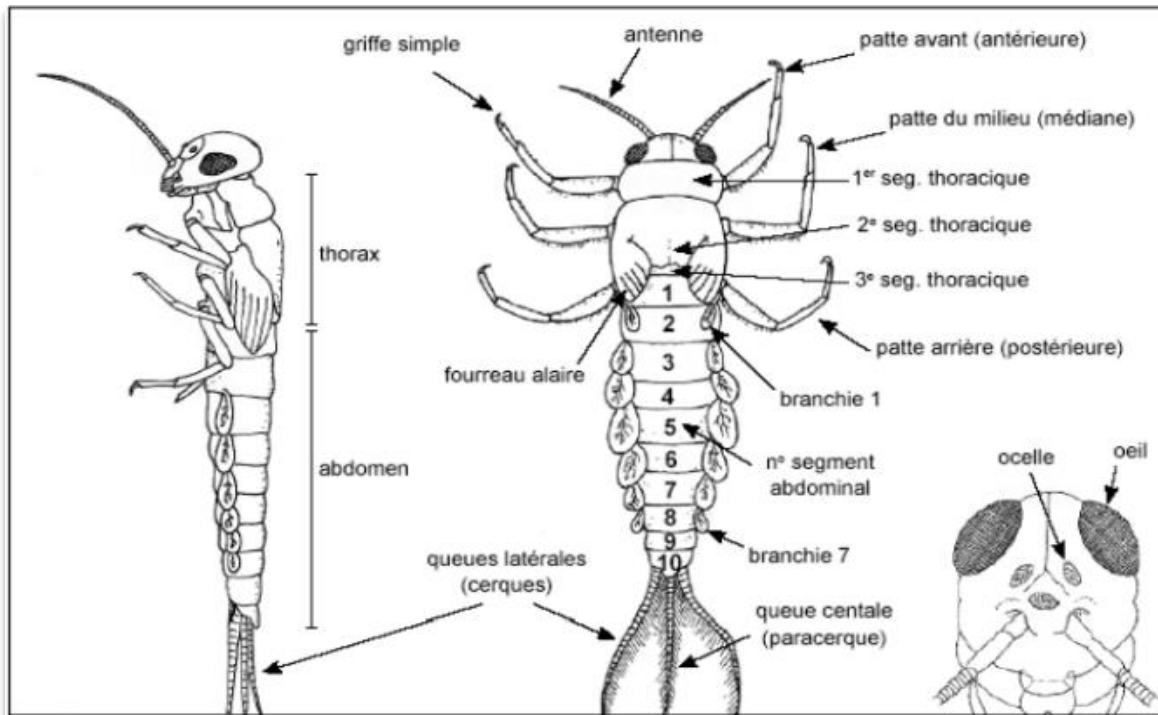


Figure 5 : Larve d'insecte : un Éphéméroptère (Moisan, 2008)

Les arachnides d'eau douce, caractérisés par 4 paires de pattes (Moisan, 2010), constituent un autre groupe d'arthropodes notable ; parmi eux, les hyrcaniens (Figure 6). Ces acariens minuscules, mesurant souvent moins de 4 mm, avec un corps habituellement globulaire (Moisan, 2010), sont présents massivement dans les rivières, mares, étang et autres milieux aquatiques. L'une des choses les plus frappantes au sujet des hydracariens est leur brillante coloration, souvent orange, jaune ou rouge, probablement due à des sécrétions nocives provenant de leurs glandes dermiques (Walter et al., 1999). Les larves ressemblent aux adultes mais n'ont que trois paires de pattes et présentent une tolérance moyenne à la pollution (Moisan, 2010).

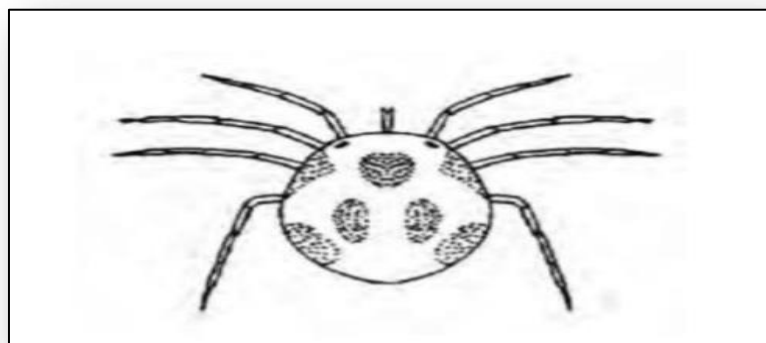


Figure 6 : Hydracarien (Moisan, 2010)

Chapitre II : Etude du milieu physique

II.1 Présentation du milieu d'étude

II.1.1 Bassin versant de la Tafna

Le bassin hydrographique de la Tafna (Figure 7) se trouve au nord-ouest de l'Algérie et s'étend jusqu'au territoire marocain. Sa superficie est de 7 245 km² (Zekri, 2003). Il est limité :

- Au Nord-Ouest par les monts des Traras (1021 m)
- Au Nord-Est par Djebel Tessala
- Au Sud par les monts de Tlemcen
- À l'Est par Djebel Sebâa Chioukh
- À l'ouest par les monts de Béni-Snassen (Maroc)

Le bassin présente un relief contrasté. Sa partie sud-est est dominée par les monts de Tlemcen, culminant entre 1576 m et 1843 m d'altitude, tandis que la partie nord est caractérisée par des plateaux (les régions des plaines de Maghnia, de Hennaya et de Sidi-Abdelli), dont l'altitude varie entre 200 et 500 m.

L'oued Tafna, long de 170 km, prend sa source à Ghar Boumaaza, à 1100 m d'altitude et se jette dans la mer Méditerranée au niveau de la plage de Rechgoune (Algérie). L'altitude dans le bassin varie de 0 à 1800m (Zettam, 2018).

Le cours d'eau de la Tafna est classiquement subdivisé en trois parties : La haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.

➤ **La haute Tafna :**

Couvrant une superficie de 1016 km² pour un périmètre de 165 km, ce bassin est régulé par le barrage de Béni Bahdel, construit entre 1934 et 1940, avec une capacité initiale de 63 millions de m³ (Benkebil, 2013). La haute Tafna s'étend depuis la résurgence de l'oued Tafna à Ghar Boumaaza, au sud de Sebdou. Le cours d'eau y traverse une vallée étroite et reçoit plusieurs affluents. Parmi ceux-ci, l'oued Khemis (rive droite) et l'oued Sebdou (rive gauche) constituent les principaux apports hydriques (Bouanani et al., 2016).

➤ **La moyenne Tafna :**

L'oued s'écoule à partir de la région de Sidi Medjahed à travers une vallée peu profonde. Le principal affluent est l'oued Mouilah (rive gauche), qui trouve son origine à El Abed à une altitude de 1250 m, rejoint la Tafna dans la plaine de Maghnia, près du barrage de Hammam boughrara. Sur la rive droite, l'oued Isser constitue l'un des affluents les plus importants en raison de sa longueur et de son débit. Il reçoit en amont l'oued Chouly et l'oued Sikkak (Benkebil, 2013). D'autres affluents secondaires, tels que l'oued Boukiou, contribuent également à l'alimentation du cours d'eau.

➤ La basse Tafna :

Le cours inférieur de la Tafna s'étend des gorges de Tahouaret jusqu'à la mer, sur un parcours d'environ 20 km. Il se caractérise par un tracé sinueux, formant de larges méandres dans une plaine et sculptant un paysage unique.

L'oued Isser constitue le principal affluent dans cette section du bassin, rejoignant la Tafna au niveau de la plaine de Remchi. D'autres affluents, de moindre importance, alimentent également le fleuve, tels que l'oued Lemba, l'oued Fed El Atouch et l'oued Ben-Djelloul (Benhadji, 2020).

La Tafna termine son parcours par un estuaire situé à proximité de la plage de Rechgoune. Ce point de rencontre entre eau douce et eau salée offre un habitat riche et diversifié pour une multitude d'espèces animales et végétales (Benhadji, 2020).

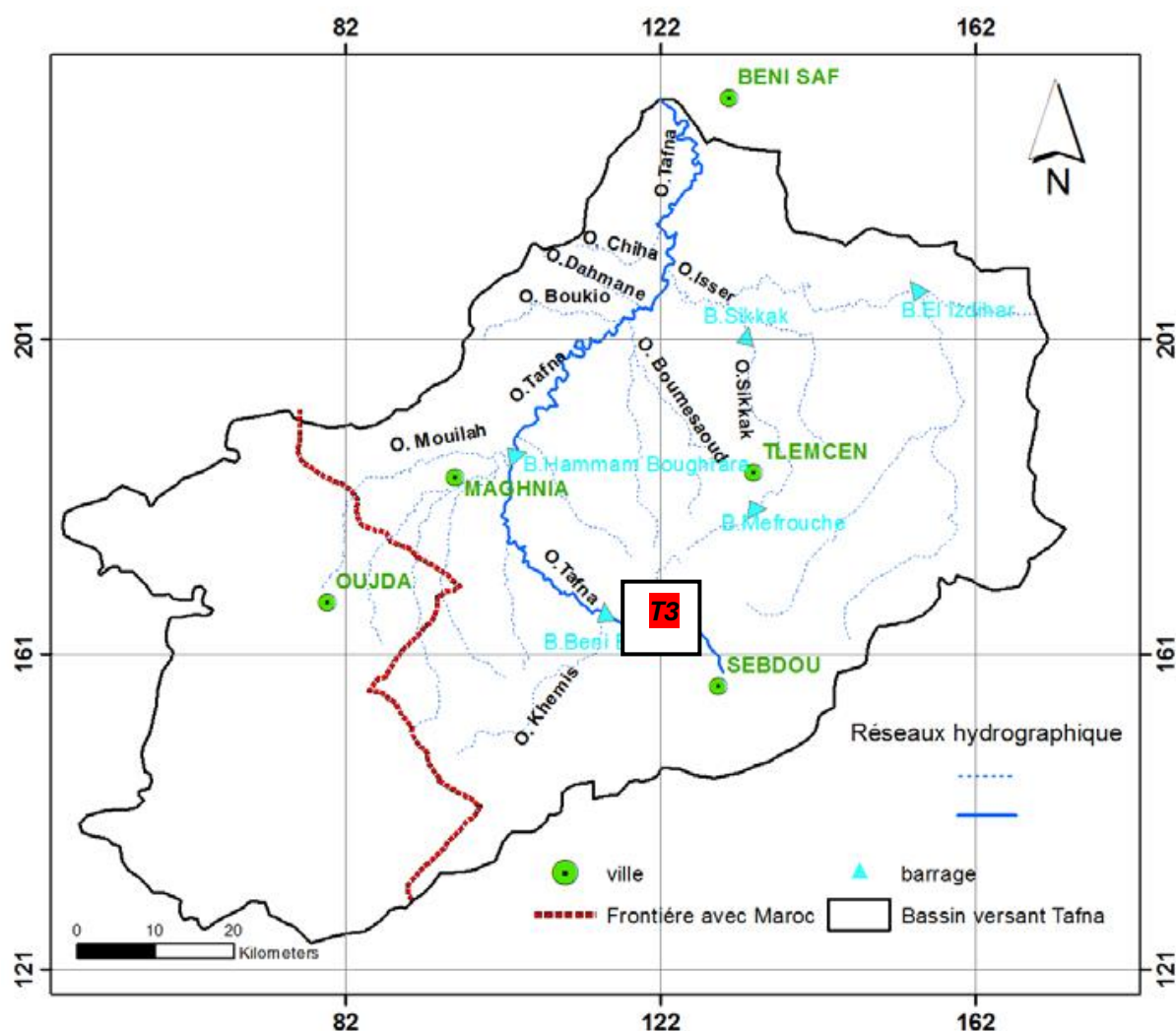


Figure 7 : Carte de localisation du bassin versant de la Tafna et du site d'étude (Rouissait, 2016 modifié)

II. 1.2 Géologie

Le bassin versant de la Tafna se caractérise par une géologie très complexe et qualifiée de grande tectonique, particulièrement au niveau des monts de Tlemcen (Zekri, 2021)

Il existe deux structures géologiques principales :

➤ Le bassin amont, correspondant aux monts de Tlemcen, est dominé par des formations d'âge jurassique, principalement constitué de calcaires et de dolomies. Ces formations carbonatées confèrent à la région un caractère karstique favorisant l'infiltration et la circulation souterraine des eaux.

➤ Le bassin aval, orienté vers le nord, comprend les zones de piémont ainsi que les plaines d'Hennaya, de Remchi et de l'Isser. Ce sont des vallées limoneuses appartenant au miocène et aux quaternaire (Collignon, 1986).

La diversité des substrats géologiques a donné naissance à différents types de sols, qui peuvent être regroupés dans les grands ensembles suivants :

- Les terres d'alluvions, qui recouvrent les basses terrasses et les lits majeurs des oueds.
- Les terres caillouteuses, développées sur les piémonts des monts de Tlemcen et des Traras.
- Les terres rouges à encroûtement, localisées dans la plaine de Maghnia et la région de Ouled Riah.
- Les terres marneuses, couvrant une grande partie du bassin (Zekri, 2021).

II. 1.3 Hydrologie

Le bassin versant de la Tafna révèle une forte hétérogénéité hydrologique, liée à la variabilité du relief et des conditions bioclimatiques. Les monts de Tlemcen constituent une zone clé d'alimentation hydrique en raison de leur altitude élevée et des précipitations abondantes. Ce sont d'énormes réservoirs d'eau, qui alimentent les oueds par des écoulements de surface et de sources, ce qui confère à cette zone amont du bassin une stabilité relative du débit qui est compris entre 100 et 500 millions de m³/an (Remini, 2005).

En revanche, l'aval du bassin est soumis à des précipitations irrégulières et surtout saisonnières, ce qui se traduit par une grande variabilité des débits. Le régime hydrologique est ainsi marqué par une succession de période de crues et d'étiages, et est influencé par le climat méditerranéen évoluant du sub-humide vers l'aride. Il englobe deux périodes :

➤ Une période de hautes eaux hivernales, où le débit varie considérablement en fonctions des précipitations. Cette période présente une variabilité interannuelle importante et peut être associée à des épisodes de crues violentes (Benabdelkader, 2019).

➤ Une période de basse eau dite étiage, dont les débits de base des oueds sont réduits vu la quasi-absence de précipitations combinées aux températures estivales élevées induisant une forte évaporation de l'eau. Cette situation peut entraîner un assèchement partiel ou total du cours d'eau, notamment dans les zones de piémont (Taleb, 2004).

II. 2. Description de la station d'étude

Une seule station a été considérée dans cette étude au niveau de la haute Tafna : la station T3.

• Station T3 :

La station T3, correspondant à l'exutoire de l'oued Sebdou, est située au niveau de la haute Tafna dans la région de Béni-Bahdel, à environ 25 km de la source de la Tafna (Ghar-Boumaâza) et à 5 km en amont du barrage de béni-bahdel, ce qui signifie qu'elle n'est pas soumise à l'effet de ce dernier (Benkebil et al., 2021).

- **Latitude** : 34°41'753"N
- **Longitude** : 01°26'820"O
- **Altitude** : 682 m
- **Orientation** : SE- NO
- **La largeur du lit** : atteint 10 m.

Le substrat : l'oued présente une grande diversité de substrats. Dans les zones à courant faible, voire stagnant, le substrat est principalement constitué d'argile, de sable et de galets. Les secteurs à courant rapide se caractérisent par la présence de galets, de graviers et de sable. Quant aux zones à courant moyen, elles présentent un mélange de cailloux, de galets et de sable.

- **La profondeur** : elle est comprise entre 4 et 23 cm selon le transect prospecté et peut différer dans d'autres points de l'oued.
- **Le couvert végétal** : la station se caractérise par un couvert végétal diversifié comprenant plusieurs espèces, notamment :
 - *Apuim nodiflorum*
 - *Sinapis alba*
 - *Reseda alba*
 - *Rhaphanus raphanistrum*

Chapitre II : Etude du milieu physique

- *Capsella Bursa pastoris*
 - *Sinapis arvensis*
 - *Nerium oleander*
 - *Mentha rotundifolia*
 - *Rorripa Nasturtium aquaticum*
 - *Smyrnum olusatrum*
- **La vitesse moyenne du courant (V):** elle est estimée à 1,023 m/s.
- **Le débit (Q) :** calculer à 1,68 m³/s.

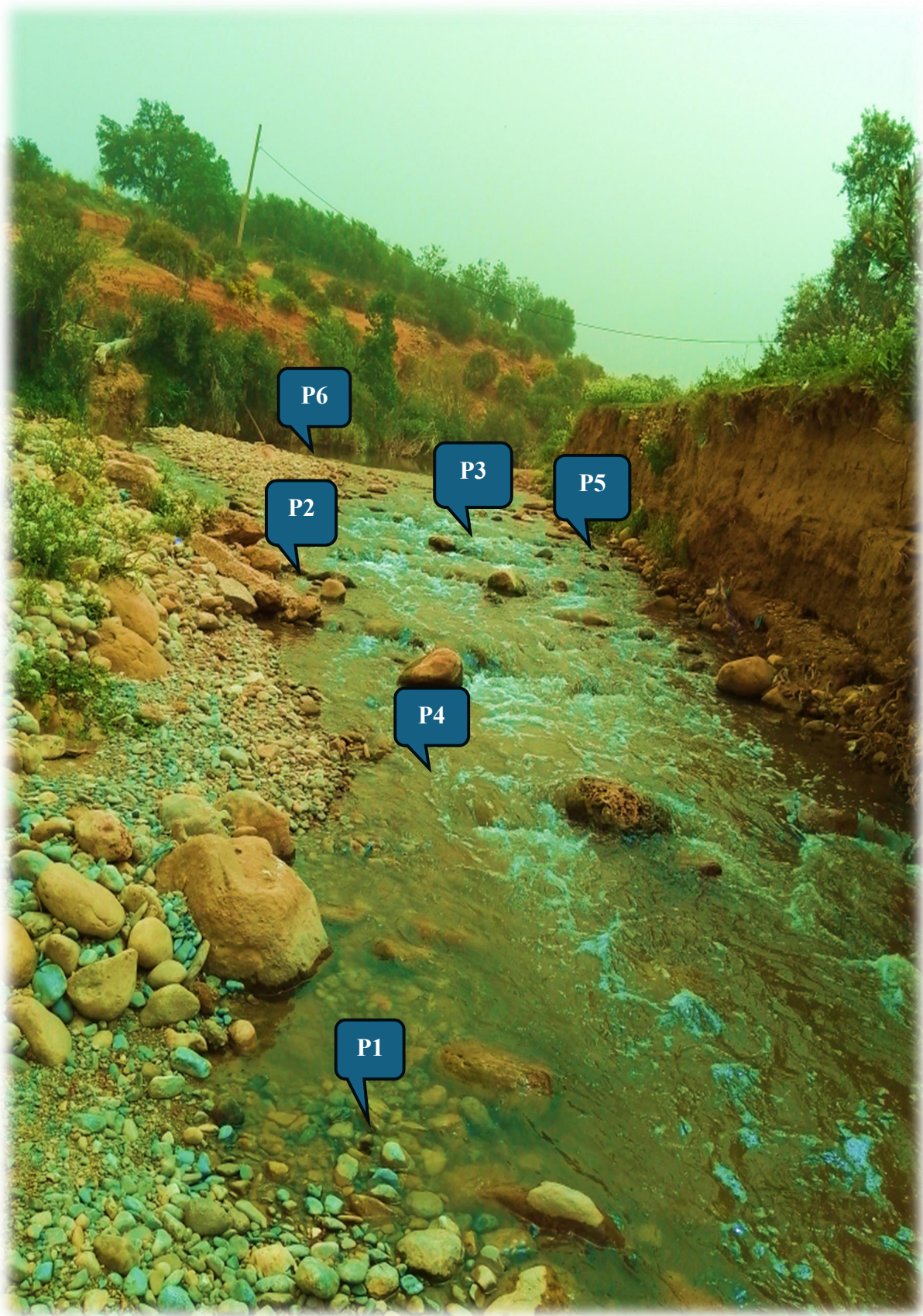


Figure 8 : Photo de la station T3 avec le site de chaque prélèvement

Chapitre III

Matériel et Méthodes

III.1. Echantillonnage de la faune benthique :

Des prélèvements ont été réalisés au niveau de la station T3 lors d'une sortie de terrain effectuée le 9 avril 2026. L'échantillonnage a porté sur les macroinvertébrés benthiques présents dans les substrats superficiels du cours d'eau.

III.1.1. Matériel utilisé :

Sur le terrain, le matériel utilisé est le suivant :

- Un filet Surber utilisé pour l'échantillonnage des invertébrés benthiques.
- Des boîtes de prélèvements.
- Formol pour la conservation des échantillons.
- Des étiquettes destinées à l'identification des échantillons.
- Un carnet de note pour l'enregistrement des observations.
- Un oxymètre pour la mesure de l'oxygène dessous.
- Un multi paramètre HI 8424 pour la mesure du potentiel hydrogène (pH) et de la température de l'eau.
- Un conductimètre pour mesurer de la conductivité de l'eau.
- Un décamètre pour la mesure de la largeur du cours d'eau.
- Un mètre ruban pour la mesure de la profondeur de l'eau.
- Un chronomètre pour l'estimation de la vitesse du courant.
- Une paire de bottes.

Au laboratoire, le matériel suivant a été utilisé :

- Une loupe binoculaire.
- Une clé d'identification des macroinvertébrés benthiques.
- Des boîtes de pétri.
- Des pinces.
- Des tubes de conservation.
- De l'éthanol.
- De l'eau distillée.
- Une passoire.
- Des étiquettes pour l'identification des échantillons.
- Un carnet de notes pour consigner les résultats de l'identification.

Le matériel utilisé sur le terrain et au laboratoire est présenté dans le tableau 1 et 2 et sur la figure 9.

Chapitre III : Matériel et méthodes

Tableau 1 : Matériel utilisé sur le terrain

(1)	Filet Surber
(2)	Boîtes étiquetées
(3)	Multi paramètre HI 8424
(4)	Bottes
(5)	Décamètre
(6)	Mètre ruban
(7)	Conductimètre
(8)	Oxymètre

Tableau 2 : Matériel utilisé au laboratoire

(9)	Loupe binoculaire
(10)	Clé d'identification
(11)	Boîtes de pétri
(12)	Pinces
(13)	Tubes de conservation
(14)	Éthanol

Chapitre III : Matériel et méthodes



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)



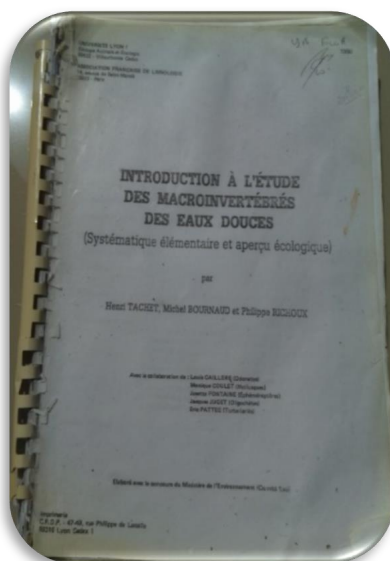
(7)



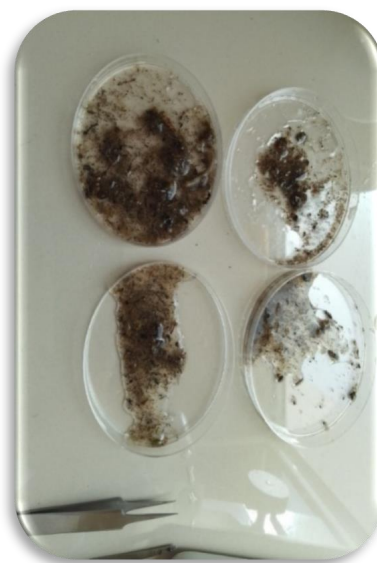
(8)



(9)



(10)



(11)



(12)



(13)



(14)

Figure 9 : Matériel utilisé sur le terrain et au laboratoire

III.1.2. Technique d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques :

Les prélèvements de la faune benthique ont été réalisés selon les techniques d'échantillonnage des eaux courantes peu profondes (Lamotte et Bourliere, 1971) à l'aide du Filet Surber de 300 µm de vide de maille.

Lors de l'échantillonnage, la base du filet est placée sur le fond du lit du cours d'eau, avec l'ouverture orientée face au courant. Les cailloux, morceaux de bois et branchages sont lavé à la main à l'intérieur du filet afin de détacher les organismes fixés. Le substrat est ensuite raclé sur une surface de 1/10 m², puis les prélèvements sont rincés à l'intérieure du filet (Benkebil, 2013). La faune ainsi récoltée est transférée dans des bocaux, puis une solution de formaldéhyde à 5% est ajoutée afin de fixer les organismes, préserver leur morphologie et limiter leur décomposition.

Six microhabitats ont été sélectionnés sur un tronçon d'environ 100 m du cours d'eau (Tableau 3), en tenant compte du couple vitesse du courant/substrat. Les échantillons ont ensuite été étiquetés puis transportés au laboratoire pour analyse.

Tableau 3 : Caractéristiques des microhabitats sélectionnés pour l'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

Microhabitats	Vitesse du courant	Substrat
(1)	Calme	Argile + galets
(2)	Calme	Sable + galets
(3)	Rapide	Galets +Graviers + sable
(4)	Moyenne	Cailloux + galets + sable
(5)	Moyenne	Sable + végétation
(6)	Stagnante	Argile +sable + Galets

III.1.3. Tri et identification au laboratoire :

Tri de la faune : La première étape consiste à extraire la faune associée aux débris végétaux et aux petits cailloux. Cette opération minutieuse s'effectue à l'aide de pinces entomologiques et de boîtes de Pétri, sous une loupe binoculaire.

Identification : L'identification des macroinvertébrés est effectuée par observation des spécimens à l'aide d'une loupe binoculaire, en utilisant la clé de détermination des macroinvertébrés aquatiques de Henri Tachet et al. (1980). Cette identification a permis de déterminer la classification taxonomique des organismes jusqu'aux niveaux de la classe, de l'ordre et de la famille.

III. 2. Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau :

Quatre paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ* au cours de la campagne de prélèvement : la température de l'eau, l'oxygène dissous, la conductivité électrique et le pH. Ces paramètres ont été mesurés à l'aide d'appareils portatifs appropriés.

a. Température de l'eau (T°) :

La température de l'eau a été mesurée *in situ* à l'aide du thermomètre intégré à l'appareil multi paramètre HI 8424. Les valeurs sont exprimées en degrés Celsius (°C).

b. Oxygène dissous (OD) :

L'oxygène dissous a été mesuré par un oxymètre, et les résultats sont exprimés en milligrammes par litre (mg/L). Selon Boutoux (1993), une diminution de la teneur en oxygène dissous dans le cours d'eau peut être révélatrice d'une pollution.

c. Conductivité électrique :

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre et les résultats sont exprimés en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

d. Potentiel hydrogène (pH) :

Le potentiel hydrogène a été mesuré par un multi paramètre HI 8424. Le pH constitue l'un des paramètres fondamentaux de la qualité de l'eau et varie sur une échelle allant de 0 à 14.

III.3. Analyse des données :

L'analyse de la composition de la faune benthique a été réalisée à l'aide de différents descripteurs écologiques, notamment la richesse taxonomique, l'abondance relative, l'indice de diversité de Shannon-Weaver et l'indice d'équitabilité de Pielou.

❖ Richesse taxonomique (S) :

La richesse taxonomique ou spécifique correspond au nombre total de taxons recensés dans un site donné à un moment déterminé (Boulinier et al., 1998). Elle constitue l'un des paramètres de base dans l'étude des communautés biologiques et représente un indicateur important de l'état de conservation des écosystèmes. Elle joue également un rôle crucial dans l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur l'environnement (Nicholas et al., 1998).

❖ L'abondance relative (P_i) :

L'abondance relative correspond à la proportion d'individus appartenant à un taxon donné par rapport au nombre total d'individus recensés.

$$P_i = n_i / N$$

Avec :

P_i : abondance relative du taxon i .

n_i : nombre d'individus du taxon i .

N : nombre total d'individus de tous les taxons.

❖ L'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') :

L'indice de Shannon-Weaver permet d'évaluer la diversité biologique d'un peuplement en tenant compte à la fois de la richesse taxonomique et de l'abondance relative des taxons (Gray et al., 1994).

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

Cet indice tient compte à la fois de la richesse taxonomique et de la répartition des individus entre les différents taxons. Il est faible lorsqu'un peuplement est dominé par un petit nombre de taxons, tandis qu'il est élevé lorsque le nombre de taxons est important et que leurs abondances sont réparties d'une manière équilibrée (Daget, 1976 ; Bachelet, 1979 ; Frontier, 1983). Son unité est le bit.

❖ L'indice d'équitabilité de Pielou (J') :

L'indice d'équitabilité de Evelyn Chrystalla Pielou (1966) est un indice complémentaire de celui de Shannon-Weaver. Il permet d'évaluer la régularité de la répartition des individus entre les différents taxons.

$$J' = H' / \ln(S)$$

Avec :

J' : indice d'équitabilité de Pielou.

H' : indice de Shannon-Weaver.

S : richesse taxonomique.

Chapitre III : Matériel et méthodes

Cet indice varie de 0 à 1, où 0 indique une dominance quasi totale d'une ou deux espèces, tandis qu'une valeur proche de 1 traduit une répartition équilibrée des individus entre les taxons.

Chapitre IV: Résultats **et interprétation**

IV. 1. Résultats des analyses physico-chimiques :

IV.1.1-Température :

La température de l'eau constitue un paramètre écologique fondamental des écosystèmes aquatiques. Elle influence notamment la solubilité des sels dissous et, plus particulièrement, celle des gaz tels que l'oxygène (Rodier, 1976). Elle joue également un rôle déterminant dans la distribution des invertébrés aquatiques (Lamberti et Resh, 1983). La température de l'eau est influencée par plusieurs facteurs physiques, notamment, le climat, la vitesse du courant, l'altitude ainsi que le degré d'ombrage assuré par la végétation riveraine.

Au cours de la période d'étude, la température de l'eau superficielle mesurée au niveau de la station T3 était de 16,5 °C, tandis que celle de l'air atteignait 22,1 °C. La température de l'eau, inférieure à celle de l'air, peut s'expliquer par l'inertie thermique du milieu aquatique, qui se réchauffe généralement plus lentement que l'atmosphère. Une température de 16,5 °C est considérée comme favorable au développement de nombreuses espèces de macroinvertébrés benthiques. De plus, les températures relativement modérées favorisent généralement une meilleure solubilité de l'oxygène dissous, contribuant ainsi au maintien de conditions propices à la vie aquatique. L'écart observé entre la température de l'eau et celle de l'air est cohérent avec le fonctionnement habituel des écosystèmes lotiques et pourrait traduire un milieu relativement stable et propice à la vie aquatique.

IV.1.2-Oxygène dissous :

L'oxygène dissous constitue l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux, car il est indispensable à la respiration de la majorité des organismes aquatiques hétérotrophes. Sa solubilité varie selon la température de l'eau, la pression atmosphérique et la salinité (Rodier, 1996). De faibles concentrations en oxygène dissous dans le cours d'eau peuvent traduire une dégradation de la qualité de l'eau, souvent associée à une pollution organique et à une activité microbienne élevée consommant l'oxygène disponible (Boutoux, 1993).

Au niveau de la station T3, La concentration en oxygène dissous mesurée est de 5,68 mg/L. Cette valeur traduit une oxygénation moyenne à bonne du cours d'eau et demeure compatible avec le développement de nombreuses espèces de macroinvertébrés benthiques. Toutefois, elle reste légèrement inférieure aux teneurs optimales observées dans les eaux très bien oxygénées, qui dépassent souvent 7mg/L (Wetzel, 2001 ; Allan et Castillo, 2007). Cette situation pourrait être liée à plusieurs facteurs, notamment la présence de matière organique en décomposition

entraînant une consommation accrue d'oxygène par les microorganismes, ainsi que la respiration importante des organismes aquatiques.

IV.1.3-pH :

Le pH mesure la concentration en ions hydrogène (H^+) dans l'eau et traduit son degré d'acidité ou d'alcalinité. Il constitue un paramètre important pour l'évaluation de la qualité de l'eau (Rodier,1996).

La valeur du pH mesurée au niveau de la station T3 est de 8,51. Cette valeur indique que l'eau présente un caractère légèrement alcalin. Un pH compris entre 6,5 et 8,5 est généralement considéré comme favorable au développement de la majorité des organismes aquatiques. La valeur enregistrée demeure donc compatible avec la vie aquatique.

IV.1.4-Conductivité :

La conductivité électrique constitue un indicateur de la minéralisation de l'eau, car elle reflète sa teneur en sels dissous ionisables. Une conductivité élevée traduit généralement une concentration importante en ions dissous (Rodier, 1976).

La conductivité électrique mesurée est de 1009 $\mu S/cm$. Cette valeur traduit une minéralisation relativement élevée de l'eau et témoigne de la présence significative d'ions dissous. Cette minéralisation peut être attribuée en grande partie à la nature géologique du bassin versant amont, dominé par des formations calcaires et dolomitiques d'âge jurassique. La dissolution de ces roches carbonatées enrichit naturellement les eaux en ions, ce qui contribue à l'augmentation de la conductivité électrique. Ainsi, l'eau de la station T3 peut être considérée comme modérément à fortement minéralisée.

IV.2. Résultats faunistiques :

IV.2.1. Composition faunistique globale des principaux groupes de macroinvertébrés benthiques de la station T3 :

L'étude a permis de recenser un total de 1450 individus de macroinvertébrés benthiques répartis en six taxons. La composition globale du peuplement met en évidence trois grands groupes : les insectes aquatiques, les oligochètes et les nématodes. Comme l'illustre la figure 10, les insectes constituent le groupe le plus abondant avec 56% de l'effectif total recensé. Les oligochètes occupent la deuxième position avec 32 % des individus, tandis que les nématodes représentent 12 % de l'effectif total.

Cette répartition traduit une nette prédominance des insectes au sein de la communauté benthique de la station étudiée.

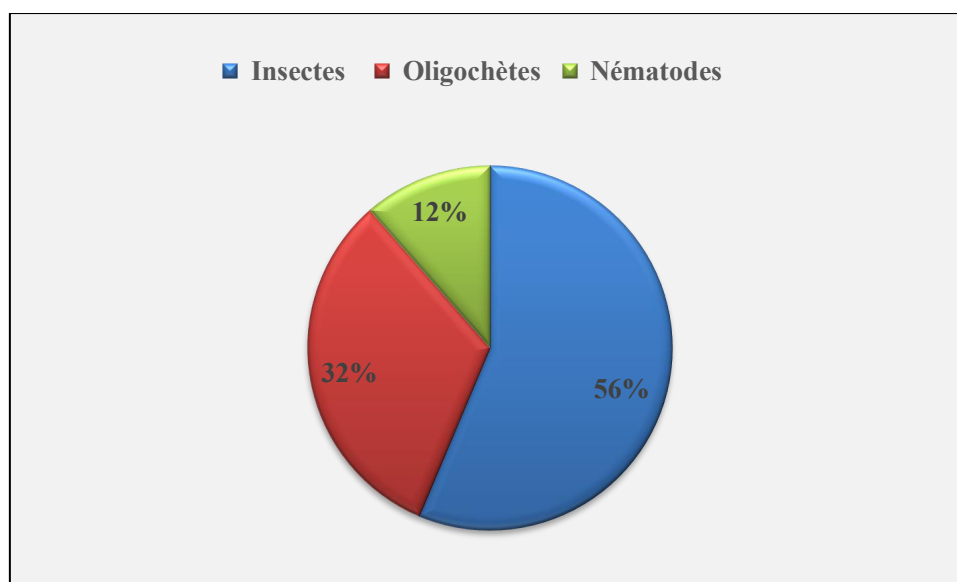


Figure 10 : Composition faunistique globale des macroinvertébrés benthiques de la station T3

IV.2.2. Comparaison des abondances relatives des différents microhabitats :

La répartition des macroinvertébrés benthiques entre les différents microhabitats montre une forte hétérogénéité des abondances (Figure 11). Le microhabitat 3 (MH3), caractérisé par un courant rapide et un substrat composé de galets, de graviers et de sable, concentre à lui seul 39 % de l'effectif total récolté, ce qui en fait le microhabitat le plus abondant de la station. Il est suivi du MH2, à courant calme et substrat constitué de sable et de galets, qui représente 18 % de l'effectif total, puis du MH1 (courant calme, argile et galets) avec 14 %.

Chapitre IV : Résultats et interprétation

Le MH5, caractérisé par un courant moyen et un substrat composé de sable et de végétation, contribue à hauteur de 12 % de l'effectif total. Il est suivi du MH4, également caractérisé par un courant moyen mais présentant un substrat composé de cailloux, de galets et de sable, qui représente environ 10 % des individus récoltés. À l'inverse, le MH6, caractérisé par des eaux stagnantes et un substrat argilo-sableux comportant des galets, présente l'abondance relative la plus faible avec seulement 7 % de l'effectif total.

Ainsi, les microhabitats présentant des substrats grossiers associés à des écoulements modérés à rapides semblent abriter les effectifs les plus importants, alors que les habitats à eaux stagnantes renferment des peuplements moins abondants.

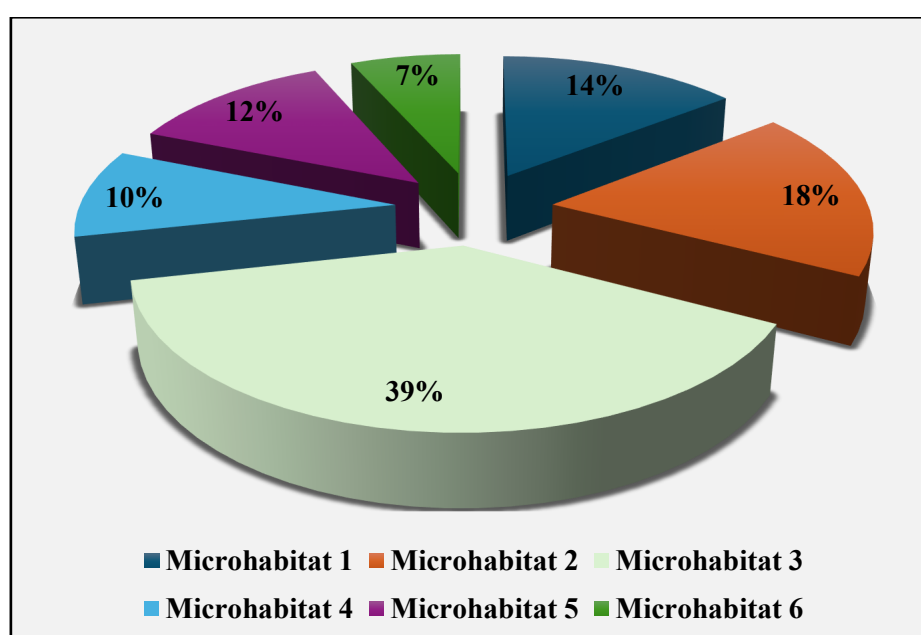


Figure 11 : Abondance relative des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats de la station T3

IV.2.3. Répartition des principaux groupes faunistiques dans les six microhabitats de la station T3

L'analyse de l'abondance relative des principaux groupes faunistiques montre une prédominance des insectes dans la majorité des microhabitats étudiés (Figure 12). Les insectes représentent respectivement 83 %, 71 %, 63 %, 56 % et 52 % des individus recensés dans les microhabitats MH1, MH5, MH2, MH4 et MH6. En revanche, le microhabitat MH3 se distingue par une dominance des oligochètes, qui constituent 48 % du peuplement, contre 39 % pour les insectes.

Chapitre IV : Résultats et interprétation

Les oligochètes occupent généralement la deuxième position dans les microhabitats MH2, MH4, MH5 et MH6, avec des abondances relatives variant entre 25 % et 34 %. Les nématodes sont présents dans l'ensemble des microhabitats mais avec des proportions plus faibles, comprises entre 4 % et 14 %.

Ainsi, la structure des peuplements benthiques varie selon les microhabitats, avec une dominance des insectes dans la plupart des habitats et une prédominance des oligochètes dans le microhabitat MH3.

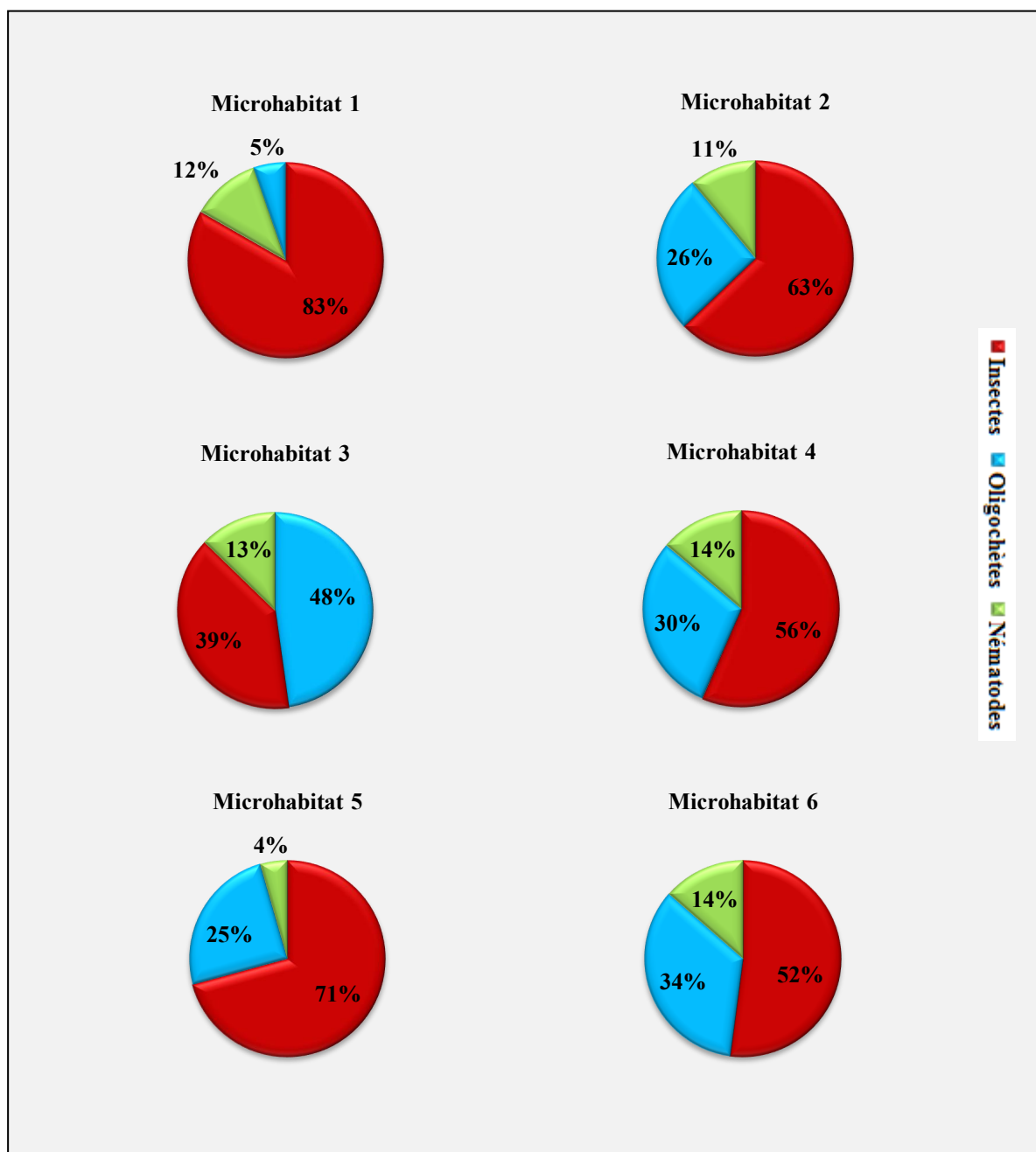


Figure 12 : Répartition des principaux groupes faunistiques dans les six microhabitats de la station T3

IV.2.3. Composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les six microhabitats

La composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques révèle une prédominance générale des Baetidae, qui constituent le groupe le plus abondant dans cinq des six microhabitats étudiés. Seul le microhabitat MH3 se distingue par une dominance des Oligochètes (Figure 13).

Le microhabitat MH1 est fortement dominé par les Baetidae, qui représentent 70 % de l'effectif total. Les Nématodes (12 %) et les Chironomidae (11 %) présentent des proportions comparables, tandis que les Oligochètes (5 %) et les Simuliidae (2 %) sont faiblement représentés.

Dans le MH2, les Baetidae demeurent le groupe dominant avec 43 % des individus recensés. Les Oligochètes occupent la deuxième position (26 %), suivis des Chironomidae (20 %) et des Nématodes (11 %). La répartition des taxons apparaît ainsi plus équilibrée que dans le MH1.

Le MH3 se distingue par une nette dominance des Oligochètes, qui constituent 48 % du peuplement. Les Baetidae représentent 26 % des effectifs, tandis que les Nématodes (13 %) et les Simuliidae (12 %) présentent des proportions relativement proches. Les Chironomidae demeurent peu abondants (1 %) et les Hydropsychidae n'apparaissent que de manière marginale (0,2 %).

Dans le MH4, les Baetidae constituent également le groupe dominant avec 37 % des individus. Ils sont suivis des Oligochètes (30 %) et des Simuliidae (18 %). Les Nématodes représentent 14 % du peuplement alors que les Chironomidae sont presque absents (1 %).

Le MH5 est caractérisé par une dominance des Baetidae (46 %). Les Oligochètes (25 %) et les Simuliidae (21 %) occupent également une part importante du peuplement. Les Chironomidae (4 %) et les Nématodes (4 %) sont moins représentés.

Enfin, dans le MH6, les Baetidae demeurent le groupe le plus abondant avec 40 % des effectifs, suivis des Oligochètes (34 %). Les Nématodes (14 %) et les Chironomidae (11 %) présentent des proportions relativement similaires, tandis que les Simuliidae ne représentent qu'environ 1 % du peuplement.

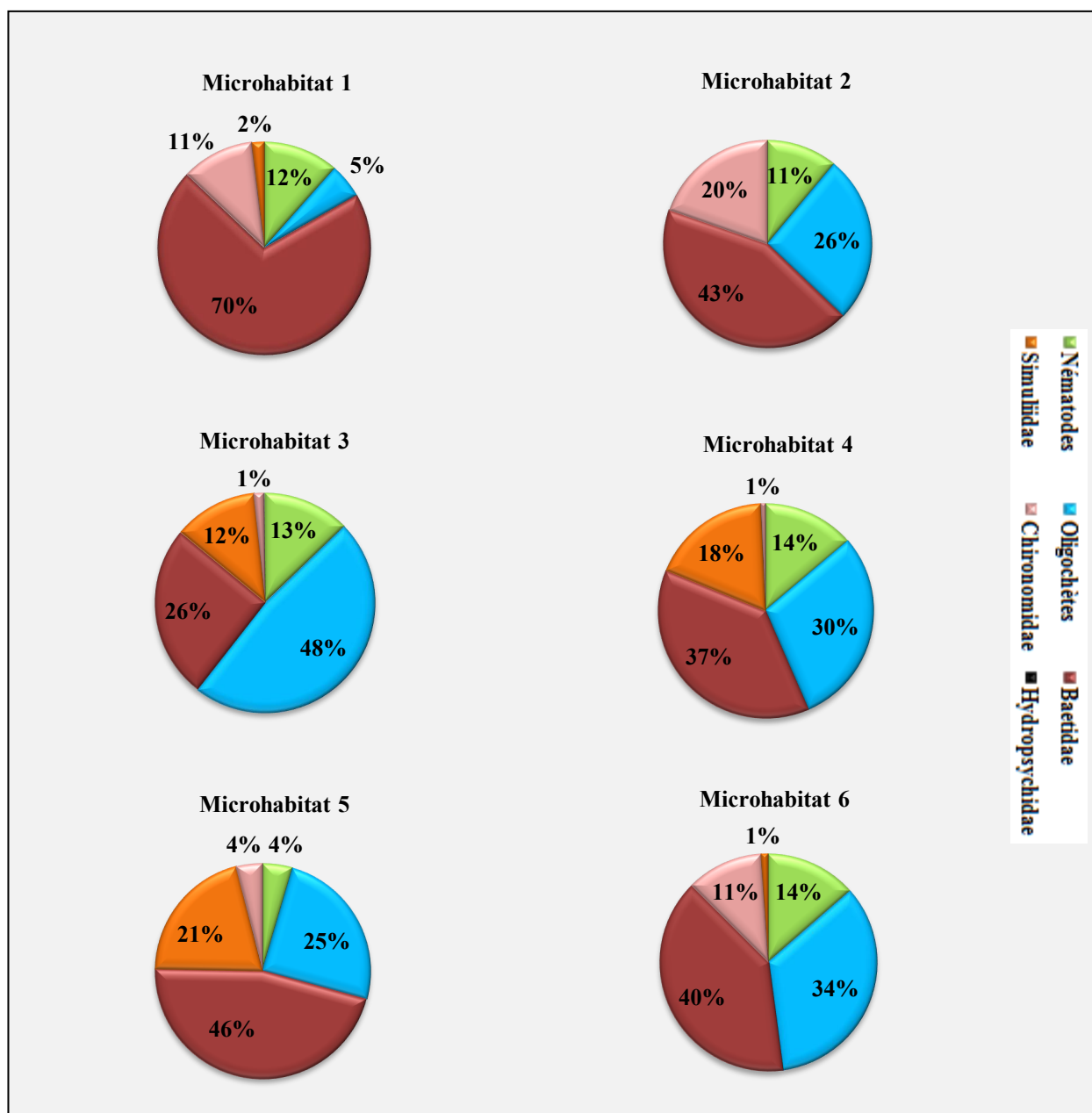


Figure 13 : Composition taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les six microhabitats

IV.3. Structure des communautés :

La structure des communautés benthiques observées au niveau des différents microhabitats a été évaluée à l'aide de la richesse taxonomique, de l'indice de diversité de Shannon-Weaver et de l'équitabilité de Pielou. Les valeurs obtenues mettent en évidence des variations entre les microhabitats, traduisant des différences dans l'organisation des peuplements et dans la répartition des individus entre les taxons présents.

IV.3.1. Richesse taxonomique :

L'analyse faunistique a permis d'identifier un total de six taxons au niveau de la station étudiée. La richesse taxonomique varie faiblement entre les différents microhabitats, avec des valeurs comprises entre 4 et 6 taxons (Figure 14).

Le microhabitat 3 présente la richesse taxonomique la plus élevée avec 6 taxons. Les microhabitats 1, 4, 5 et 6 affichent une richesse intermédiaire et identique de 5 taxons chacun. La valeur la plus faible est observée dans le microhabitat 2, qui ne compte que 4 taxons.

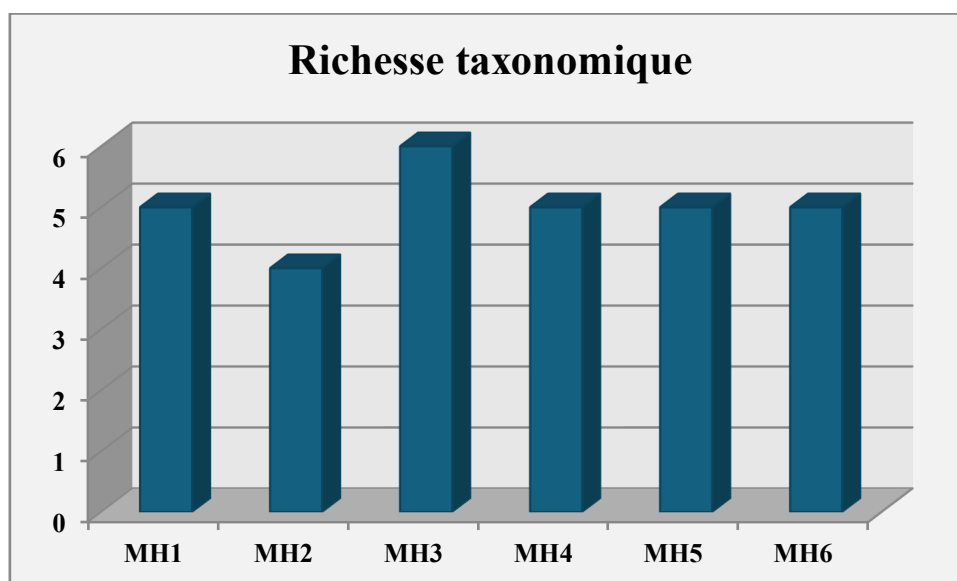


Figure 14 : Variation de la richesse taxonomique des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats

IV.3.2. Indice de Shannon-Weaver (H'):

Les valeurs de L'indice de Shannon-Weaver varient entre 0,97 et 1,35 selon les microhabitats étudiés (Figure 15).

La valeur la plus faible est enregistrée le MH1 ($H' = 0,97$), tandis que la valeur la plus élevée est observée dans le MH4 ($H' = 1,35$). Les microhabitats 2, 3, 5 et 6 présentent des valeurs intermédiaires comprises entre 1,28 et 1,30.

Dans l'ensemble, l'indice de diversité de Shannon-Weaver montre des variations relativement faibles entre les différents microhabitats, avec une diversité légèrement plus élevée dans les microhabitats 4, 5 et 6 que dans le microhabitat 1.

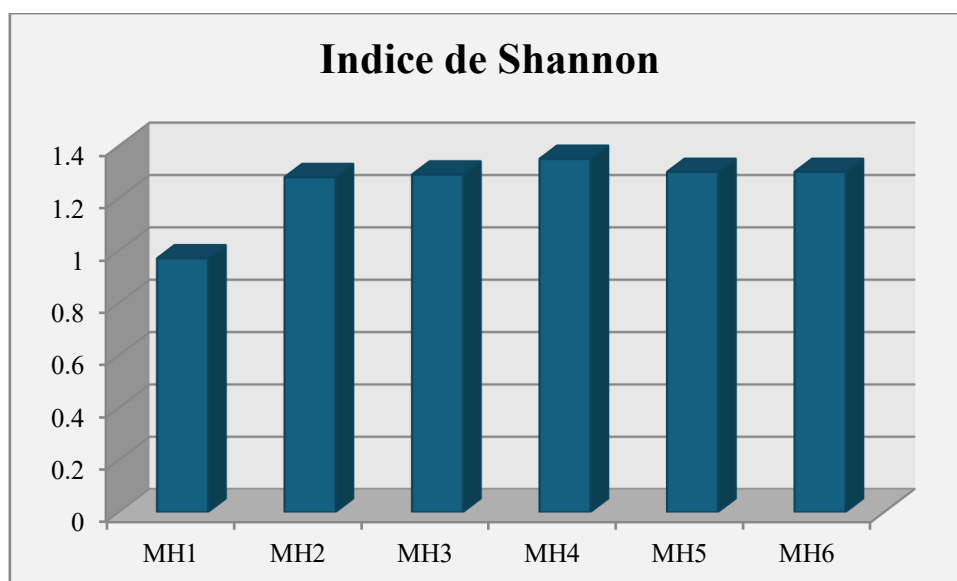


Figure 15 : Variation de l'indice de diversité de Shannon-Weaver des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats

IV.3.3. Indice d'équitabilité de Pielou (J') :

Les valeurs de l'indice d'équitabilité de Pielou (J') oscillent entre 0,60 et 0,92 selon les microhabitats étudiés (figure 16).

La valeur la plus faible est observée dans le MH1 ($J' = 0,60$), indiquant une répartition moins homogène des individus entre les taxons présents. À l'inverse, le MH2 présente la valeur la plus élevée ($J' = 0,92$), traduisant une distribution plus équilibrée des effectifs.

Les microhabitats 3, 4, 5 et 6 affichent des valeurs intermédiaires comprises entre 0,72 et 0,84, révélant une répartition relativement homogène des individus au sein des communautés benthiques.

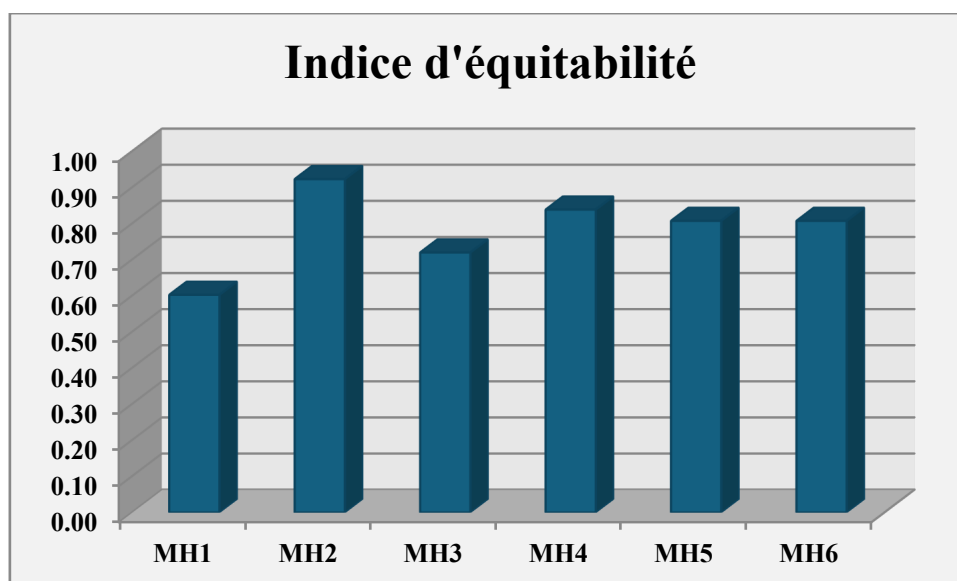


Figure 16 : Variation de l'indice d'équitabilité de Pielou des macroinvertébrés benthiques dans les différents microhabitats

Discussion

Discussion

L'analyse faunistique au niveau de la station T3 a fait ressortir un total de 1450 individus répartis en six taxons. La communauté benthique est nettement dominée par les insectes aquatiques, qui représentent plus de la moitié des effectifs recensés. Cette prédominance est fréquemment observée dans les cours d'eau où les insectes constituent généralement le groupe le plus diversifié et le mieux adapté aux variations hydrodynamiques du milieu (Tachet et al., 2010). Les insectes aquatiques occupent en effet une grande variété de niches écologiques et exploitent différents types de ressources alimentaires, ce qui favorise leur succès dans les écosystèmes lotiques (Thorp et Covich, 2001).

Parmi les insectes, les Baetidae apparaissent comme le taxon dominant dans la majorité des microhabitats. Cette forte représentation témoigne de la capacité de cette famille à coloniser une grande diversité de conditions hydromorphologiques (Tachet et al., 2010). Les larves de Baetidae possèdent des adaptations morphologiques et comportementales qui leur permettent de se maintenir aussi bien dans les zones à courant modéré que dans les secteurs plus dynamiques. Leur abondance dans la plupart des microhabitats de la station T3 suggère que les conditions environnementales rencontrées sont globalement favorables à leur développement. Plusieurs auteurs ont d'ailleurs souligné le caractère ubiquiste de cette famille dans les cours d'eau méditerranéens et nord-africains (Gattolliat et al., 2023).

L'un des résultats les plus remarquables de cette étude concerne l'importante hétérogénéité spatiale observée entre les microhabitats. Le microhabitat MH3, caractérisé par un courant rapide et un substrat composé de galets, de graviers et de sable, concentre à lui seul près de 40 % des individus recensés. Cette forte abondance peut être expliquée par la combinaison de plusieurs facteurs écologiques. Les substrats grossiers limitent l'accumulation excessive des sédiments fins et offrent de nombreuses surfaces de fixation et de refuge contre le courant pour les macroinvertébrés benthiques, tandis que l'écoulement rapide favorise le renouvellement de l'oxygène et l'apport continu de particules organiques et de ressources alimentaires. La présence importante des Simuliidae dans ce microhabitat confirme cette tendance, ces organismes, dont les larves, étant fréquemment associés et adaptés aux eaux courantes et bien oxygénées où ils se fixent sur les substrats solides afin de filtrer les particules alimentaires transportées par le courant (Tachet et al., 2010). Cette situation met en évidence l'importance de l'hétérogénéité physique des habitats dans l'organisation des communautés benthiques. Selon Allan et Castillo (2007), les habitats présentant une diversité de substrats élevée hébergent généralement des peuplements plus abondants et plus diversifiés que les habitats homogènes. La dominance des Oligochètes dans le microhabitat MH3 constitue toutefois une particularité intéressante. Bien que ce groupe soit souvent associé aux substrats fins riches en matière

Discussion

organique, sa forte représentation dans ce microhabitat pourrait être liée à la présence d'une fraction sableuse associée aux galets et aux graviers. Cette combinaison de substrats offre des conditions écologiques diversifiées susceptibles de favoriser l'installation de plusieurs groupes benthiques, dont les Oligochètes. Ce résultat suggère que la composition du substrat joue un rôle important dans la structuration des peuplements observés.

À l'inverse du microhabitat 3, le microhabitat MH6, caractérisé par des eaux stagnantes et un substrat argilo-sableux, présente les abondances les plus faibles. Les milieux à faible courant offrent généralement moins d'oxygénation et favorisent l'accumulation de sédiments fins susceptibles de colmater les interstices du substrat (Mitsch et Gosselink, 2015). Ces conditions réduisent souvent le nombre de microhabitats disponibles pour les organismes benthiques et peuvent limiter l'installation de certains taxons rhéophiles.

L'analyse de la richesse taxonomique montre des variations relativement faibles entre les microhabitats, avec des valeurs comprises entre quatre et six taxons. Toutefois, le microhabitat MH3 présente la richesse la plus élevée, ce qui renforce l'hypothèse d'un effet positif de l'hétérogénéité du substrat sur la diversité biologique. La diversité des conditions offertes par les galets, les graviers et le sable permet en effet la création de multiples niches écologiques susceptibles d'être exploitées par plusieurs groupes faunistiques. En revanche, les milieux à courant stagnant, notamment le microhabitat 6, semblent moins favorables au développement d'une faune abondante, probablement en raison de l'accumulation des particules fines et d'une oxygénation plus faible.

Les indices de diversité apportent des informations complémentaires sur l'organisation des communautés. La valeur la plus faible de l'indice de Shannon observée dans le MH1 s'explique probablement par la forte dominance des Baetidae, qui représentent à eux seuls 70 % des effectifs. Une telle dominance réduit la diversité effective du peuplement malgré la présence d'autres taxons. Cette interprétation est confirmée par les valeurs de l'indice d'équitabilité de Pielou. La faible valeur a été enregistrée dans le MH1, traduisant une forte domination d'un nombre limité de taxons, ce qui coïncide avec une représentation plus importante des Baetidae dans ce microhabitat. Ces résultats soulignent que la diversité biologique ne dépend pas uniquement du nombre de taxons présents mais également de la manière dont les individus se répartissent entre ces taxons.

Dans l'ensemble, cette étude met en évidence le rôle déterminant des caractéristiques des microhabitats, notamment la vitesse du courant et la nature du substrat, dans la structuration des communautés benthiques de la station T3 de la Tafna. Les habitats présentant des substrats diversifiés et des écoulements modérés à rapides semblent offrir les conditions les plus

Discussion

favorables au maintien d'abondances élevées et d'une diversité relativement importante. Ces résultats soulignent l'importance de la conservation de l'hétérogénéité physique des habitats dans le fonctionnement écologique des cours d'eau de la haute Tafna et dans le maintien de leur biodiversité benthique.

Conclusion

Conclusion

La présente étude a permis de caractériser la composition et la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques au niveau de la station T3 de la haute Tafna, en mettant l'accent sur l'influence des différents microhabitats sur leur répartition.

Les mesures physico-chimiques ont révélé des conditions globalement favorables au développement de la faune aquatique, caractérisées par une température modérée, une oxygénation satisfaisante, un pH légèrement alcalin et une minéralisation relativement élevée liée au contexte géologique du bassin versant.

L'analyse faunistique a permis de recenser 1450 individus répartis en six taxons. Les insectes aquatiques constituent le groupe dominant de la communauté benthique, suivis par les Oligochètes et les Nématodes. Parmi les insectes, les Baetidae représentent le taxon le plus abondant dans la majorité des microhabitats étudiés, témoignant de leur grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales rencontrées.

Les résultats ont également mis en évidence une forte variabilité spatiale des peuplements benthiques selon les microhabitats. Les habitats caractérisés par des substrats diversifiés et des écoulements modérés à rapides, notamment le microhabitat MH3, présentent les abondances les plus élevées ainsi que la richesse taxonomique la plus importante. À l'inverse, les habitats à eaux stagnantes et à substrats fins abritent des effectifs plus faibles.

L'analyse des indices de diversité a montré que les différences entre microhabitats sont davantage liées à la répartition des abondances entre les taxons qu'au nombre de taxons présents.

Cette étude souligne l'importance de l'hétérogénéité des habitats dans le maintien de la biodiversité benthiques au sein de la station étudiée et confirme ainsi le rôle fondamental du courant et de la nature du substrat dans l'organisation des peuplements de macroinvertébrés benthiques. Elle met également en évidence l'intérêt de ces organismes comme outils d'évaluation écologique des cours d'eau. Enfin, ces résultats constituent une contribution à la connaissance de la biodiversité benthique de la haute Tafna et peuvent servir de référence pour de futurs travaux de suivi écologique et de gestion durable des écosystèmes aquatiques de la région.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

1. Aissata, A., Mamadou, M., Oumarou, A., & Mahamane, A. (2018). Bioindication de la qualité des eaux par les macro-invertébrés benthiques dans les écosystèmes aquatiques continentaux. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(1), 1–15.
2. Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: structure and function of running waters*. Dordrecht : Springer Netherlands.
3. Ammouri, R. (2014). Les coléoptères aquatiques du bassin versant de la Tafna (mémoire de Magister, université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, Algérie) ;
4. Angelier, E. (2000). *Écologie des eaux courantes*. Tec & Doc.

B

5. Bachelet, G. (1979). *Dynamique de la macrofaune benthique et production des lamellibranches de l'estuaire de la Gironde* [Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université Pierre et Marie Curie -Paris VI].
6. Balian, E., Segers, H., Martens, K., & Lévêque, C. (2008). An introduction to the Freshwater Animal Diversity Assessment (FADA) project. *Hydrobiologia*, 595(1), 3–8.
7. Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish* (2nd ed., EPA 841-B-99-002). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.
8. Beat, O., & Pierre, A. (2013). *Mares et étangs : Écologie, conservation, gestion, valorisation*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
9. Belaidi, N., Taleb, A., & Gagneur, J. (2004, September). Composition and dynamics of hyporheic and surface fauna in a semi-arid stream in relation to the management of a polluted reservoir. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 40, No. 3, pp. 237-248). EDP Sciences.
10. Belarbi, F. (2010). *Étude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la Tafna* [Mémoire de magister, Université de Tlemcen].
11. Bemoussat-Dekkak, S., et Abdellaoui-Hassaine, K. (2017). Contribution à l'étude des communautés des Trichoptères du bassin versant de la Tafna. *Agrobiologia*, 7(2), 471-482.
12. Bemoussat-Dekkak, S. (2022). *Taxonomie, écologie et statut des Trichoptères de l'Ouest algérien* [Thèse de doctorat, Université de Tlemcen].

Références bibliographiques

13. Benabdelkader, M. (2019). Sources et transferts des éléments majeurs et traces dans le bassin versant de la Tafna (Algérie) : Approches géochimiques et hydrochimiques [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse ; Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen].
14. Benhadji, N. (2020). Caractérisation taxonomique, phylogénétique des Ephéméroptères Schistonotes du bassin versant de la Tafna (Ouest algérien) [Thèse de doctorat, Université de Tlemcen].
15. Benkebil, Z. (2013). Distribution verticale de la faune hyporhéique dans la haute Tafna [Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaïd].
16. Benkebil, Z., Taleb, A., Zenagui, I., & Belaidi, N. (2021). Changes in the vertical distribution of hyporheic and benthic fauna associated with low flow conditions in the headwaters of the Tafna river (northwest Algeria). *Limnology*, 22(1), 69-80.
17. Beschta, R. L., & Platts, W. S. (1986). Morphological features of small streams: Significance and functions. *Water Resources Bulletin*, 22(3), 369–379.
18. Black, S. H., & Vaughan, M. (2009). Endangered insects. In *Encyclopedia of insects* (pp. 320-324). Academic Press.
19. Blondel, J. (1979). *Biogéographie et écologie*. Masson.
20. Bouanani, A., Baba-Hamed, K., et al. (2016). Modelling hydrology and sediment transport in a semi-arid and anthropized catchment using the SWAT model: The case of the Tafna River (Northwest Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 29(1), 3–14.
21. Boucenna, H. (2023). Les macroinvertébrés benthiques de la région de Collo [Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma]. Laboratoire de Conservation des Zones Humides.
22. Bouloignier, T., Nichols, J. D., Sauer, J. R., Hines, J. E., & Pollock, K. H. (1998). Estimating species richness: The importance of heterogeneity in species detectability. *Ecology*, 79(3), 1018–1028.
23. Boutoux, J. (1993). Introduction à l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eau de boisson (qualité et santé). CEBEDOC, Québec. 169 p.
24. Brusca, R. C., Moore, W., & Shuster, S. M. (2016). *Invertebrates* (3rd ed.). Sinauer Associates. ISBN 978-1605353753.

C

25. Chaoui Boudghane-Bendiouis, C., Belqat, B., Hassaine-Abdellaoui, K., & Yadi, B. (2012). Check-list des simulies (Diptera: Simuliidae) d'Algérie. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 50, 305–308

Références bibliographiques

26. Chaoui Boudghane-Bendiouis, C. (2015). Caractérisation et modélisation des habitats des Simulies (Diptera : Simuliidae) du bassin versant de la Tafna (Thèse de doctorat). Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie
27. Colbo, M. H., & Porter, G. N. (1979). Effects of the food supply on the life history of Simuliidae (Diptera). *Canadian Journal of Zoology*, 57(2), 301–306.
28. Collignon, B. (1986). Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie) [Thèse de doctorat nouveau régime, Université d'Avignon].

D

29. Daget, J. (1976). Les modèles mathématiques en écologie. Masson.
30. Decamps, H., Larrouy, G., & Trivellatto, D. (1975). Approche hydrodynamique de la micro distribution d'invertébrés benthiques en eau courante. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 11(2), 145–157.
31. Diomandé, D., Gourène, G., & de Morais, A. L. (2001). Stratégies alimentaires de *Synodontis bastiani* (Siluriformes : Mochokidae) dans le complexe fluvio-lacustre de la Bia, Côte d'Ivoire. *Cybiu* 25 (1) : 7-21.
32. Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182.
33. Dynesius, M., & Nilsson, C. (1994). Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, 266(5186), 753–762.

F

34. Ferguani, N., & Arab, A. (2013). Impact des facteurs environnementaux sur les communautés de macroinvertébrés benthiques dans les cours d'eau du nord-est algérien. *Revue des Sciences de l'Eau*, 26(2), 109–120.
35. Frontier, S. (1976). Utilisation des diagrammes rangs-fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *Journal de Recherches Océanographiques*, 1(3), 35–48.
36. Frontier, S. (1983). Stratégie d'échantillonnage en écologie. Masson.

G

37. Gagneur, J., & Aliane, N. (1991) Contribution à la connaissance des plécoptères d'Algérie. In *Overview and strategies of Ephemeroptera and Plecoptera* (pp. 311-323). Sandhill Crane Press.

Références bibliographiques

38. Gagneur, J., & Chaoui-Boudghane, C. (1991). Sur le rôle du milieu hyporhéique pendant l'assèchement des oueds de l'ouest algérien. *Stygologia*, 6, 77–89.
39. Gagneur, J., & Clergue-Gazeau, M. (1988). Les Simulies d'Algérie (Diptera : Simuliidae). I. Premières données biogéographiques et écologiques sur les espèces de l'Ouest-algérien. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 24(3), 275–284.
40. Gattoliat, J.-L. (2002). Etude systématique cladistique et biogéographique des Baetidae (Ephéméroptères) de Madagascar (Thèse de doctorat, Université de Lausanne, 19-22p.).
41. Gattoliat, J.L., Samraoui, B., Benhadji, N., Kechemir, L., Zrelli, S., El Yaagoubi, S., El Moutaouakil, M.E.A., & Sartori, M. (2023). Baetidae (Ephemeroptera) in the Maghreb : State of the art, key, and perspectives. *Zookeys*, 1139, 137-163.
42. Genin, B., Chauvin, C., & Ménard, F. (2003). Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes, IBGN. 2ème éditions. Educagri, Paris, 221p.
43. Giudicelli, J., Dakki, M., & Dia, A. (1985). Caractéristiques abiotiques et hydrobiologiques des eaux courantes méditerranéennes. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 22(4), 2094–2101.
44. Gnohossou, P.M. (2006). La faune benthique d'une lagune Ouest Africaine (Le Lac Nokoue Au Benin), diversité, abondance, Variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique. Thèse Présentée en vue de l'obtention du Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.
45. Gray, R. D., & Kenney, M. (1994). Perceptual constraints on optimal foraging: A reason for departures from the ideal free distribution. *Animal Behaviour*, 47(2), 469–471.
46. Greenhalgh, M., Ovenden, D., & Saint-Girons, A. (2009). La vie des eaux douces. Delachaux et Niestlé.

H

47. Hamzaoui, D. (2015). Étude de la répartition des macroinvertébrés benthiques de l'oued Saoura (Wilaya de Béchar) [Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB)].
48. Haouchine, S. (2011). Recherche sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie [Mémoire de magister, Université de Tizi Ouzou].
49. Hart, D. D. (1986). The adaptive significance of territoriality in filter-feeding larval black flies (Diptera: Simuliidae). *Oikos*, 46(1), 88–92.
50. Hauer, F. R., & Resh, V. H. (2017). Macroinvertebrates. In F. R. Hauer & G. A. Lamberti (Eds.), *Methods in Stream Ecology: Volume 1* (3rd ed., pp. 297–319). Academic Press.

Références bibliographiques

51. Hellawell, J. M. (1986). Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publishers.

J

52. Jurd, D. R. (2000). L'essentiel en biologie animale. Port Royal Livres.

L

53. Lamarck, J. (2003). Les Mollusques. Dans Nouveau dictionnaire d'histoire de la nature
54. Lamberti GA Resh VH., 1983. Stream periphyton and insect herbivores: an experimental study of grazing by a caddisfly population. Ecology. 64:1124-1135.
55. Lamotte, M., & Bourlière, F. (1971). Problèmes d'écologie : L'échantillonnage des peuplements animaux des milieux aquatiques. Masson et Cie.
56. Lécuyer, C., & Benoit, A. (2017). Ecologie générale. Dunod (p. 321).
57. Leraut, P. (2003). Les insectes : Classification et clés de détermination des principales familles. Delachaux et Niestlé.
58. Levins, R. (1979). Coexistence in a variable environment. The American Naturalist, 114(6), 765–783.
59. Lounaci, A., Brosse, S., & Lek, S. (2000). Abondance, diversité et structure de la communauté de macroinvertébrés dans un cours d'eau algérien : Le Sébaou Oued. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, 36(2), 123–133.

M

60. Mary, N. (2017). Les macro-invertébrés benthiques des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie : Guide d'identification. DAVAR Nouvelle-Calédonie, OEIL, CNRT.
61. Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America (3rd ed.). Kendall Hunt.
62. Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2008). An introduction to the aquatic insects of North America (4th ed.). Kendall/Hunt Publishing Company.
63. Mitsch, W.J., (2015). Ecology of freshwater and estuarine wetlands (5th ed). John Wiley & Sons.
64. Moisan, J. (2008). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 : Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.

Références bibliographiques

65. Moisan, J. (2010). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 - Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Ministère de l'Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.
66. Moisan, A. (2010). Morphologie et classification des larves aquatiques. [Support technique/Rapport].
67. Moubayed, J., Ait-Mouloud, s., & Lounaci, A. (1992). LES Chronomidae (diptera) d'Algérie. I : Bassin de l'Oued Aissi (Grande kabylie). Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen, 41(1), 21-29.
68. Musy, A., & Higy, C. (2004). Hydrologie : Une science de la nature (Vol. 21). Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

N

69. Nicholas, J. D., Sauer, J. R., Hines, J.E., Pollock, K.H., & Boulonnier, T. (1998). Estimating species richness: The importance of heterogeneity in species detectability. *Ecolgie*, 73(3), 1018.

P

70. Pielou, E. C. (1966). The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 13, 131–144.

R

71. Ramade, F. (1998). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau : Biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. Éd science International.
72. Remaoun, K. (2003). Le bassin-versant de l'Oued Tafna (Algérie occidentale) : Mise en place du réseau hydrographique et processus morphogéniques à l'origine de l'organisation du bassin. *Cahiers de géographie (Collection EDYTEM)*, 1(1), 73–82.
73. Remini, B. (2005). La problématique de l'eau en Algérie. Office des Publications Universitaires.
74. Rodier J., 1976. Analyse des eaux. Dunod-5^{ième} Edition.
75. Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau, aux naturelles-eaux résiduares-eau de mer, 8^{ème} edt Dunod. 1383p.
76. Rouissait, B. (2016). Analyse systémique appliquée aux aménagements hydrauliques. Thèse de Doctorat. Univ Tlemcen. 260p.

Références bibliographiques

77. Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall.
78. Ruppert, E. E., Fox, R. S., & Barnes, R. D. (2004). Invertebrate zoology: A functional evolutionary approach (7th ed.). Thomson-Brooks/Cole.

S

79. Samraoui, B., et Menai, R. (1999). A Contribution to the study of freshwater biodiversity in Algeria. *Hydrobiologia*, 392, 183-193.

T

80. Tachet, H., Gaschingnard-Fossati, O., Cellot, B., & Berly, A. (1988). Le macrobenthos de la Saône. *Annales de Limnologie-international Journal of Limnology*, 24 (1), 83-100.
81. Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2003). Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie (2e éd.). CNRS Éditions.
82. Tachet, H., Philippe, R., Michel, B., & Philipe, U.P. (2006). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS 2ème Edition. Paris. P10.
83. Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2010). Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie. CNRS Éditions.
84. Taleb, A. (2004). Étude du fonctionnement de l'écosystème oued. Rôle du milieu hyporhéique dans l'évolution de la qualité des eaux en aval du barrage de Hammam Boughrara sur la Tafna [Thèse de doctorat, Université de Tlemcen].
85. Thorp, J. H., & Covich, A. P. (Eds.). (2009). Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic press.
86. Thorp, J. H., & Covich, A. P. (Eds.). (2010). Ecology and classification of North American freshwater invertebrates (3rd ed.). Academic Press.
87. Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (2011). Introduction to freshwater invertebrates in the phylum Arthropoda. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field guide to freshwater invertebrates of North America* (pp. 109–119). Academic Press.
88. Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (Eds.). (2015). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Ecology and General Biology (4th ed.). Academic Press.

Références bibliographiques

89. Touzin, D., & Roy, M. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval.

W

90. Walter, D. E., & Proctor, H. C. (1999). Mites: Ecology, evolution and behavior. University of New South Wales Press.
91. Water Framework Directive (WFD). (2003). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC): Guidance document No. 7 – Monitoring under the Water Framework Directive. European Communities.
92. Wetzel, R.G. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems (3 ed). Academic press.
93. Wiggins, G. B. (1996). Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera) (2nd ed.). University of Toronto Press, Toronto

Z

94. Zekri, N. (2003). Étude hydrologique et géomorphologique du bassin versant de la Tafna (Mémoire de Magister). Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
95. Zekri, N., & Tounkob, A. (2021). Cartographie de la vulnérabilité potentielle des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tafna (Nord-Ouest Algérien). Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 9(4), 608–615.
96. Zettam, A. (2018). Transfert des nitrates du bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) vers la mer Méditerranée - Approche couplant mesures, modélisation et changement d'échelle vers les grands bassins versants Nord africains [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse ; Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen].