

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AMAR TELIDJI – LAGHOUAT
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Spécialité : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences écologiques

Option : Ecologie végétale et environnement

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Evaluation de la diversité des macro-invertébrés benthiques et de la
qualité des cours d'eau dans la région de Laghouat (Oued M'zi)**

Présenté par :

- **Boumegouas Mohammed Tahar**
- **Boutaleb Ahmed Imad Eddine**

Devant le jury composé de :

- | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|------|
| ➤ Président: | Dr. Boumeddiene Mohammed Abdelmadjid | UATL |
| ➤ Examineurs : | Dr. Bensouilah soufyane | UATL |
| | Dr. Youcefi Mustafa Naceur | UATL |
| ➤ Rapporteur : | Dr. Ghougali Fayssal | UATL |

Juin 2025

Remerciements

*Je remercie en premier lieu Dieu tout puissant de m'avoir accordé
La puissance et la volonté pour achever ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Dr.
Ghougali Fayssal, Encadreur du mémoire pour son suivi, ses
Conseils judicieux et ses discussions qui m'ont beaucoup aidé au cours de mes
Recherches.*

*Je remercie également Monsieur Dr. **Boumeddiene Mohammed
Abdelmadjid**, enseignant-chercheur à l'université de Laghouat, d'avoir accepté
de se joindre à ce jury comme Président de jury.*

*Je tiens également à adresser mes remerciements à Monsieur le Dr **Bensouilah
Soufyane** et au Dr **Youcef Mustafa Naceur**, enseignants-chercheurs à
l'Université de Laghouat, pour avoir accepté d'être examinateurs et membres
de ce jury*

*Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de
loin à la réalisation de ce projet de fin d'étude*

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلى من غرسوا في قلبي حبّ العلم، وأمدّوني بالقوة والدعاء، إلى من كانت خطواتهم النور الذي رافق دربي منذ البداية...
إلى والدتي الحبيبة، ووالدي العزيز، نبض قلبي وسرّ ثباتي،
وإلى أخي وأختي
أهدي هذا العمل بكل امتنانٍ ومحبة، عرفانًا بجميل عطائكم ودعمكم غير المشروط.

كما أخصّ بالشكر والتقدير شريكي في مذكرة التخرج، عماد، لما تحلّى به من جدّية وروح تعاونية عالية ساهمت في إنجاح هذا العمل.

وامتنانٌ خاص إلى بوعيشة، صديقي الذي كان دومًا الحاضر في أوقات الضيق قبل الفرح.

ثم إلى رفاقي، دفعة "البيئة النباتية والمحيط"،

رفاق اجتمعنا في مدرجات الدروس، وفي لحظات الجد والتعب.

لكم جميعًا:

عبد القادر، وسام، صورية، أمينة، خديجة، عوالي، صبرين، أشواق، أمال، فاطمة، زينب، عزالدين، بوقادة، رحمة، إلياس، ريم،
أماي، رحمة.

أقول:

لقد كنتم النبض الأخضر في أيامي الجامعية، ولن تذبل ذكراكم في الذاكرة.

بومقواس محمد الطاهر

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلى من كانا سببًا في وجودي، ودعمهما دعامة أساسية في مسيرتي...
إلى والدي العزيز بن يعقوب، صاحب القلب الكبير والنصيحة الصادقة،
وإلى والدي الحنون فتحة، منارة الحنان والدعاء الهادئ في الليالي الصعبة...
كل كلمات العالم لا تفيكما حقكما، فلكما مني أصدق الحب والامتنان.

إلى عائلتي الكريمة، التي كانت دومًا مصدرًا للقوة والدعم،
شكرًا لكم على ما قدمتموه لي من حب وثقة لا تقدر بثمن.

إلى أصدقائي الأعتاء الذين كانوا لي سندًا في كل المراحل:

وسام، صابرين، صورية، أشواق، أمينة، خديجة، عوالي، آمال، فاطمة، رحمة، ريم، زينب، أماني، عزوز، عز الدين، بلقاسم، عبد
القادر، أميرة،
لكم مني كل الاحترام والمحبة والتقدير.
وإلى صديقي الصادقين بوعيشة ورامي، اللذين بذلا معي جهدًا مضاعفًا، وشاركاني التعب قبل الفرح،
لكما مني إهداء خاص وامتنان لا يُقاس بالكلمات.

كما لا أنسى أن أوجه شكرًا عامًا لكل الأصدقاء الذين تركوا بصمتهم في هذه الرحلة، ولو بكلمة طيبة أو لحظة دعم
صادقة.

وإلى أخي ورفيق الإنجاز محمد بومقواس، شكرًا لك على كل ما بذلته معي من جهد وصبر، فبفضل تعاونك ومثابرتك،
كانت هذه المذكرة ممكنة التحقيق.

وفي الختام،

قد تطوى صفحات هذه المذكرة، لكن صفحات الطموح لا تنتهي... فلكل نهاية بداية، ولكل تعب ثمرة، ولعل ما هو قادم
أجمل بإذن الله

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'état écologique de l'Oued M'zi, un cours d'eau essentiel dans la région de Laghouat, à travers une approche intégrée combinant analyses physico-chimiques et inventaires des macro-invertébrés benthiques sur quatre stations (S1-S4). Les résultats révèlent une variabilité spatiale marquée liée aux pressions anthropiques. Les stations S1, S3 et S4 présentent des signes de dégradation : minéralisation élevée, eutrophisation potentielle ou pollution organique, traduisant une altération significative de la qualité de l'eau. À l'inverse, la station S2 se distingue par une richesse biologique notable, attribuée à des conditions physico-chimiques favorables. L'analyse multivariée (ACP et CAH) met en évidence une structuration claire des stations selon leurs caractéristiques environnementales et biologiques. L'Indice Biotique Global Normalisé (IBGN) confirme ces tendances, avec une qualité de l'eau jugée bonne à S2, mais médiocre à mauvaise dans les autres stations. Ces résultats soulignent l'efficacité des macro-invertébrés comme bioindicateurs et mettent en lumière la nécessité d'actions de gestion visant à restaurer et préserver l'intégrité écologique de l'Oued M'zi.

Mots clés : Macro-invertébrés, Oued M'zi, Biodiversité, qualité de l'eau, IBGN.

Abstract:

The aim of this study was to assess the ecological status of the Oued M'zi, a major watercourse in the Laghouat region, using an integrated approach combining physico-chemical analyses and benthic macroinvertebrate inventories at four stations (S1-S4). The results reveal marked spatial variability linked to anthropogenic pressures. Stations S1, S3 and S4 show signs of degradation: high mineralization, potential eutrophication or organic pollution, indicating a significant deterioration in water quality. Conversely, station S2 stands out for its high biological richness, attributed to favorable physico-chemical conditions. Multivariate analysis (PCA and CAH) reveals a clear structuring of stations according to their environmental and biological characteristics. The Standardized Global Biotic Index (SGBI) confirms these trends, with water quality rated as good at S2, but mediocre to poor at the other stations. These results underline the effectiveness of macro-invertebrates as bioindicators, and highlight the need for management actions aimed at restoring and preserving the ecological integrity of the Oued M'zi.

Keywords: Macro-invertebrates , Oued M'zi , Biodiversity, Water Quality ,IBGN.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الحالة الإيكولوجية لوادي مزي، وهو مجرى مائي رئيسي في منطقة الأغواط، باستخدام نهج متكامل يجمع بين التحليلات الفيزيائية والكيميائية وقوائم جرد الالفقاريات القاعية في أربع محطات (S1-S4). تكشف النتائج عن تباين مكاني ملحوظ مرتبط بالضغط البشرية المنشأ. تُظهر المحطات S1 و S3 و S4 علامات تدهور: تمعدن عالٍ، أو تخثت محتمل أو تلوث عضوي، مما يشير إلى تدهور كبير في جودة المياه. من ناحية أخرى، تبرز المحطة S2 لثرائها البيولوجي الكبير، الذي يعزى إلى الظروف الفيزيائية والكيميائية (عن هيكل واضحة للمحطات وفق المواثيق). ويكشف التحليل متعدد المتغيرات (التحليل متعدد المتغيرات ACP والتصنيف الهرمي CAH) لخصائصها البيئية والبيولوجية. ويؤكد المؤشر الأحيائي العالمي الموحد IBGN هذه الاتجاهات، حيث تم الحكم على جودة المياه بأنها جيدة في محطة S2، ولكنها متوسطة إلى رديئة في المحطات الأخرى. تؤكد هذه النتائج على فعالية الالفقاريات الكبيرة كمؤشرات بيولوجية وتسلط الضوء على الحاجة إلى اتخاذ إجراءات إدارية السعادة السالمة البيئية لوادي مزي والحفاظ عليها.

كلمات مفتاحية : كائنات الالفقارية , واد مزي , التنوع البيولوجي , جودة الماء ,

Liste des abréviations

(C°) : Degrée Celsius.

(μm) : Micromètre.

(PH) : Potentiel hydrogène.

(Activité H) : Activité Humaine.

(ACP) : Analyse En Composantes Principales.

(CAH) : Dendrogramme De Classification Hiérarchique.

(ET) : Ephéméroptère et Trichoptère.

(IBGN) : Indice Biologique Global Normalisé.

Listes des Figures

Figures	Page
Figure 1: Mollusque (gastéropodes) (Moisan, 2010)	7
Figure 2:Crustacé (Cladocère) (Maxence et al., 2015; Nouar, 2020)	8
Figure 3: Morphologie générale des larves d'éphéméroptères	10
Figure 4: Morphologie générale des larves des Diptères	11
Figure 5: Vues dorsale et latérale d'un trichoptère (Moisan, 2010).	12
Figure 6: Vue dorsale d'un coléoptère adulte et vue latérale d'une larve (Moisan, 2010) .	13
Figure 7: Morphologie générale des larves d'Odonates (Bouchelaghem, 2008)	14
Figure 8: Situation géographique du Oued M'zi (Aissaoui, 2016)	16
Figure 9 : Cartes des sols de La willaya de Laghouat (Amrani, 2021)	17
Figure 10 : Carte géologique de Laghouat(Bensaidane & Zebeir, 2021)	18
Figure 11: site agricole (Original,2024)	21
Figure 12: Site Montagneux (Original,2024)	21
Figure 13: Site Urbain (Original,2024)	21
Figure 14: Location des stations	21
Figure 15: Prise d'un échantillon d'eau (Moisan et Pelletier, 2008)	23
Figure 16:Mesuré in situ par Multi-Paramètre	23
Figure 17: Prélèvement au niveau du sable fin , grossier et végétation (Original, 2024)	24
Figure 18: Prélèvement au niveau des galets et des rochers (Original ,2024)	24
Figure 19: processus de tri et identification des macro-invertébrés . (Original,2024)	25
Figure 20 : guide d'identification (Tachet,2010)	25
Figure 21:Fréquence d'abondance (AF %) des ordres de macro-invertébrés collectés sur l'ensemble des sites d'étude	30
Figure 22: Heatmap montrant la distribution des ordres de macro-invertébrés entre les différents sites d'échantillonnage (le gradient de couleur reflète la fréquence d'abondance, les teintes plus foncées indiquant des valeurs plus élevées).	31
Figure 23:Fréquence d'abondance (AF %) des familles de macro-invertébrés collectées sur l'ensemble des sites d'étude.	32
Figure 24: Heatmap illustrant la distribution des familles de macroinvertébrés entre les différents sites d'échantillonnage (le gradient de couleur reflète la fréquence d'abondance, les teintes plus foncées indiquant des valeurs plus élevées).	34

Figure 25: Biplot PCA Biplot de l'analyse en composantes principales (ACP) montrant la corrélation entre les variables environnementales et les sites d'échantillonnage.	36
Figure 26: Dendrogramme de classification hiérarchique corrobore l'ACP en classant les sites selon leurs similarités environnementales.	37
Figure 27: Biplot de l'analyse en composantes principales (ACP) montrant la corrélation entre les familles d'invertébrés aquatiques et les sites d'échantillonnage	38
Figure 28: Dendrogramme de classification hiérarchique valide l'ACP en regroupant les sites selon les similarités de composition en familles.	39

Listes des Tableaux

Tableaux	Page
Tableau 1: Répartition des Substrats (Galets, Sable Fin, Rochers, Végétation) par Station (%)	22
Tableau 2: Description du site d'étude	22
Tableau 3: Expression de la qualité biologique des cours d'eau (AFNOR, 1992).	28
Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de Oued M'zi.	30
Tableau 5: Liste des macro-invertébrés benthiques récoltés sur l'ensemble des sites d'échantillonnage dans Oued M'zi - Laghouat	35
Tableau 6: Valeurs des indices calculés sur les stations d'étude	41
Tableau 7 : Grille d'appréciation de la qualité biotique de l'eau des 4 stations étudiés.	42

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
List des abréviations	
List des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
I-Introduction	
Introduction	1
II-Synthèse bibliographique	
1. Généralité sur la macro-invertébrée :	6
1.1. Définition	6
1.2. Taxonomie	6
1.3. Diversité des macro-invertébrés :	7
1.3.1. Les groupes non-insectes	8
1.3.2. Les groupes insectes	9
2. Rôle des Macro-Invertébrés Benthiques	14
3. Utilisation comme bioindicateurs	14
III- Material et Méthode	
1. Présentation générale de la zone d'étude	16
1.1. Situation géographique :	16
1.2. Pédologie	16
1.3. Géologie	17
1.4. Hydrogéologie	18
1.4.1. Albien	19
1.4.2. Cénomaniennes	19
1.5. Climatologie	19
2. Matériel de terrain	20
3. Matériel de laboratoire	20
4. Localisation et description des stations	20
4.1. Choix des sites	21
4.2. Descriptions des sites d'étude	21
4.3. Date de prélèvement	21
5. Analyses physico-chimiques de l'eau	22

5.1. Mesure in situ	23
5.2. Mesure ex-situ	23
6. Echantillonnage des macro-invertébrés benthiques	24
6.1. Protocole d'échantillonnage	24
7. Analyse des données	26
7.1. Données biologiques	26
7.2. Traitement des Données Statistique	28
IV- Résultats Et Discussions	
1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de Oued M'zi	29
2. Biodiversité des macro-invertébrés benthiques	30
2.1. Fréquence d'abondance par ordre	30
2.2. Fréquence d'abondance par Famille	32
2.2.3. Liste systématique	35
3. Structure et organisation des peuplements des macro-invertébrés benthiques	36
3.1. Facteurs de l'environnement	36
3.1.1. Analyse en composante principale ACP	36
3.1.2. Le dendrogramme de classification hiérarchique CAH	37
3.2. Diversité des familles	19
3.2.1. Analyse de composante principale ACP	38
3.2.2. Le dendrogramme de classification hiérarchique CAH	39
4. Evaluation de la biodiversité	40
5. Evaluation de la qualité biologique des stations	42
V- Conclusion	
Conclusion	44
VI- Références Bibliographiques	
Références Bibliographiques	47
VII-Annexes	
Annexes	60

Introduction

L'humanité a toujours été associée à l'eau, une ressource essentielle à la survie. Mais l'eau n'est plus une ressource inépuisable, mais un héritage qui peut être géré de manière responsable. Au cours des dernières décennies, des changements majeurs dans l'aménagement du territoire, l'agriculture intensive et l'industrie ont contribué à accroître la pollution. La pollution était le plus souvent mécanique et organique, mais elle est aujourd'hui aggravée par l'activité humaine et l'utilisation excessive de produits chimiques, rendant l'eau de plus en plus impropre à la consommation humaine. Compte tenu de cette fragilité, il est devenu de plus en plus important d'approfondir notre compréhension des écosystèmes aquatiques, qui sont désormais considérés comme des environnements multidimensionnels en constante évolution en raison de nombreux facteurs interconnectés. (Khattar, 2009)

Les écosystèmes aquatiques sont des composants vitaux de la biosphère terrestre, fournissant des services essentiels tels que la purification de l'eau, le cycle des nutriments et l'habitat pour divers organismes. (Dudgeon et al., 2006; Allan et Castillo, 2009)

Les écosystèmes aquatiques sont la source de la vie depuis environ 4 milliards d'années. Ils se distinguent par la présence d'un fluide nettement plus dense et plus visqueux que l'air. Ce milieu aquatique est continu, et ses contraintes physiques sont spécifiques. Ses habitants dépendent de facteurs environnementaux tels que la température, la salinité, la teneur en oxygène, le pH, la pression hydrostatique et la présence de polluants, entre autres. Il est courant de diviser les écosystèmes aquatiques en continentaux (lacs d'eau douce, rivières, lagunes, lacs, réservoirs, etc.), les lagunes et les régions côtières, qui comprennent les estuaires, les lagunes, les marais littoraux, etc., et les marines, qui collectent tous les environnements salés de toute la côte. (Agropolis, 2007).

L'un des écosystèmes les plus complexes et dynamiques est le cours d'eau et ses corridors. (Dynesius et Nilsson, 1994). Ils jouent un rôle crucial dans la préservation de la biodiversité, le bon fonctionnement des organismes et les cycles de la matière organique. Les humains ont plus ou moins modifié les réseaux hydrographiques du monde entier. (Everard et Powell, 2002).

Un cinquième de la population mondiale vit dans des zones arides et semi-arides, qui représentent un tiers de la couverture terrestre de la planète et couvrent environ 61 millions de km². (Barbosa et al. 2012; Galbally et al. 2010; Reynolds 2002)

Les écosystèmes aquatique sont essentiels au maintien des moyens de subsistance humains et de la biodiversité, mais ils subissent une pression sans précédent de la perte d'habitat, du changement climatique et de l'activité humaine. (Gresens et al. 2009; Hafiane et al. 2023) Dans les zones sèches et semi-arides, où la vulnérabilité écologique est accrue par la rareté de l'eau, les rivières et les ruisseaux en particulier servent de lignes de vie. Ces écosystèmes reflètent l'interaction entre les processus naturels et les activités humaines, ce qui en fait des marqueurs vitaux de la santé environnementale. (Sellam et al., 2019)

Introduction

La protection et la gestion efficaces de ces habitats aquatiques dépendent de la compréhension de leur intégrité et de leur santé.(Palmer et al. 2008). La recherche sur les macro-invertébrés benthiques est une méthode puissante pour évaluer la santé écologique des rivières et des ruisseaux (Rosenberg 1993)

En raison de leur résistance diversifiée à la pollution et aux changements d'habitat, les macro-invertébrés benthiques qui comprennent les insectes, les mollusques et les crustacés, sont largement reconnus comme des bioindicateurs sensibles de la qualité de l'eau (Gresens et al., 2009; Sellam et al., 2019). Ils sont parfaits pour évaluer l'intégrité écologique en raison de leurs cycles de vie, de leurs habitudes alimentaires et de leur mobilité. Par exemple, les espèces résistantes comme les Chironomidae (moucheons) prospèrent dans des environnements défavorables, tandis que les taxons sensibles à la pollution comme les éphéméroptères (éphémères) et les plécoptères (mouches des pierres) diminuent dans les eaux polluées (Hafiane et al. 2023). En raison de leur réactivité biologique, les macro-invertébrés peuvent agir comme des systèmes d'alerte précoce pour les changements physico-chimiques tels que les oscillations de salinité, la contamination organique et les surcharges de nutriments (Ghougali, Ghazi, et Meroufel 2024)

Globalement, Les macro-invertébrés benthiques sont maintenant couramment utilisés pour la bio-surveillance dans l'évaluation environnementale dans le monde entier (Metcalf 1989; Bonada et al. 2006). L'efficacité de ces espèces dans l'identification des polluants, l'évaluation de la qualité de l'habitat et la mesure des effets des activités humaines sur les écosystèmes d'eau douce a été démontrée dans de nombreuses études (Norris et Thoms, 1999). Des solides programmes de surveillance des macro-invertébrés sont en place depuis des décennies dans les pays développés, offrant des informations utiles pour la gestion des ressources en eau (Platts et al., 1983; Barbour, et al., 1999)

Les programmes de surveillance de la qualité de l'eau reposent désormais fortement sur des indices basés sur les macro-invertébrés, tels que l'Indice biologique Global normalisé (IBGN) Ces ressources soutiennent les choix politiques, dirigent les efforts de restauration et identifient les eaux altérées. (Gresens et al., 2009).

En Afrique, La recherche sur les macro-invertébrés benthiques sur le continent remonte aux missions coloniales du début du 20e siècle, qui accordaient la priorité absolue aux inventaires taxonomiques dans des bassins importants comme le Nil et le Niger. Les naturalistes britanniques, par exemple, ont enregistré des phryganes endémiques (*Cheumatopsyche*) et des éphémères (*Afronurus*), mais ils ont ignoré des régions telles que l'Afrique du Nord (Dallas 2018). Les universitaires africains ont commencé à utiliser les macro-invertébrés dans les évaluations de la qualité de l'eau après l'indépendance. Dans les années 1980, l'Afrique du Sud a mis au point des instruments de bio-surveillance tels que le Système de notation sud-africain (SASS5)(Dickens et Graham, 2002; Shimba et Jonah, 2016), tandis que dans les années 1990, des recherches menées en Afrique de l'Est ont établi un lien entre les changements dans les assemblages de macro-invertébrés du lac Malawi et la déforestation(Raburu, Masese, et Mulanda 2009). Des études

approfondies ultérieures en Afrique du Nord ont montré que les cours d'eau urbanisés étaient dominés par des diptères tolérants à la pollution, selon des enquêtes menées en Algérie (Saal et al. 2021).

Avec une superficie de plus de 2 millions de km², l'Algérie est le plus grand pays d'Afrique du Nord. Son relief diversifié comprend diverses zones bioclimatiques. Alors que l'Atlas saharien est caractérisé par un climat semi-aride et aride, les sections nord sont caractérisées par des montagnes tempérées et des paysages côtiers. Les températures estivales extrêmes, les sécheresses saisonnières, les fortes pluies ou les inondations au printemps et en hiver sont quelques-unes des conditions environnementales uniques que ce gradient climatique produit dans les bassins hydrologiques. Avec les rivières méditerranéennes subissant de brusques changements hydrologiques, de telles variations saisonnières du débit d'eau des niveaux élevés au printemps / automne et des niveaux très bas en été-ces oscillations ont un impact significatif sur les macro-invertébrés benthiques (Sellam et al., 2017.).

L'étude de la faune (macro-invertébrés benthiques) et de l'écologie (répartition spatiale, structure des communautés) est cruciale pour comprendre le fonctionnement et la gestion des systèmes naturels, ainsi que, d'autre part, pour évaluer la santé écologique des hydrosystèmes (Dakki, M 1979; El Agbani, M. A. 1984; Bouzidi, A 1989; Fekhaoui, M. 1990; Dakki, M. 1992), De plus, ils sont de bons indicateurs en raison de leur diversité, de leur sédentarité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat (MOISAN et PELLETIER, 2008). Ils reflètent également particulièrement bien l'état écologique du cours d'eau en réagissant rapidement aux changements environnementaux (Lounis, 2019; Moussa, A. Et Al 2014).

Chapitre 1 :
Synthèse bibliographique

1. Généralité sur la macro-invertébrée :

Les macro-invertébrés benthiques sont des organismes qui passent la majeure partie de leur vie au fond d'un cours d'eau ou juste à l'écart. Dépourvues d'épines, elles sont visibles dans le noyau. Les larves d'insectes aquatiques, certains insectes aquatiques adultes, les crustacés, les mollusques et autres entrent dans cette vaste catégorie. Les éphémères, les plécoptères, les trichoptères, les diptères, les coléoptères, les mégaptères, les hémiptères, les odonates et les lépidoptères constituent les principaux ordres d'insectes aquatiques appartenant à cette classe d'organismes (Gagnon et al., 2006; Touzin et al., 2008)

1.1. Définition :

Les macro-invertébrés benthiques sont définis comme des organismes aquatiques dépourvus de colonne vertébrale, vivant sur ou dans les substrats des écosystèmes d'eau douce ou marins, et dont la taille dépasse 0,5 mm (MERRITT 2024). tandis que les organismes « macro » sont ceux qui peuvent être vus à l'œil nu sans avoir recours à un microscope (Sharma et al., 2006; Aaron et al., 2013; Agboola, 2017)

1.2. Taxonomie :

Selon (Neveu, 2001), les macro-invertébrés benthiques constituent l'un des groupes faunistiques les plus diversifiés avec une répartition géographique variée à l'échelle continentale. Ils sont regroupés dans de nombreux groupes taxonomiques (embranchement, classe, ordre, famille, genre) en fonction de leurs facteurs phénotypiques (apparence), génétiques ou de sensibilité à l'environnement (pollution, température, etc.). Selon leur stade (œuf, larve, nymphe ou insecte adulte), les individus peuvent être aquatiques ou aériens en raison de changements dans leurs habitudes alimentaires ou des particularités de leur substrat de reproduction.

- **Règne** (animal)
- **Embranchement, ou phylum** (arthropodes, mollusques, annélides...)
- **Classe** (insectes, crustacés, arachnides...)
- **Sous-class**
- **Ordre** (éphéméroptères, coléoptères, trichoptères...)
- **Sous-ordre**
- **Super-famille** (Hydrophiloidea)
- **Famille** (Ephemerellidae, Elmidae, Goeridae...)
- **Sous-famille**
- **Genre** (Sialis)
- **Espèce**
- **Sous-espèce**

1.3. Diversité des macro-invertébrés :

1.3.1. Les groupes non insectes :

1.3.1.1. Les Mollusques

L'embranchement des mollusques est incroyablement diversifié, avec entre 80 000 et 100 000 espèces connues dans le monde. Il s'agit de l'un des embranchements les plus riches en invertébrés aquatiques (Strayer 1999; Dame 2012), dont la diversité totale peut atteindre environ 200 000 espèces (Strong et al. 2008). On dénombre environ 4 998 espèces de mollusques vivant dans des environnements d'eau douce (Balian et al. 2008). Les cinq groupes principaux de ce groupe embranché partagent un schéma corporel commun : une bosse viscérale dorsale, un pied ventral large et musclé et une tête développée assurent le fonctionnement de tous les systèmes importants (Dambri 2021).

Les principales classes des mollusques : (Bouhala 2012)

- ❖ Lycoplacophores (Chiton)
- ❖ Bivalves (Huître, Moule, Palourde)
- ❖ Gastéropodes (Limace, Escargot)
- ❖ Céphalopodes (Pieuvre, Seiche, Calmar)
- ❖ Scaphopodes (Dentale)

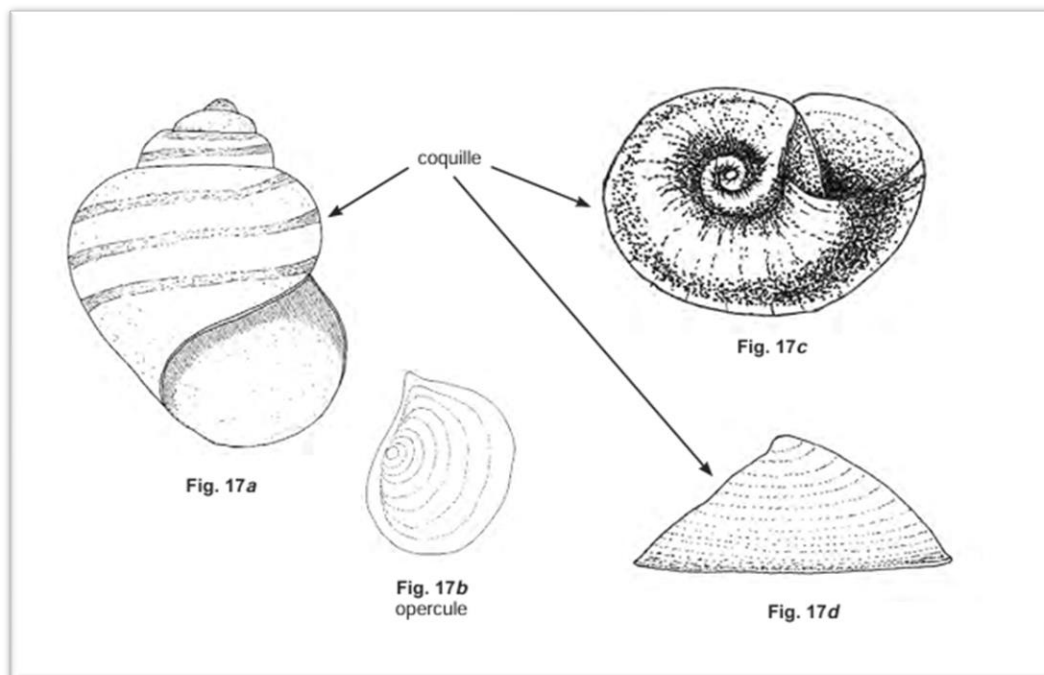


Figure 1: Mollusque (gastéropodes) (Moisan, 2010)

1.3.1.2. Crustacés

Alors que les insectes et les arachnides évoluaient sur la terre ferme, la majorité des crustacés vivent dans les mers et les océans, où l'on dénombre près de 40 000 espèces (Campbell 1995). Les seuls arthropodes possédant deux paires d'antennes, trois paires d'appendices ou plus formant des éléments buccaux, comme les mandibules dures, dont les pattes émergent du thorax, et, contrairement aux insectes, des appendices sur l'abdomen, sont les crustacés. Un appendice perdu peut être régénéré par les crustacés (Campbell 1995).

On trouve de nombreuses espèces de crustacés en milieu marin. Dans l'environnement, il existe trois sous-classes qui correspondent aux macro-invertébrés :

- ❖ Sous-classe des Branchiouvues
- ❖ Sous-classe des Branchiopodes
- ❖ Sous-classe des Malacostracés (Tachet et al. 2000)

Quelques ordres de la classe de crustacés :

- ❖ Ordre des Amphipodes
- ❖ Ordre des Isopodes
- ❖ Ordre des Décapodes
- ❖ Ordre des Cladocères
- ❖ Ordre des Ostracodes
- ❖ Ordre des Copépodes (MOISAN et PELLETIER, 2008).



Figure 2: Crustacé (Cladocère) (Maxence et al., 2015; Nouar, 2020)

1.3.2. Insectes

Les insectes sont des arthropodes invertébrés qui possèdent trois paires de pattes chez les adultes et chez certains stades larvaires. Il existe également des larves vermiformes dépourvues de pattes. Selon (Tachet et al. 2000), leur corps est divisé en trois régions : la tête, le thorax et l'abdomen.

Les sexes des insectes sont distincts, bien que dans certaines situations, la parthénogénèse puisse être utilisée pour la reproduction (Zahradník, Chvála, et Cuisin 1989)

Les insectes aquatiques ont un régime alimentaire varié, selon les classifications modifiées par (Tachet et al. 2000) et (W. Cummins 2019)

On distingue les omnivores, les prédateurs, les brouteurs, les filtreurs, les rassembleurs et les détritivores. La majorité des organismes invertébrés des cours d'eau sont des insectes. Ils sont particulièrement bien représentés par les ordres suivants : les Éphéméroptères, Les Diptères, les Trichoptères et les Coléoptères Chacun de ces ordres est composé de plusieurs familles. Selon (Adler et Courtney, 2019), l'ordre des Diptères est le plus représenté parmi les insectes benthiques.

1.3.2.1. Éphéméroptères :

❖ Définition

Les éphéméroptères appartiennent à un ordre d'insectes hémimétaboles dont les larves sont exclusivement aquatiques. Ce sont les insectes les plus anciens à vivre dans l'eau, et ils ont été identifiés pour la première fois après le Carbonifère. L'incapacité de ce groupe à rétracter confortablement ses ailes sur son abdomen le distingue des autres insectes porteurs d'ailes (Gattolliat 2002).

Ils se distinguent principalement par leurs trois cerques (Figure 3), parfois deux, et par leurs branchies situées sur l'abdomen plutôt que sur le thorax. Les griffes sont toujours basiques. L'examen des branchies (nombre, taille, forme, disposition) et des cerques (longueurs relatives, emplacement du soja) est un aspect majeur de la différenciation des familles. Ces caractères sont utilisés pour déterminer le genre (Merritt et Cummins, 1984 ; Macan, 1979 ; Landa, 1969). (Fig. 1). En outre, ces larves se caractérisent par leur sensibilité à la contamination de l'environnement et aux modifications anthropiques, ce qui en fait des bio-indicateurs environnementaux d'importance majeure (signaux de haute qualité de l'eau) (Moisan 2010)

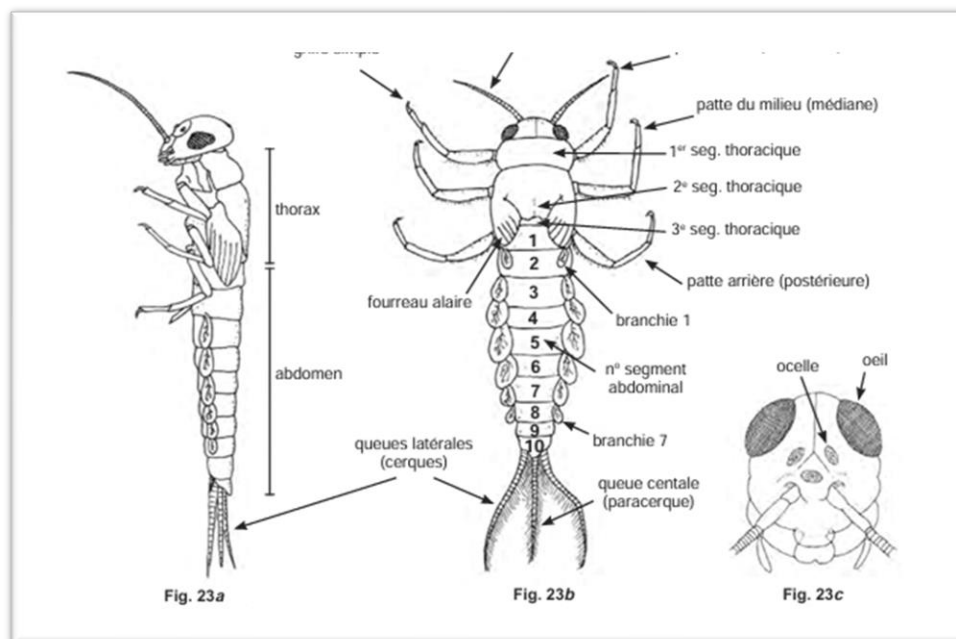


Figure 3: Morphologie générale des larves d'éphéméroptères

1.3.2.2. Les Diptères :

❖ Définition

Les diptères sont des insectes holométaboles, la dernière étape de la métamorphose chez la majorité des taxons aquatiques est perceptible et familière. Outre leur attachement embryonnaire au milieu aquatique, les 46 000 espèces de diptères, soit « près d'un tiers du total », sont considérées comme le groupe de macro-invertébrés le plus important dans les eaux douces. De plus, les vraies mouches sont les représentants les plus aquatiques de tous les ordres d'insectes (trois fois plus que les coléoptères et les trichoptères), car 30 % des espèces des 20 familles qui composent la phylogénie des diptères sont aquatiques au moins au stade larvaire (Winterton 2006). (Adler et Courtney, 2019). En outre, les diptères sont les seuls insectes à avoir colonisé l'eau douce sur tous les continents et possèdent la plus grande diversité écologique ainsi que la plus grande adaptabilité de tous les ordres aquatiques (Allegrucci et al. 2006).

Selon (Johannsen et Thomsen, 1977), les Diptères et les Coléoptères constituent le groupe d'ordres d'insectes présentant la plus grande diversité d'espèces et l'abondance la plus élevée. Par contre, les formes aquatiques sont moins nombreuses que les formes terrestres. Au stade de la métamorphose complète, ce groupe est le plus important en termes de nombre d'insectes aquatiques, tant en milieu lent qu'en milieu lotique. Selon le même auteur, les larves aquatiques (qui subissent 3 à 4 mues) peuvent vivre de quelques semaines à plus de deux ans, selon les espèces. Si certaines espèces ont deux périodes de ponte, la majorité n'en a qu'une. La plupart des larves ont une respiration branchiale ou cutanée.

La détermination s'appuie sur l'anatomie de l'antenne de l'adulte. Les formes Le sous-ordre des brachycères, plus évolué, possède des antennes toujours courtes et composées de trois articles, tandis que

le sous-ordre des nématocères, dont les antennes sont aussi courtes que celles des simuliidés, représente les espèces les plus primitives. (Moisan 2010)

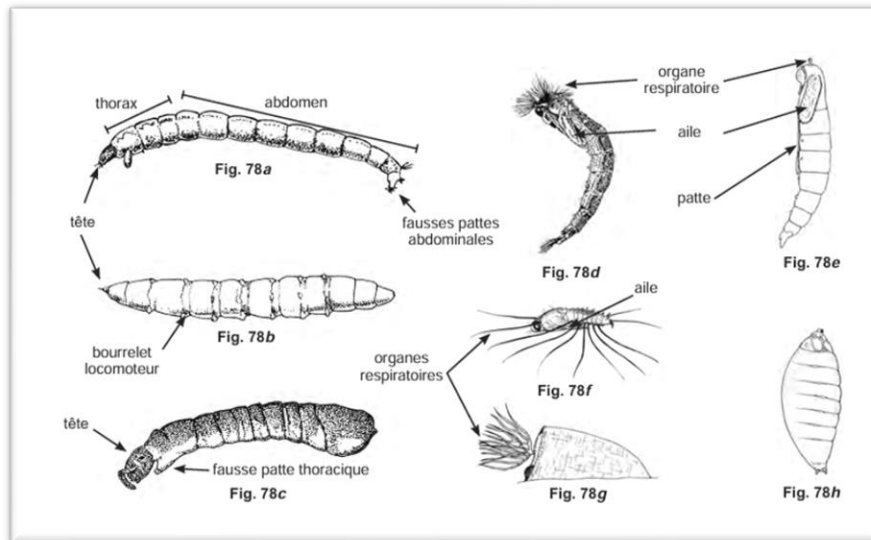


Figure 4: Morphologie générale des larves des Diptères

1.3.2.3. Trichoptères :

❖ Définition :

Selon (Tachet et al. 2000), les trichoptères sont des insectes holométaboles dont les larves et les nymphes sont aquatiques. Cet ordre comprend 43 familles et 8 000 espèces d'insectes que l'on trouve presque partout à proximité de l'eau douce. Les adultes, les sveltes et les ternes sont appelés « phalènes », qui se distinguent par l'absence d'écailles et de poils sur les ailes. Leurs longues antennes filiformes ont de nombreuses articulations. Même si les adultes de diverses espèces ne mangent pas, les petites pièces buccales peuvent servir à boire le liquide. Les yeux des trichoptères sont composés, parfois avec des ocelles. Chez le vol, les ailes sont réunies par des soies courtes.

L'accouplement a lieu à l'automne (Tachet et al. 2000). Il arrive toutefois que l'accouplement se fasse sur une substance solide plutôt que par le vol. Une fois les partenaires alignés, les dos commencent à s'affronter. Selon (Engelhardt et al. 1998), les adultes ne vivent souvent pas plus d'une douzaine de jours. La femelle pond ses œufs dans des amas ou des cordons, et les larves aquatiques se développent dans des fourreaux constitués de brindilles et de grains de sable (figure 3) (McGavin et Gorton, 2000).

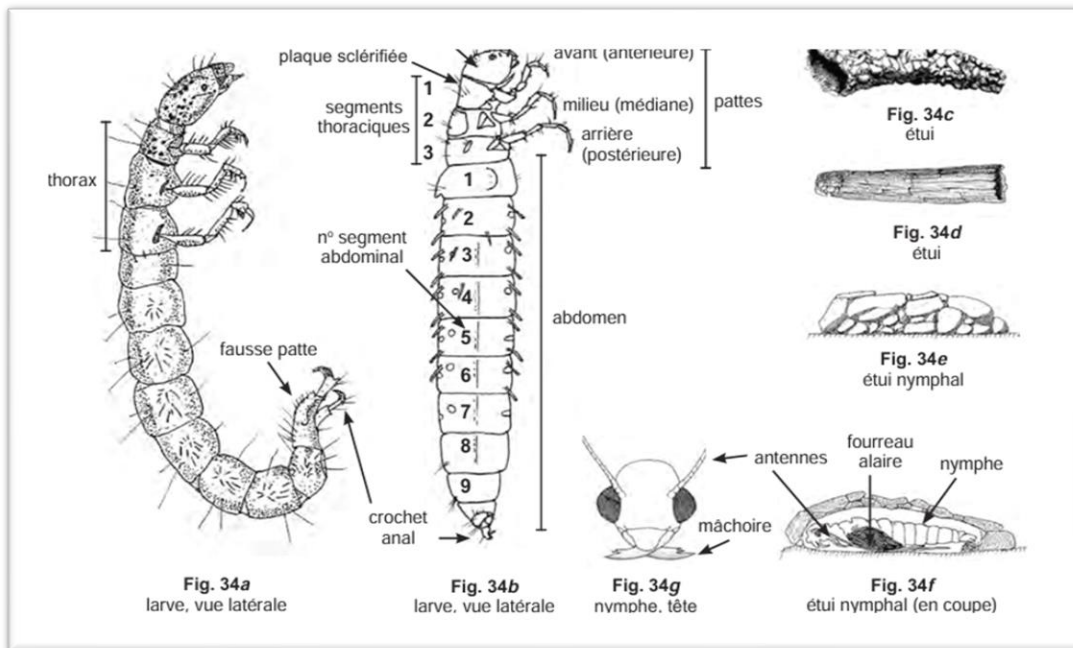


Figure 5: Vues dorsale et latérale d'un trichoptère (Moisan, 2010).

1.3.2.4. Coléoptères :

❖ Définition :

L'un des ordres les plus abondants en termes d'espèces au sein de la classe des insectes est celui des Coléoptères, les ailes de ces insectes sont en fait protégées par un étui formé par leurs élytres. Les coléoptères sont les seuls holométaboles (c'est-à-dire qu'ils subissent des métamorphoses complètes et passent par au moins quatre états : œuf, larve, nymphe et imago), et peuvent apparaître en milieu aquatique, tant sous forme imaginaire que larvaire. Elles fréquentent des milieux variés : sources, rivières, ruisseaux, cours d'eau riches en végétation et quasi stagnants (Haouchine 2011). Elles présentent une large gamme de tailles et sont très polymorphes (Tachet et al. 2010).

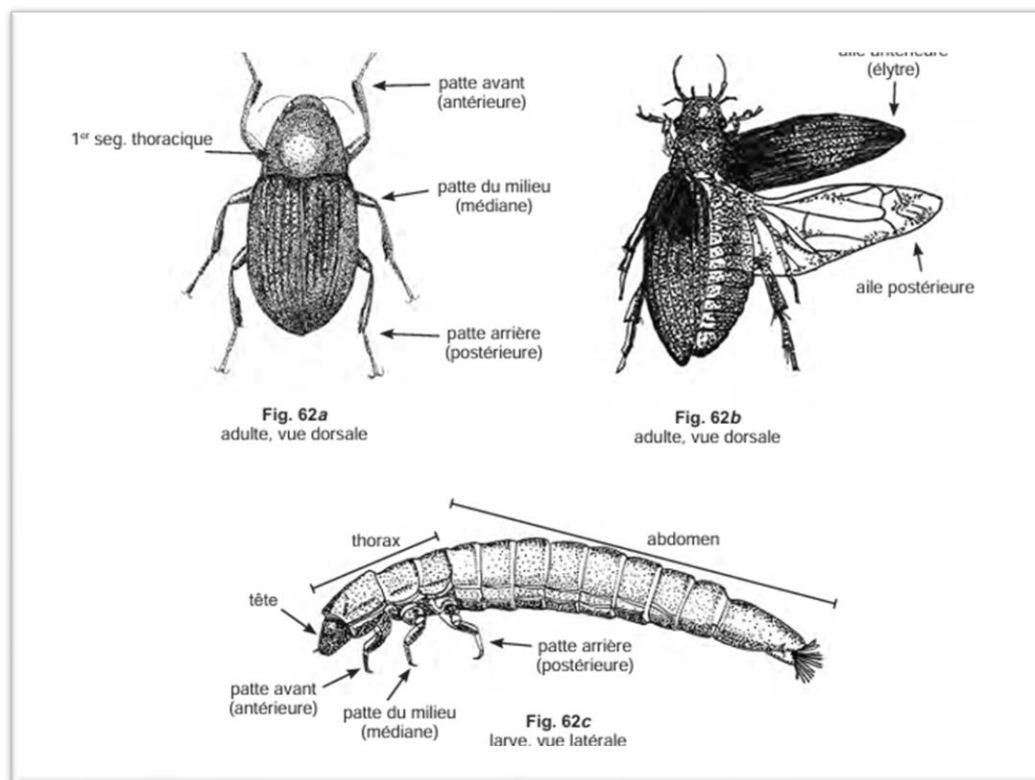


Figure 6: Vue dorsale d'un coléoptère adulte et vue latérale d'une larve (Moisan, 2010) .

1.3.2.5. Les Odonates :

❖ Définition :

Les Odonates, ordre d'insectes hémimétaboles à larves aquatiques, se divisent en deux sous-ordres : les Zygoptères (demoiselles) et les Anisoptères (libellules), ces derniers étant phylogénétiquement plus récents (Tachet et al. 2010). Leur morphologie distinctive inclut un masque rétractable pour la prédation, des yeux hypertrophiés et une préférence pour les eaux calmes et végétalisées, avec une tolérance modérée à la pollution (fig.).

- Les zygoptères ont un corps frêle, un abdomen cylindrique étroit, des ailes antérieures et postérieures identiques et trois branchies foliacées à l'extrémité abdominale (Moisan 2010). Leur vol est peu puissant.
- Les Anisoptères ont un corps robuste, un abdomen large terminé par cinq épines triangulaires, des ailes antérieures et postérieures dissemblables, et un vol rapide et soutenu (Bouchelaghem, 2008)

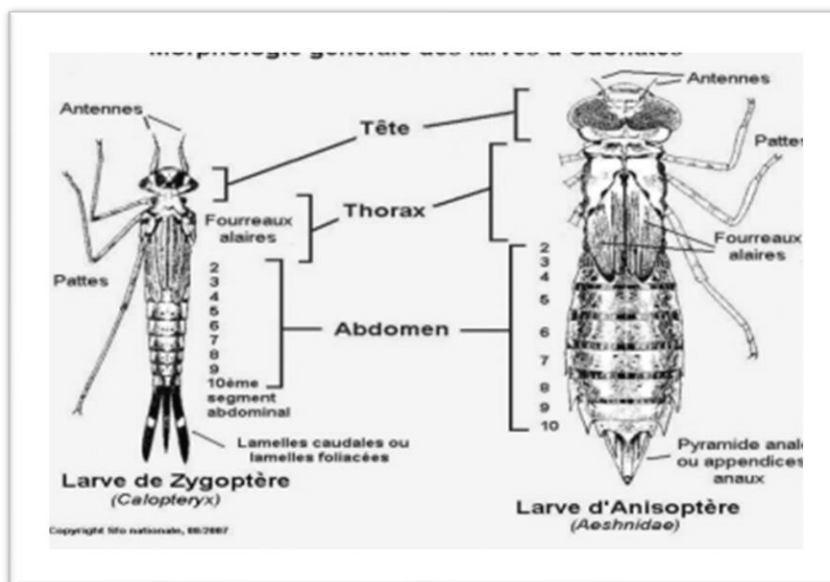


Figure 7: Morphologie générale des larves d'Odonates (Bouchelaghem, 2008)

2. Rôle des Macro-Invertébrés Benthiques :

En raison de leur sensibilité variable aux perturbations physico-chimiques et biologiques, les macro-invertébrés aquatiques, dont les insectes, reflètent les changements de la qualité de l'eau et du substrat. Leur utilisation comme bio-indicateurs est basée sur leurs niveaux de tolérance à la pollution, ce qui permet d'évaluer l'intégrité écologique des cours d'eau en combinant des taxons sensibles (comme les éphéméroptères et les plécoptères) avec ceux qui sont tolérants (comme les chironomes et les oligochètes, comme Tubifex) (Merritt 2024). Ces organismes sont d'excellents indicateurs de la qualité de l'environnement en raison de leur diversité, de leur abondance et de leur composition taxonomique, qui sont étroitement liées aux conditions environnementales telles que la quantité d'oxygène présente, la présence de nutriments (tels que les phosphates et les nitrates) et de polluants (tels que les métaux lourds) (Rosenberg 1993).

3. Utilisation comme bio-indicateurs :

Les méthodes biologiques reposent sur l'utilisation de bio-indicateurs dans les milieux aquatiques marins. Un bio-indicateur est constitué d'un organisme ou d'une collection d'organismes qui nous renseignent sur les changements biologiques ou abiotiques d'un cours d'eau et, par conséquent, sur les changements de plusieurs facteurs environnementaux. Ces changements peuvent se traduire par une diminution ou une augmentation du niveau de la population du bio-indicateur, en fonction de leur impact positif ou négatif sur divers paramètres comportementaux de ces organismes : morphologiques, tissulaires ou physiologiques. (Touzine et al, 2008). Le suivi des macro-invertébrés benthiques est bénéfique pour :

- évaluer la santé globale des écosystèmes aquatiques ;

Synthèse Bibliographique

- surveiller l'évolution de la santé d'un cours d'eau dans le temps ;
- évaluer et vérifier l'impact d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème ;
- évaluer les effets des efforts de restauration de l'habitat et de la qualité de l'eau.
- fournir un complément biologique au programme de suivi de la qualité bactérienne et physico-chimique des cours d'eau.
- Enregistrer La Biodiversité Des Macro-Invertébrés Benthiques Dans Les Cours D'eau (Moisan et Pelletier, 2008; Bouhala, 2012) .

Chapitre 2

Matériel et Méthode

1. Présentation générale de la zone d'étude :

1.1. Situation géographique :

L'oued M'zi est le principal cours d'eau de l'Atlas saharien central. Il prend sa source au niveau du djebel Amour, dans la région d'Aflou, et rejoint l'oued Messaad au sud-est de Laghouat. Connue sous le nom d'oued Djedi dans son cours inférieur, il parcourt environ 450 kilomètres avant de se jeter dans le chott Melghir, au sud de la région de Biskra, formant ainsi un système endoréique typique des zones sèches et semi-arides (Aissaoui, 2016).

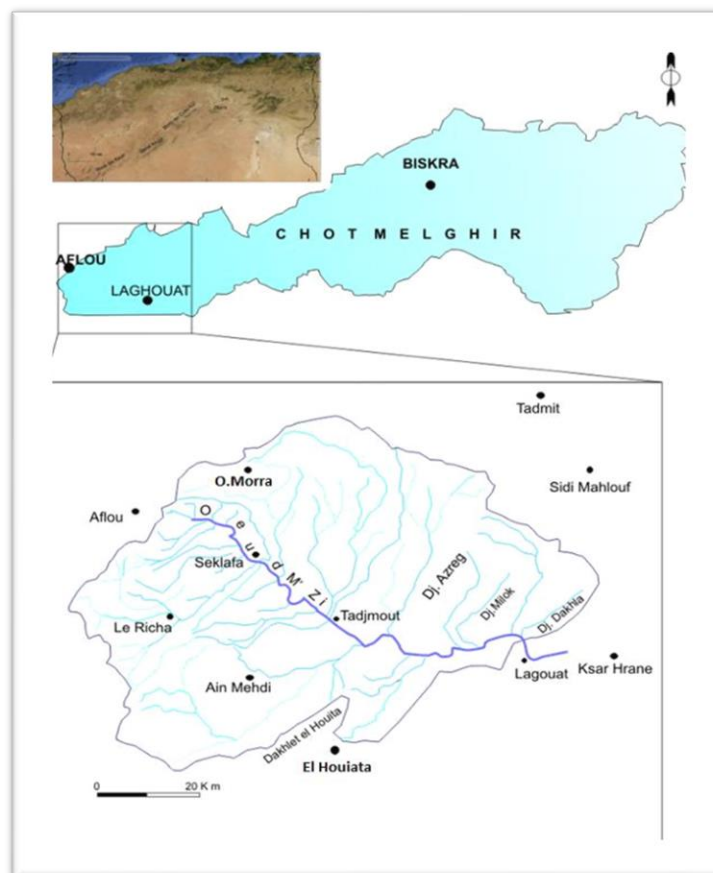


Figure 8: Situation géographique du Oued M'zi (Aissaoui, 2016)

1.2. Pédologie :

Les faibles précipitations combinées à une forte évaporation sont à l'origine des sols des zones arides, typiquement fragiles, peu profonds et pauvres en humus (Houyou, 2015). La complexité pédologique de la wilaya de Laghouat est due à sa grande superficie et à l'absence de données détaillées. Les deux principales sources sont la carte des sols africains de 1963 de l'Institut Géographique Militaire de Bruxelles et une prospection pédologique de 202 profils réalisée par le (BNEDER 2014). Cette dernière

catégorise les sols en fonction des facteurs climatiques (température, précipitations et vent), du degré d'évolution pédologique (nombre d'horizons) et de la réduction de la roche mère.

(Pouget 1980) souligne la diversité pédologique de Laghouat qui comprend cinq grandes classes (Fig.9) : les calcimagnésiques, les isohumiques, les minéraux bruts, les minéraux peu évolués et les minéraux daya. L'hétérogénéité des environnements édaphiques locaux se reflète dans cette mosaïque.(Amrani, 2021)

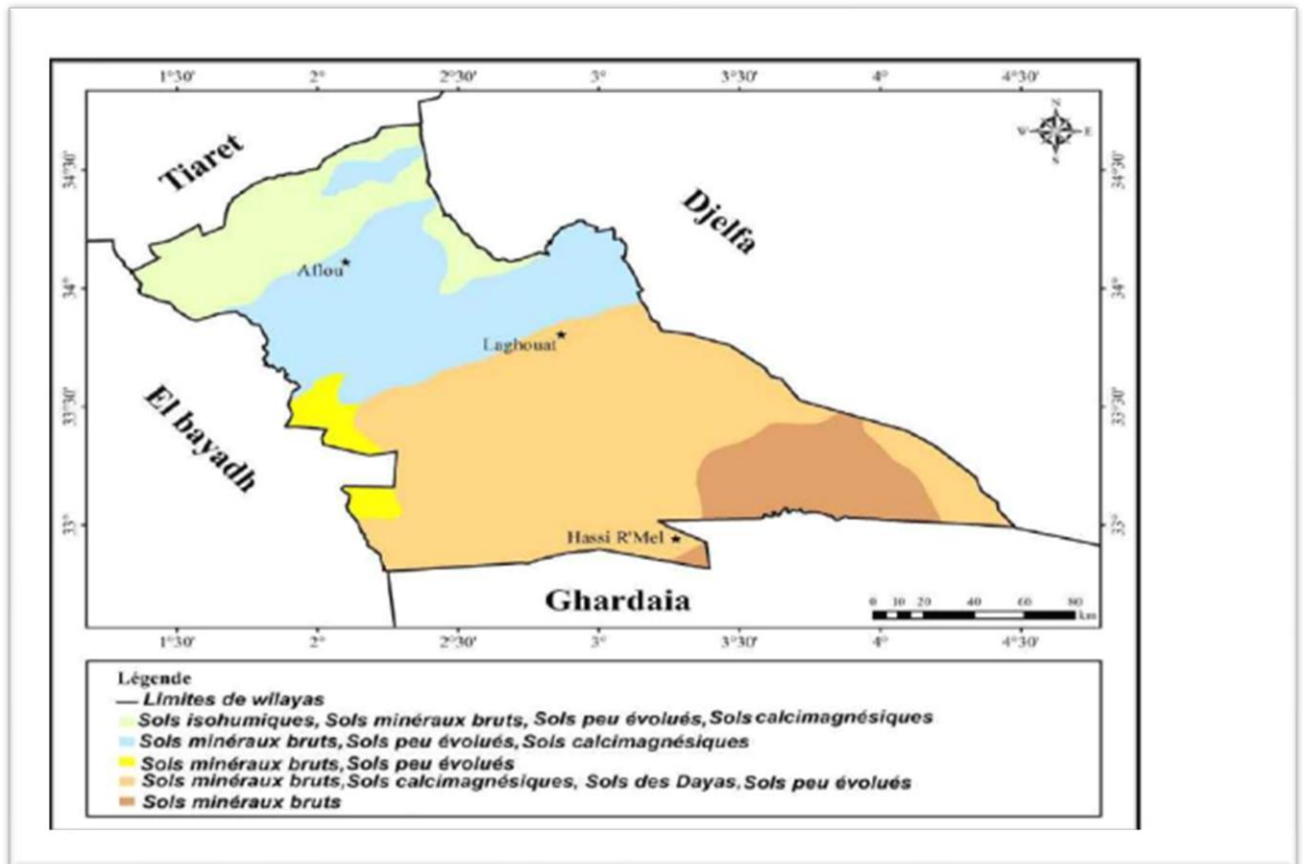


Figure 9 : Cartes des sols de La wilaya de Laghouat (Amrani, 2021)

1.3. Géologie :

Le bassin de l'Oued M'zi s'étend sur 6 153 km², depuis les hautes chaînes de l'Atlas saharien (Djebel Amor, 1 593 m) jusqu'à la hamada de Laghouat (740 m). Cette région, caractérisée par un gradient climatique nord-sud (précipitations annuelles de 300 mm à Aflou contre 150 mm à Laghouat), est utilisée pour étudier les relations entre tectonique, érosion et ressources en eau en milieu semi-aride. L'incision profonde de l'Oued M'zi et de ses affluents a mis à nu les formations géologiques qui s'étendent du Trias au Quaternaire.(Aissaoui 2016)

Matériel et méthode

L'histoire géologique de cette région est caractérisée par une succession sédimentaire stratifiée déposée sur un socle du Paléozoïque, avec des caractéristiques structurales largement déterminées par la faille frontale sud de l'Atlas, un important système de failles qui sépare la Plateforme saharienne des montagnes de l'Atlas (Bracène et Frizon De Lamotte, 2002)

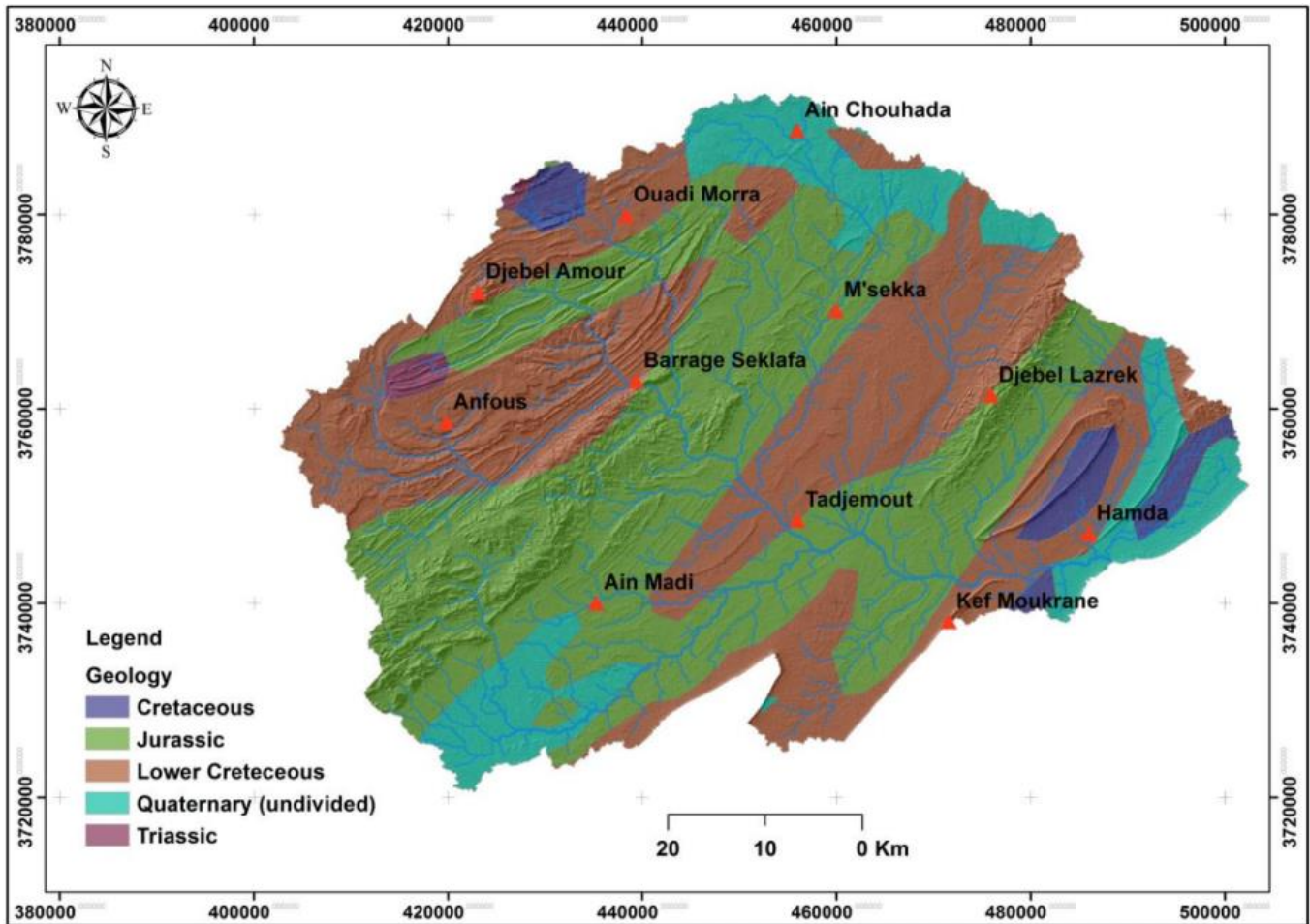


Figure 10 : Carte géologique de Laghouat (Bensaidane & Zebeir, 2021)

Selon l'analyse de (Boughani 2014), l'Atlas saharien peut être divisé de l'ouest à l'est en trois segments distincts : les Monts des Ksour, le Massif du Djebel Amour et les Monts des Ouled Naïl. Dans le cadre de cette étude, notre attention se concentre sur le bassin versant de l'oued M'zi, plus spécifiquement dans sa partie supérieure. La formation géologique se caractérise par la prépondérance de quatre grands ensembles :

- le Jurassique, qui s'étend sur 44,6 % du bassin versant et se compose de calcaire et de marno-calcaire.
- le Crétacé, qui représente 42,5 % de la surface totale et se distingue par sa richesse en grès .
- le Quaternaire, qui couvre 12,3 % du terrain et se forme principalement dans la vallée de l'oued M'zi .
- et enfin, la Triasse, qui ne représente que 0,7 % de la surface globale.

1.4. Hydrogéologie

Le système hydrographique de faible vitalité est organisé en un réseau endoréique où les eaux pluviales s'accumulent lors des épisodes de pluie. La région d'Aflou, qui se trouve dans le nord-ouest de l'Atlas Saharien, est caractérisée par un vaste réseau hydrographique, majoritairement de type endoréique.

L'Oued Seklafa, le principal affluent de l'Oued M'Zi, se trouve dans la région sud-est d'Aflou. Il mesure 40 km de long et draine un bassin de 775,6 km² (Pouget 1980).

1.4.1. Albien :

Dans la région de Laghouat, la couche de terre appelée Albien est surtout faite de restes de plantes et de sable, avec de nombreuses fissures. Les couches de terre argileuse, surtout visibles au bas et au sommet de la série, montrent une zone de stockage de l'eau qui n'est pas continue. Cette configuration géologique renforce le potentiel hydrogéologique du site, permettant d'obtenir de bonnes performances en matière de captation de l'eau souterraine lorsque les conditions sont favorables. (Hannachi 1981)

1.4.2. Cénomaniennes :

Le sol de Cénomaniennes est fait de couches de marnes et de calcaires. Ces couches sont séparées en deux parties. Des couches de calcaire épaisses et des couches de terre et de marne d'environ 1 m d'épaisseur. Les strates de calcaire non continu. Les petits lits de sable sont souvent obstrués par du marbre ou du gypse. (Hannachi 1981)

- La formation a une faible perméabilité.
- Le matériau principal est le marbre.
- Fracture à cause de sédiments.
- Les fractures ne sont pas connectées.

1.5. Climatologie :

Oued M'zi est caractérisé par un climat aride, typique des régions désertiques qui dominent la majeure partie de l'Algérie. Cette aridité est un facteur déterminant de son régime hydrologique et de ses caractéristiques écologiques. Le bassin reçoit une pluviosité annuelle moyenne de 178 mm. Bien que ce chiffre soit supérieur à la moyenne nationale algérienne de 84,31 mm, il reste fermement dans la classification aride. Les précipitations dans la wilaya de Laghouat, où se situe le wadi, sont généralement faibles en quantité mais de courte durée et de forte intensité. À l'échelle de l'Algérie, une tendance à la réduction des précipitations de 12,4 mm/mois par siècle a été observée depuis les années 1960. Le pays connaît également d'importants déficits pluviométriques et des périodes de sécheresse successives depuis 1975, ayant des répercussions sur les ressources en eau et l'agriculture.

La température annuelle moyenne dans le bassin de l'Oued M'zi est de 21°C. Dans les régions désertiques du Sahara algérien, les températures moyennes saisonnières varient entre 15°C à 28°C en hiver et peuvent atteindre 40°C à 45°C en été. Les températures annuelles moyennes en Algérie ont montré une

augmentation constante depuis les années 1960, avec une tendance au réchauffement d'environ 2,7°C par siècle depuis le début des années 1900.(A.N.R.H, 2014; Sellam et al., 2016.)

2. Matériel de terrain :

- Appareil de mesure des paramètres de la qualité de l'eau de terrain (multi-paramètres).
- Tamis (0.5mm).
- Tubes en verre à visse de 15ML.
- Agent de conservation (Flacons à Formole (10%)).
- Echantillonneur de type Haveneau (Surber cadre de 1/20 m2.
- GPS.
- Glacières portative.
- Fiches de terrain.
- Appareil photo.
- Des bottes.

3. Matériel de laboratoire :

- Etiquettes.
- Pinces.
- Boîtes de pétri.
- Loupe binoculaire.
- Guides d'identification des macros invertébrées.
- Formol (10%).
- Ethanol

4. Localisation et description des stations :

4.1. Choix des sites :

Les stations sélectionnées pour cette étude ont été sélectionnées en tenant compte d'un certain nombre de facteurs, notamment l'altitude, la pente, la diversité floristique, les agglomérations estuariennes et, dans une certaine mesure, la régularité de la répartition des stations sur l'ensemble du cours d'eau. La disponibilité des terminaux affecte également cette décision.



Figure 12: Site Montagneux (Original,2024)



Figure 11: site agricole (Original,2024)



Figure 13: Site Urbain (Original,2024)



Figure 14: Location des stations

4.2. Descriptions des sites d'étude :

(i) sable fin (diamètre <2 mm); ii) sable grossier (2–25 mm); (iii) des pierres (25–250 mm); et (iv) des roches > 250 mm; (Tachet et al. 2010)

Pourcentage de couverture a été évalué visuellement (Touron-Poncet et al. 2014)

Station	G1 (%)	S fin (%)	R (%)	Vég
S1	50	30	20	0
S2	20	30	50	0
S3	0	80	0	20
S4	10	65	5	20

Tableau 1: Répartition des Substrats (Galets, Sable Fin, Rochers, Végétation) par Station (%)

Station	Altitude (m)	Débit	Profondeur(cm)	Largeur (m)	Activité H	Substrat Dominant	Occupation du sol
S1	1034	3	23	5	1	Galet, Sable fin et Rocher	Montagneux(Tamarix)
S2	966	2	25	6	1	Rocher, Sable fin et galet	Milieux ouvert montagneux
S3	902	1	40	9	4	Sable fin et végétal	Barrage sec
S4	902	1	40	9	4	Sable fin , végétal, galet et rocher	Barrage sec

Tableau 2: Descriptions des sites d'étude

4.3. Date de prélèvement :

Les données d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques de Oued M'Zi Échantillonné entre le mois de mars et avril 2023-2024

5. Analyses physico-chimiques de l'eau :

Pour comprendre la dynamique et la diversité des populations de macro-invertébrés, la connaissance des paramètres physicochimiques les plus importants, il a été nécessaire de faire des mesures sur terrain et au laboratoire. Le prélèvement d'eau requiert une rigueur particulière pour garantir la fiabilité des résultats. Pour les eaux superficielles, l'échantillon est prélevé à mi- profondeur et en plein courant, évitant les zones proches des rives, de la surface ou du fond susceptibles de contenir des contaminants (poussières, pollen, huiles). Dans des bouteilles en plastique préalablement rincés trois fois avec l'eau échantillonnée.

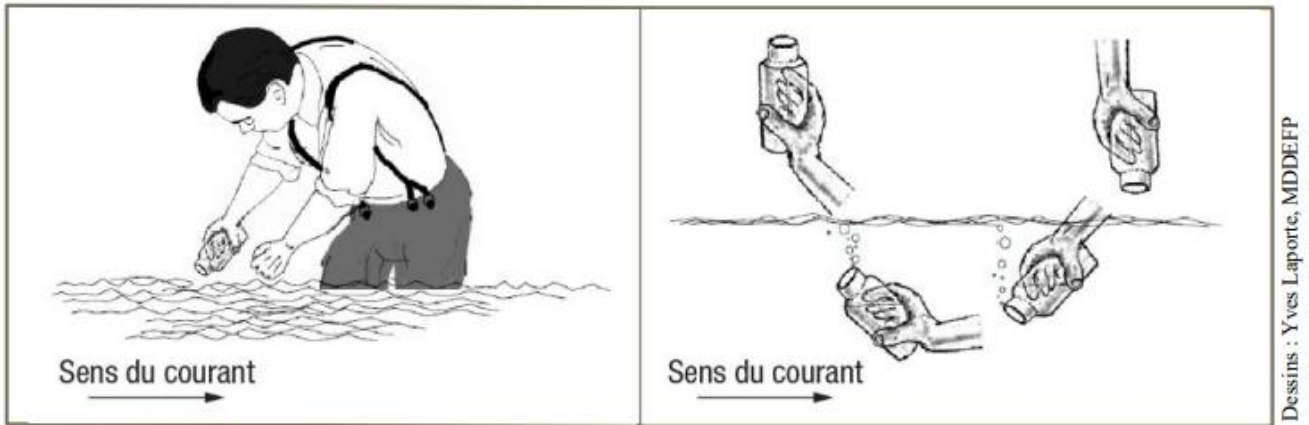


Figure 15: Prise d'un échantillon d'eau (Moisan et Pelletier, 2008)

5.1. Mesure in situ :

La température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$), le pH, la conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et l'oxygène dissous ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) ont été mesurés in situ à l'aide d'un multi-Paramètre. La vitesse du courant ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) a été estimée via une méthode au flotteur : un objet flottant était chronométré sur une distance de 10 m entre deux observateurs, la vitesse étant calculée comme le rapport distance/temps.



Figure 16: Mesuré in situ par Multi-Paramètre (Original, 2024)

5.2. Mesure ex-situ :

L'évaluation de la qualité de l'eau ont été réalisées dans le Laboratoire Algérien des Eaux (ADE - Laghouat) en analysant les paramètres (pH, turbidité [NTU], conductivité [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$], salinité [‰], - total des solides dissous [TDS, mg/L], Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} [mg/L]), et demande biochimique en oxygène [DBO_5], demande chimique en oxygène [DCO] et total des solides en suspension [TSS]).

6. Echantillonnage des macro-invertébrés benthiques :

6.1. Protocol d'échantillonnage :

Le prélèvement des macro-invertébrés a été réalisé à l'aide d'un filet Surber (maillage de 500 μm , surface de 0,05 m^2), composé de deux cadres en acier articulés. L'un stabilise le filet face au courant, tandis que l'autre délimite la zone d'échantillonnage. Les galets et les roches dans cette zone ont été lavés à l'entrée du filet pour récupérer les organismes. Les échantillons, transférés dans des récipients étiquetés, incluent les informations de la station (nom, date, paramètres environnementaux). (Touron-Poncet et al. 2014)

Au Laboratoire, Les organismes collectés sont triés dans des boîtes de Pétri à l'aide d'une pince, puis observés sous loupe binoculaire. Ils sont séparés en groupes taxonomiques et conservés dans de Formol 5 %. L'identification est réalisée au niveau familial ou générique, rarement spécifique. Ces données ont servi à évaluer l'abondance des habitats. (Tachet et al. 2010)



Figure 17: Prélèvement au niveau du sable fin , grossier et végétation (Original, 2024)

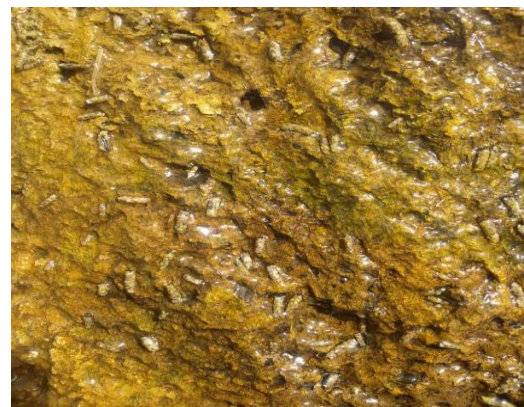


Figure 18: Prélèvement au niveau des galets et des rochers (Original ,2024)

- **Méthode de conservation, tri et identification des macro-invertébrés :**

- Les macro-invertébrés sont extraits à l'aide de pince entomologique.
- Puis elles sont réparties dans des boîtes de pétri selon leur taxonomie.
- À l'aide d'une loupe binoculaire et des clés de détermination les taxons triés sont identifiés selon le niveau de précision requis (famille ou genre).



Figure 19: processus de tri et identification des macro-invertébrés .
(Original,2024)



Figure 20 : guide d'identification (Tachet,2010)

7. Analyse des données :

7.1. Données biologiques :

7.1.1. Diversité spécifique (H') ou indice de Shannon :

L'indice de Shannon représente la quantité d'information apportée par un échantillon sur la structure du peuplement dont provient l'échantillon et sur la façon dont les individus y sont répartis entre diverses espèces. Dans l'évaluation de la diversité spécifique ou indice de Shannon, interviennent en principe les abondances (traduisant le nombre d'individus ou effectif) des espèces constitutives de la communauté présente (Dajoz 2019). Il se formule comme suit :

$$H' = - \sum Pi \times \log_2 Pi$$

Où :

Pi : Abondance relative de l'espèce de rang i ;

Pi= ni /N, (effectif i / effectif global). Elle rend compte indirectement de la probabilité de la compétition des individus de l'espèce i avec ceux des autres espèces ;

N : Abondance du peuplement (Nombre d'espèces présentes) ;

ni : Abondance de l'espèce i

(Les logarithmes utilisés étant de base 2, H' s'exprime en bit : binary digit).

7.1.2. Indice de Pielou (L'Equitabilité) :

Exprime la régularité de la répartition équitable des individus au sein de la communauté faunistique (espèces). Elle permet de comparer la structure des peuplements, elle constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité du peuplement étant donné qu'elle rend compte de la distribution du nombre d'individus par espèce (Ramade, 2005). C'est le rapport de la diversité d'un peuplement ou d'un échantillon et du nombre N d'espèces présentes dans le lieu.

$$E_Q = \frac{H'}{\log_2(N)}$$

Où :

H' : Diversité spécifique

N : Abondance du peuplement (Nombre d'espèces présentes).

Cet indice peut varier de 0 à 1 : il tend vers le 0 lorsque la quasi-totalité des effectifs est concentrée sur une espèce ; elle est de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. (Barbault 1992)

7.1.3. L'indice de Berger-Parker

Défini par Berger et Parker (1970), l'indice calcule la proportion de la communauté représentée par l'espèce la plus abondante. Toutes les autres espèces sont ignorées.

$$D = \frac{N_{max}}{N_t}$$

N_{max} = nombre d'individus de l'espèce la plus représentée. N_t = nombre total d'individus pour l'ensemble des espèces.

7.1.4. L'indice biologique :

L'IBGN est une méthode française normalisée (norme NF T90-350, (AFNOR 1992); révisée en 2004) qui évalue la qualité biologique des cours d'eau à travers les macro-invertébrés benthiques. Il prend en compte la qualité physico-chimique de l'eau, les caractéristiques morpho-hydrauliques et la diversité des habitats. La note finale (0-20), répartie en cinq classes de qualité (« très mauvaise » à « très bonne »), résulte de deux composantes : (1) le groupe faunistique indicateur (taxons sensibles à la pollution, seuils d'abondance ≥ 3 ou 10 individus selon les taxons) et (2) la variété taxonomique (nombre de familles récoltées).

La méthodologie, homologuée en 1992 et mise à jour en 2000 (NF-T 90-350), comprend :

- Un échantillonnage standardisé avec un filet à mailles de 500 μm , adapté aux habitats (support, vitesse d'écoulement).
- Tri et identification des taxons (138 taxons référencés).

Calcul :

$$IBGN = N^{\circ} \text{ Groupe Faunistique indicateur} + (N^{\circ} \text{ classe de variété} - 1) \text{ avec } IBGN \leq 20$$

Où la classe de variété (14 niveaux) correspond au nombre de taxons collectés, et le groupe faunistique reflète la sensibilité écologique. Les révisions incluent des ajustements protocolaires (ordre des supports, tableau de détermination) et l'élargissement du répertoire taxonomique Applicable aux cours d'eau accessibles à pied, l'IBGN reste l'indice biologique dominant en France pour évaluer le potentiel écologique des milieux aquatiques. (Genin, Chauvin, et Ménard 2003)

La norme AFNOR définit la qualité hydro-biologique par cinq niveaux de coefficient :

- 1A : eau de qualité excellente (absence de pollution).
- 1B : eau de bonne qualité (avec pollution modérée).
- 2 : eau de qualité moyenne (avec pollution nette).
- 3 : eau de qualité médiocre (avec pollution importante).
- HC* : eau de mauvaise qualité (avec pollution excessive).

Tableau 3: Expression de la qualité biologique des cours d'eau (AFNOR, 1992).

IBGN	≥17	13-16	9-12	5-8	4
Classe de qualité	1A	1B	2	3	HC*
Couleur correspondante	Blue	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité hydrobiologique	Très bonne	bonne	moyenne	médiocre	mauvaise

HC* : Hors classe.

7.2. Traitement des Données Statistique :

7.2.1. Analyse en composantes principales (ACP) :

L'ACP vise à fournir une représentation synthétique et graphique de P individus dans un espace à dimensions réduites (généralement en 2 ou 3 dimensions), tout en sachant que nous évoluons dans un espace à n dimensions, où n représente le nombre de variables mesurées. L'approche méthodologique privilégiée consiste à générer de nouvelles variables synthétiques non corrélées entre elles et de variance décroissante, désignées sous le nom de composantes principales, à partir de combinaisons linéaires de variables initiales. Cette démarche a pour objectif de minimiser la perte d'information lors de la réduction des dimensions ou de maximiser la variance totale. La description des caractéristiques physico-chimiques est souvent réalisée à l'aide de l'analyse en composantes principales (Carrel et al., 1986).

7.2.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH) :

La base des méthodes de classification hiérarchique ascendante (CAH) est le degré de similarité, ou plus précisément le degré de dissimilarité, entre les individus. La CAH vise à reproduire des groupes caractérisés par un ensemble précis de variables. Veuillez trouver ci-dessous la liste de vos caractères. Dans le cadre de la démarche d'optimisation des processus de stockage, la procédure consiste à créer des classes (paquets) en rangeant les objets deux à deux de manière séquentielle. Cette approche permet d'établir une hiérarchie pour le partitionnement des objets, garantissant ainsi une gestion efficace et rationnelle de l'espace de stockage.

La distance euclidienne est l'indice de similarité utilisé pour les CAH réalisés. Les présentations ont été structurées sous forme d'arborescences de racine, permettant une navigation fluide et intuitive.

CHAPITRE 3

Resultats Et Discussions

1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de Oued M'zi :

Au site S1, l'eau apparaît faiblement minéralisée, mais révèle des signes évidents de pollution organique ou nutritionnelle. Bien que la conductivité (986 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et la concentration en solides dissous totaux (485 mg/L) figurent parmi les plus faibles relevées, on observe un taux d'ammonium élevé (0,96 mg/L) ainsi qu'une turbidité très importante (43,9 NTU). Ce pic d'ammonium est souvent associé à la présence d'eaux usées domestiques, de rejets industriels ou de ruissellements agricoles riches en engrais (Dodds, 2010). De plus, l'eau fortement trouble témoigne d'une forte charge en particules en suspension : matière organique, sédiments lessivés, voire prolifération algale induite par un excès de nutriments (Carpenter et al., 1998 ; Bilotta et Brazier, 2008). Il s'agit là du profil typique d'un cours d'eau peu minéralisé à l'origine, mais lourdement affecté par des apports directs de pollution.

Le site S2 présente un profil hydrochimique nettement distinct : il se caractérise par une minéralisation moyenne, mais affiche une signature chimique particulièrement marquée. L'eau y est notablement riche en magnésium (202 mg/L) et en bicarbonates (210 mg/L), une combinaison qui traduit l'influence géochimique de formations rocheuses telles que la dolomie ou certains silicates magnésiens présents dans le sous-sol (Drever, 1997 ; Wetzel, 2001). La concentration en ammonium y est quasi nulle (0,02 mg/L), ce qui distingue ce site à la fois du profil pollué de S1 et du caractère salin prononcé des sites S3 et S4. Contrairement à ces derniers, la qualité de l'eau à S2 semble largement façonnée par des processus géologiques naturels, plutôt que par des sources de pollution anthropique.

Les sites S3 et S4 présentent des caractéristiques hydrochimiques très similaires, marquées par une forte minéralisation. La conductivité électrique y atteint des valeurs élevées (entre 2460 et 2473 $\mu\text{S}/\text{cm}$), accompagnée de solides dissous totaux (TDS) compris entre 1250 et 1265 mg/L, ainsi qu'une dureté totale importante (1000 mg/L). Ces eaux sont également enrichies en calcium (288 mg/L), chlorures (326 mg/L) et sulfates (345,9 mg/L). Ce phénomène de salinisation secondaire est typiquement associé à des pressions anthropiques, telles que le ruissellement urbain, les rejets industriels, ou l'agriculture intensive (Kaushal et al., 2005 ; Walsh et al., 2005).

L'absence quasi totale d'ammonium et de phosphates indique que ces sels n'ont pas une origine domestique, mais proviennent plutôt de sources non organiques : sels industriels, fondants routiers ou eaux de drainage agricole fortement chargées en minéraux.

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de Oued M'zi.

S	Cond	TDS	SAL	T°	PH	Tub	TH	CA+	Mg	cl-	HCO3	SO4	NH4	Fe	P04
S1	986	485	0.4	13	8.53	43.9	450	168	7.49	149	158	167.8	0.96	0	0.01
S2	1881	946	0.9	12.6	8.47	2.36	600	188	2023	326	210	327	0.02	0.01	0
S3	2460	1250	1.2	13	8.37	1.66	1000	288	68.4	326	150	345.9	0	0	0
S4	2473	1265	1.2	13	8.37	1.69	1000	288	68.4	326	150	345.9	0	0	0

2. Biodiversité des macro-invertébrés benthiques :

2.1. Fréquence d'abondance par ordre :

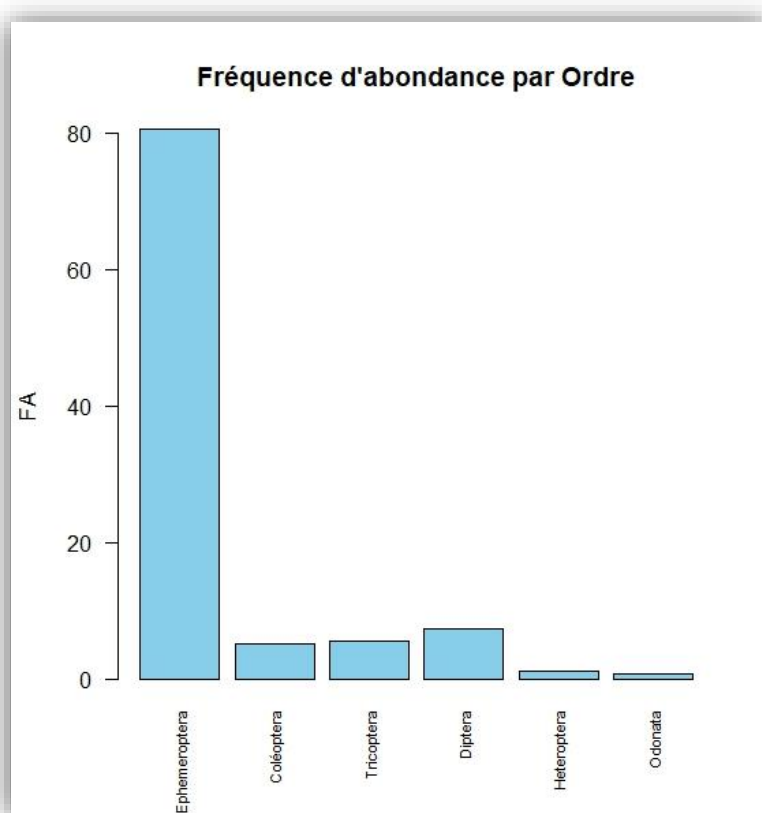


Figure 21: Fréquence d'abondance (AF %) des ordres de macro-invertébrés collectés sur l'ensemble des sites d'étude

L'histogramme de fig 21 « Fréquence d'abondance par ordre » illustre la répartition relative de six ordres de macro-invertébrés. Les Éphéméroptères se distinguent nettement comme l'ordre le plus dominant, représentant environ 80 % de l'abondance totale. Les Diptères suivent, avec une fréquence d'environ 8 %, tandis que les Coléoptères et les Trichoptères affichent des fréquences bien plus faibles, avoisinant 5 % chacun. Les Hétéroptères et les Odonates, quant à eux, sont faiblement représentés, avec une fréquence d'environ 1 % chacun. Cet écart significatif souligne la prédominance des Éphéméroptères au sein de la communauté de macro-invertébrés, surpassant largement les autres groupes taxonomiques recensés.

Les éphéméroptères sont extrêmement sensibles à la pollution, notamment à la faible teneur en oxygène dissous, aux métaux lourds et aux micro-plastiques. Leur domination écrasante est donc un signal crucial. Cette évaluation des conditions environnementales favorables est encore renforcée par la cooccurrence d'autres ordres sensibles, tels que les trichoptères. (Hamdhani, 2024; Benhadji et al., 2025)

L'existence d'ordres tels que les coléoptères, les diptères, les hétéroptères et les odonates au sein d'une communauté dominée par des taxons sensibles indique un écosystème diversifié, fonctionnellement fort et capable de maintenir des interactions complexes dans le réseau trophique, ainsi qu'une intégrité écologique globale, malgré les variations de leurs niveaux de tolérance à la pollution. Cette composition suggère des environnements physiques stables, une qualité de l'eau constamment élevée et une perturbation humaine minimale. (Kenney et al., 2009)

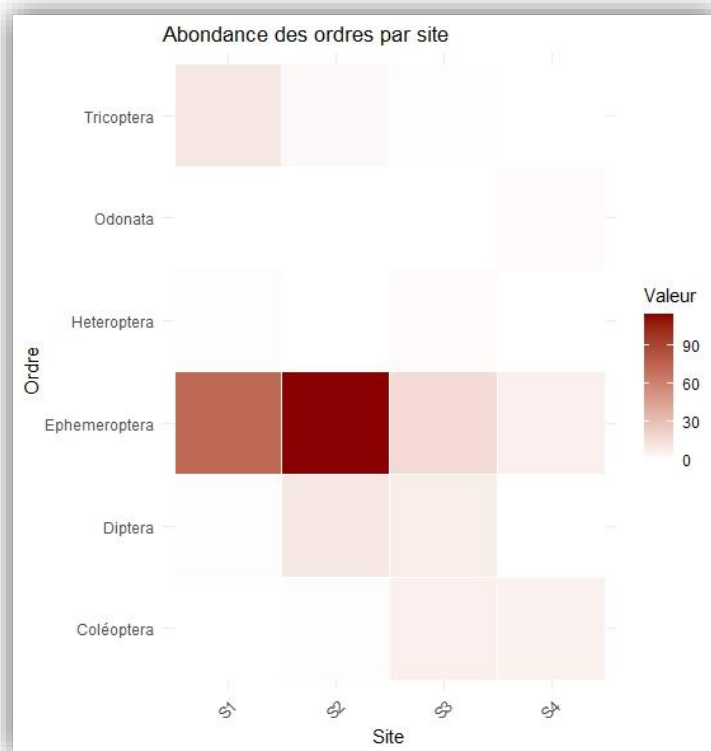


Figure 22: Heatmap montrant la distribution des ordres de macro-invertébrés entre les différents sites d'échantillonnage (le gradient de couleur reflète la fréquence d'abondance, les teintes plus foncées indiquant des valeurs plus élevées).

Le heatmap de Fig 22 illustre clairement un gradient dans la présence globale macro-invertébrés, avec des abondances significativement plus élevées remarquée sur les sites S1 et S2 que sur les sites S3 et S4. La caractéristique la plus frappante est l'abondance exceptionnellement élevée d'éphémères sur les sites S1 et S2 comme l'indique la valeur rouge la plus foncée, proche de 90. La dominance des éphéméroptères

par rapport aux autres ordres est particulièrement prononcée sur ces deux sites. Outre les éphéméroptères, les trichoptères et les odonates affichent également une présence faible sur les sites S1 et S2, comme l'indiquent les teintes rouges plus claires. Cela suggère une communauté relativement diversifiée bien que moins abondante que la communauté d'éphémères. En revanche, les Hétéroptères, les Diptères et les Coléoptères présentent une abondance faible à très faible aux points S1 et S2. Les éphémères sont très sensibles à la pollution et à la dégradation de l'habitat, ce qui fait de leur présence florissante un indicateur fort d'une qualité d'eau bonne à excellente et de conditions d'habitat stables (Jacobus et al., 2019).

Les éphéméroptères, les odonates et les hétéroptères sont presque absents à S4 et S3, ce qui indique un stress environnemental considérable dans ces zones. Ces zones sont susceptibles de présenter des conditions défavorables à la vie des insectes aquatiques. Le nombre extrêmement faible de trichoptères, de diptères et de coléoptères à S3 et S4 implique que même les espèces les plus tolérantes de ces ordres sont affectées, ou que seules des familles ou des espèces exceptionnellement résistantes peuvent survivre dans ces conditions défavorables. Par exemple, si certains Diptères, tels que les Chironomidae, sont connus pour tolérer la pollution, leur rareté indique un environnement contaminé. (Jasrotia et al., 2024)

2.2. Fréquence d'abondance par Famille :

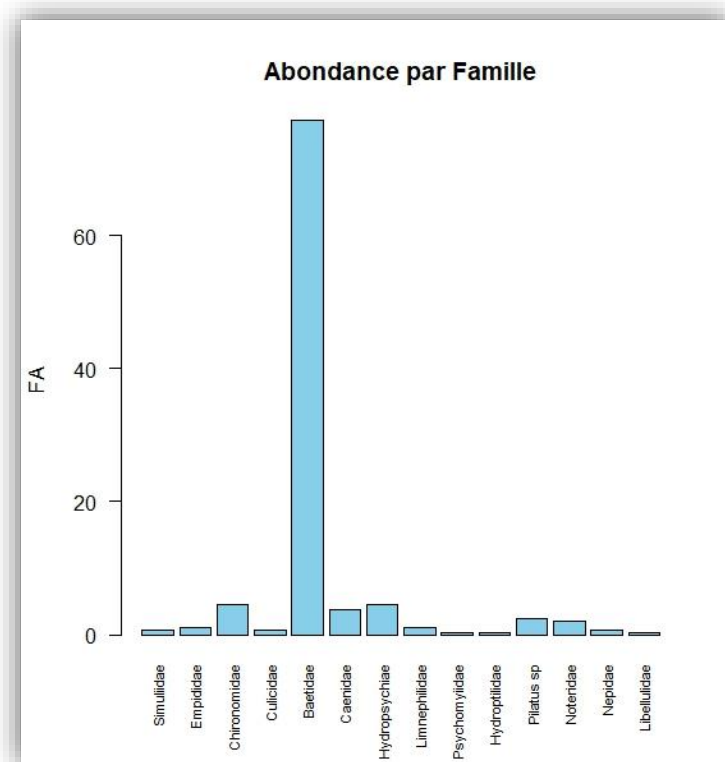


Figure 23:Fréquence d'abondance (AF %) des familles de macro-invertébrés collectées sur l'ensemble des sites d'étude.

Ce graphique de fig 23 offre une image plus détaillée de l'abondance des macro-invertébrés en les classant par famille plutôt que par ordre, ce qui permet d'obtenir des informations plus précises sur l'état de santé de l'écosystème.

La caractéristique la plus frappante est l'abondance extrême des Baetidae, une famille de l'ordre des Ephemeroptera (éphémères). Alors que les Baetidae sont souvent considérés comme très répandus et omniprésents, les éphémères en général sont très sensibles aux altérations de l'environnement et sont d'excellents indicateurs de la bonne qualité de l'eau. Cette forte dominance suggère que les conditions sont très favorables à cette famille d'éphémères.(Gattolliat et al. 2023)

La famille de Chironomidae présente la deuxième plus grande abondance, bien qu'elle soit nettement inférieure à celle des Baetidae, ils sont largement utilisés comme bioindicateurs et peuvent s'adapter à diverses conditions environnementales, ce qui permet de prévoir la contamination. Leur présence, même à des niveaux inférieurs, indique une composante de la communauté qui peut être plus tolérante à une gamme de conditions.(Shahidi-Hakak et al., 2022)

La famille des Hydropsychidae est également remarquable. Les larves d'Hydropsychidae préfèrent les eaux courantes et bien oxygénées et sont sensibles aux changements de qualité et de débit de l'eau, ce qui en fait des bio-indicateurs utiles. (Higler et Tolkamp, 1983)

Les Caenidae sont une autre famille d'éphéméroptères qui existe à un niveau similaire à celui des Hydropsychidae. Alors que les éphémères sont généralement sensibles, les larves de Caenidae préfèrent les eaux stagnantes ou à faible courant, riches en limon et en matières organiques (**Rossaro et al., 2022**)

Des familles comme Simuliidae, Empididae, Culicidae, Limnephilidae, Psychomyiidae, Hydroptilidae, Noteridae, Nepidae, et Libellulidae sont présentes en très petit nombre. La faible abondance de certains d'entre eux, comme les Limnephilidae et les Hydroptilidae (généralement sensibles), et les Libellulidae (également des bio-indicateurs sensibles), pourrait suggérer que si les conditions générales sont favorables aux groupes sensibles (comme les Baetidae), il pourrait y avoir des limitations spécifiques des microhabitats ou des facteurs de stress qui empêchent ces autres familles de prospérer. Inversement, la faible présence de groupes plus tolérants comme les Culicidae (certaines espèces indiquent une pollution par les métaux) pourrait suggérer que les conditions ne sont pas sévèrement dégradées pour favoriser ces espèces hautement tolérantes.(Tubić et al., 2024)

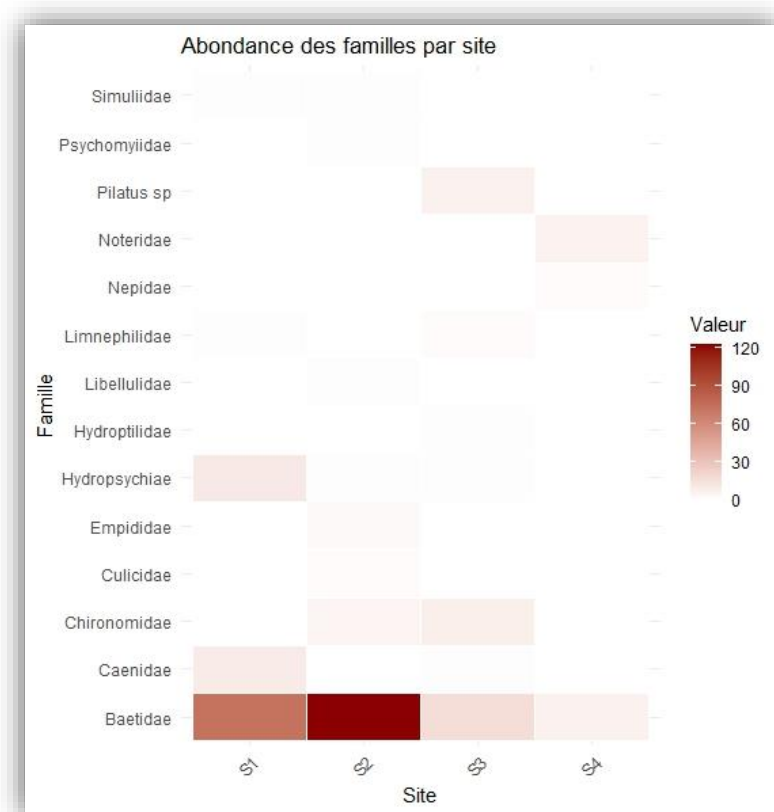


Figure 24: Heatmap illustrant la distribution des familles de macroinvertébrés entre les différents sites d'échantillonnage (le gradient de couleur reflète la fréquence d'abondance, les teintes plus foncées indiquant des valeurs plus élevées).

La heatmap de fig 24 révèle une distribution spatiale très hétérogène de l'abondance des Baetidae. Déjà identifiée comme famille dominante lors d'une analyse précédente, elle conserve sa prééminence sur l'ensemble des sites, bien que son abondance varie d'un site à l'autre. Le site S2 enregistre la plus forte présence, tandis que les autres sites présentent des niveaux d'abondance moindres.

La famille des Caenidae est présente avec une abondance notable au site S1, mais elle est relativement moins abondante voire absente dans les autres sites. Les Chironomidae montrent une abondance modérée aux sites S1 et S2, tandis que leur présence est très faible ou nulle aux sites S3 et S4. Quant aux Hydropsychidae, ils sont exclusivement présents au site S1, où ils affichent une abondance modérée.

De nombreuses familles (Simuliidae, Psychomyiidae, Noteridae, Nepidae, Limnephilidae, Libellulidae, Hydroptilidae, Empididae, Culicidae) affichent des abondances très faibles ou sont complètement absentes.

Les sites S1 et S2 sont dominés par les Baetidae, accompagnés de quelques Hydropsychidae. La présence majoritaire de ces familles, connues pour leur sensibilité à la pollution, témoigne d'une excellente qualité de l'eau et d'écosystèmes aquatiques globalement sains. En revanche, le site S3 montre un déclin

significatif des familles sensibles, telles que les Baetidae, et se caractérise par la présence faible de groupes plus tolérants comme les Chironomidae et certains Coléoptères (par exemple Platys sp., Noteridae), ce qui suggère un stress environnemental modéré.

Enfin, le site S4 présente une quasi-absence de toutes les familles d'insectes aquatiques, en particulier des groupes sensibles, ce qui indique une dégradation environnementale sévère ou des conditions d'habitat fortement altérées (Jasrotia et al., 2024).

2.3. Liste systématique :

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques nous a permis de dresser une liste systématique de l'ensemble des taxons identifiés. Cet inventaire englobe un total de 18 genres/espèces répartis sur 6 ordres ou classes et 14 familles (Tableau. 5).

Tableau 5: Liste des macro-invertébrés benthiques récoltés sur l'ensemble des sites d'échantillonnage dans Oued M'zi - Laghouat

Phylum	Class	Ordre	Famille	Genre	
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	<i>Simuliidae ind</i>	
			Empididae	<i>Empididae ind</i>	
			Chironomidae	<i>Chironomidae und</i>	
			Culicidae	<i>Culicidae ind</i>	
		Ephemeroptera	Baetidae		<i>Baetis sp</i>
					<i>Baetis pavidus</i>
					<i>Cloeon sp</i>
			Caenidae	<i>Brachycercus sp</i>	
		Trichoptera	Hydropsychiae		<i>H. maroccana Navás</i>
					<i>Hydropsyche sp</i>
			Limnephilidae	<i>Misophylax SP</i>	
			Psychomyiidae	<i>Psychomyiidae ind</i>	
		Coleoptera	Hydroptilidae	<i>Orthotrichia sp</i>	
			Hydraenidae	<i>Hydraenidae ind</i>	
			Noteridae	<i>Noterus sp</i>	
		Heteroptera		<i>Pilatus sp</i>	
			Nepidae	<i>Nepa sp</i>	
		Odonata	Libellulidae	<i>Orthétium sp</i>	

3. Structure et organisation des peuplements des macro-invertébrés benthiques :

3.1. Facteurs de l'environnement

3.1.1. Analyse en composante principale ACP :

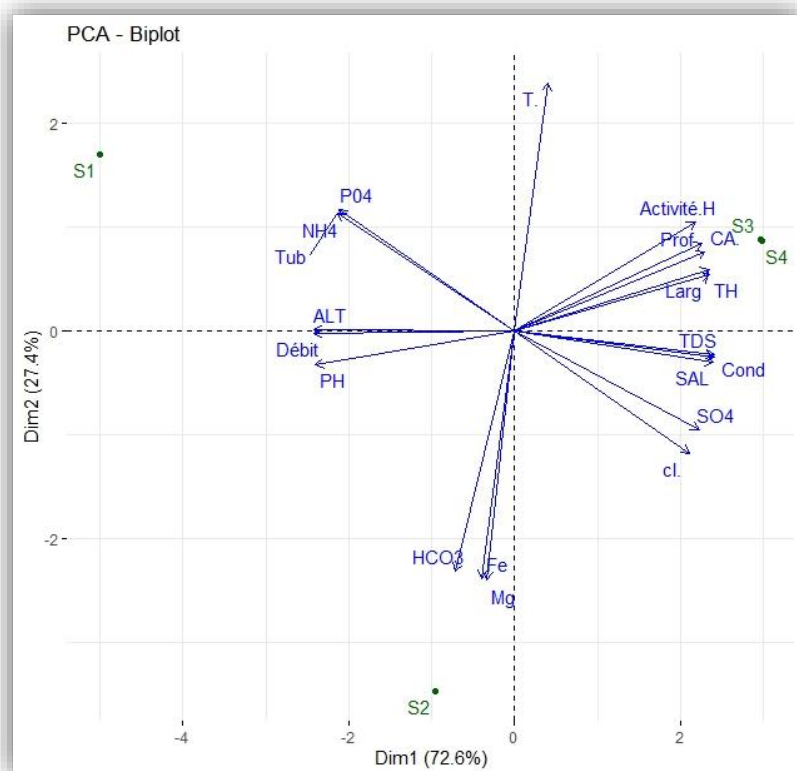


Figure 25: Biplot PCA Biplot de l'analyse en composantes principales (ACP) montrant la corrélation entre les variables environnementales et les sites d'échantillonnage.

Cette Biplot PCA de fig 25 résume effectivement 100 % de la variation environnementale entre les quatre sites à l'aide de deux dimensions. La répartition de ces échantillons est déterminée par des paramètres spécifiques de la qualité de l'eau. Les échantillons S3 et S4 sont fortement associés à des niveaux élevés de conductivité (Cond), de solides dissous totaux (TDS), de salinité (SAL), de sulfate (SO4), de chlorure (Cl), de dureté totale (TH), de calcium (CA), de profondeur (Prof), de largeur (Larg) et d'activité.H, ce qui indique une eau fortement minéralisée et saline. En outre, l'échantillon S1 est caractérisé par des niveaux élevés de phosphate (PO4), d'ammoniaque (NH4) et de turbidité (Tub), ce qui indique un enrichissement significatif en nutriments et en matières en suspension, souvent révélateur d'une pollution organique et d'un risque d'eutrophisation, L'échantillon S2 présente un profil distinct lié au fer (Fe), au magnésium (Mg) et au bicarbonate (HCO), avec une relation inverse au pH, indiquant des conditions qui favorisent la solubilité et la biodisponibilité potentielle de ces métaux. (Guenouche et al. 2024).

3.1.2. Le dendrogramme de classification hiérarchique CAH :

CAH réalisée sur la composition faunistique des stations distingue quant à elle trois configurations principales d'après fig 26 . Les stations S1 et S4 forment un binôme faunistiquement quasi identique, révélant des conditions abiotiques et biotiques très proches. S3 s'y rattache ensuite à une distance modérée, suggérant un gradient léger de nutriments ou de teneur en oxygène (Bailey et al, 2004) . En outre S2 apparaît entièrement isolée, témoignant d'une pression locale distincte, telle qu'une pollution ponctuelle ou un aménagement anthropique. Ces deux niveaux de regroupement offrent un cadre interprétatif solide pour l'évaluation des variations de la macro-invertébrés et pour la définition de stratégies de suivi et de préservation des milieux aquatiques.

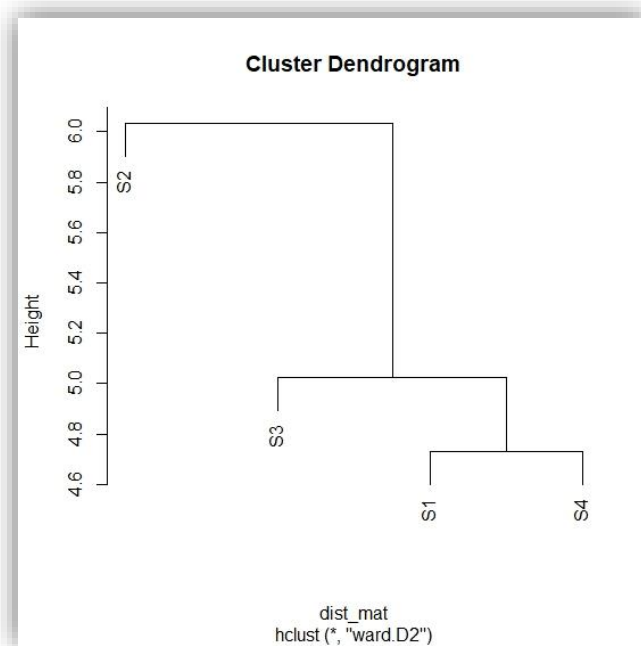


Figure 26: Dendrogramme de classification hiérarchique corrobore l'ACP en classant les sites selon leurs similarités environnementales.

3.2. Diversité des familles

3.2.1. Analyse de composante principale ACP

Ce biplot fig 27 PCA donne une image claire de la façon dont les communautés de macro-invertébrés diffèrent entre nos quatre stations d'échantillonnage (S1, S2, S3, S4). Les deux premiers modèles principaux capturés par l'analyse expliquent une grande majorité (74,6 %) des différences que nous observons dans la vie des insectes, ce qui nous donne une bonne confiance dans ce qu'il montre (Figure 27) . Si l'on considère les stations elles-mêmes, S1 et S4 se regroupent étroitement dans le coin inférieur gauche, ce qui signifie que leurs communautés d'insectes sont remarquablement similaires et partagent probablement des conditions d'habitat très comparables. En revanche, la station S2 se détache nettement dans le coin supérieur droit, faisant clairement bande à part sur le plan écologique. S3 est également unique, positionnée seule en haut à gauche, et présente un schéma très différent des autres. Cette nette séparation

spatiale sur le graphique suggère fortement que chaque site, ou groupe de sites, connaît des conditions environnementales différentes.

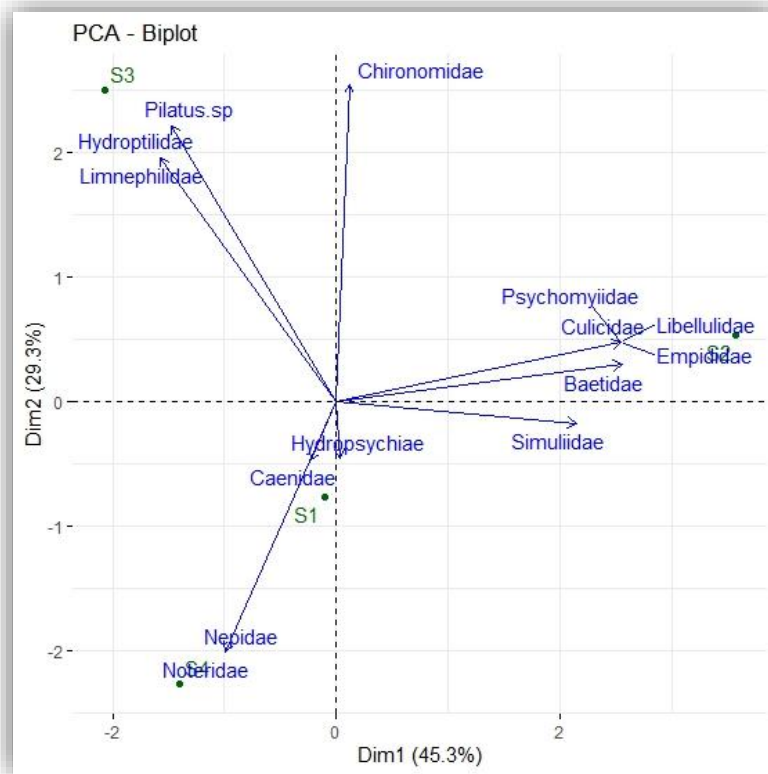


Figure 27: Biplot de l'analyse en composantes principales (ACP) montrant la corrélation entre les familles d'invertébrés aquatiques et les sites d'échantillonnage

En zoomant sur les insectes eux-mêmes, nous voyons des groupes distincts regroupés près de leurs stations préférées. Les stations S1 et S4 sont dominées par des coléoptères comme les Noteridae et les Nepidae, ainsi que par l'éphémère Caenidae. Cette combinaison, en particulier la présence des Caenidae, plus tolérants, indique des eaux stagnantes ou à faible courant avec de la végétation, peut-être avec un certain enrichissement organique ou des niveaux d'oxygène plus faibles. Le S2, associé aux Libellulidae, de la danse Empididae, Culicidae, aux Psychomyiidae, Baetidae et Simuliidae, semble plus sain dans l'ensemble.

La présence de groupes sensibles comme les Baetidae et les Libellulidae suggère une qualité d'eau généralement bonne, tandis que le mélange indique également des eaux courantes Simuliidae à côté de quelques points stagnants Culicidae. S3 est plus complexe, lié à des micro-caddies sensibles Hydroptilidae et à des trichoptères constructeurs Limnephilidae, indiquant une bonne qualité de l'eau, mais aussi fortement influencé par les Chironomidae, souvent tolérants.

Ce mélange d'insectes sensibles et tolérants suggère des problèmes potentiels tels que l'enrichissement organique ou la sédimentation dans certaines parties de S3, ce qui en fait un site qui mérite

un examen plus approfondi. Le graphique indique également que l'un des principaux modèles (Dim1) reflète probablement un passage d'habitats plus lents et enrichis (à gauche) à des cours d'eau plus rapides et plus sains (à droite), tandis que l'autre (Dim2) pourrait être lié à des facteurs tels que le substrat ou la matière organique qui affectent la distribution des insectes. (Espinar-Herranz et al. 2025)

3.2.2. Le dendrogramme de classification hiérarchique CAH

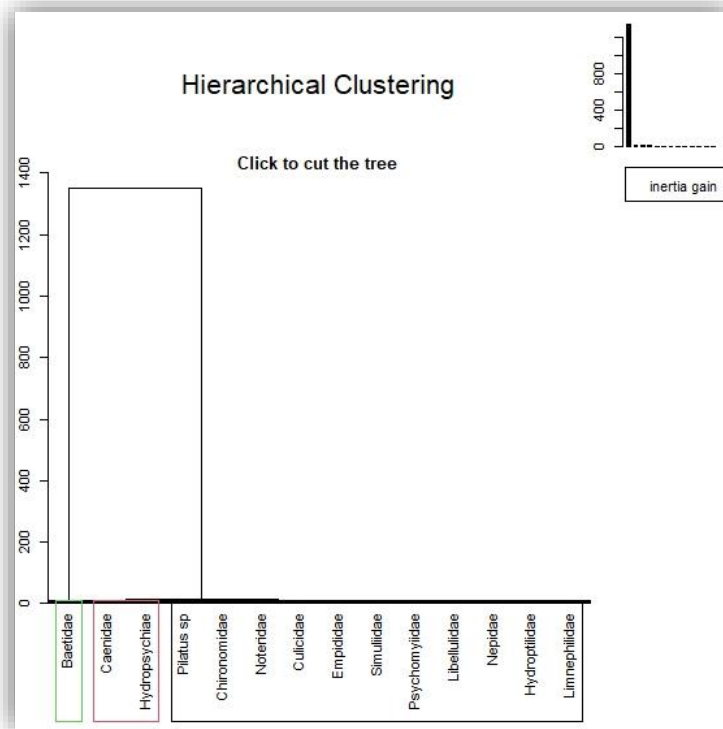


Figure 28: Dendrogramme de classification hiérarchique valide l'ACP en regroupant les sites selon les similarités de composition en familles.

La CAH de fig 28 appliquée aux abondances familiales met en évidence trois ensembles écologiquement pertinents. En premier lieu, Baetidae forme un groupe isolé, soulignant sa sensibilité particulière aux variations physico-chimiques du milieu (Merritt 2024). En deuxième lieu, le cluster Caenidae–Hydropsychidae–Platius reflète des exigences trophiques et d'habitat intermédiaires, en accord avec les guildes filtreuses-collectrices décrites par (Barbour et al, 1999). Enfin, la dernière agrégation regroupe les autres familles (Chironomidae, Notonectidae, Culicidae, Empididae, etc.), traduisant une tolérance commune à un large éventail de conditions environnementales. (Rosenberg 1993)

4. Evaluation de la biodiversité

Le site S1, précédemment identifié comme ayant un taux élevé d'ammonium (NH_4) et de turbidité, présente une communauté biologique caractéristique d'une pollution organique modérée. Alors que la richesse en espèces (Richesse Sp : 7) est faible, l'abondance (87) est modérée. Les métriques les plus parlantes sont l'indice de dominance extrêmement élevé (berger parker : 0,85) et le fait que presque tous les individus appartiennent aux taxons de l'EPT (ET : 85). L'indice de Berger-Parker indique que 85% de la communauté est composée de l'unique espèce la plus abondante (Magurran, 2004) .

On observe faible diversité couplée à une forte dominance de quelques espèces tolérantes - est un signe classique d'un écosystème stressé par l'enrichissement organique, qui élimine les espèces sensibles tout en permettant à quelques espèces résilientes de prospérer (Rosenberg, 1993). Le fait que les taxons dominants appartiennent au groupe ET (Ephéméroptères, Trichoptères), qui sont souvent considérés comme sensibles suggère que la pollution favorise des membres spécifiques et plus tolérants de ces ordres.

Le site S2, caractérisé par une forte teneur en magnésium (Mg), en bicarbonates (HCO_3^-) et par une minéralisation intermédiaire, abrite la communauté biologique la plus robuste et la plus diversifiée de l'ensemble des sites étudiés. Il présente la plus grande richesse spécifique (15 espèces), la plus forte abondance totale (142 individus) ainsi que la plus haute abondance en taxons sensibles à la pollution (117 individus), ce qui indique une bonne qualité de l'eau et des conditions d'habitat favorables à un large éventail d'organismes (Wallace et al., 1996).

Son indice de diversité de Shannon ($H' = 2,17$) est également élevé, reflétant à la fois une grande richesse spécifique et une répartition relativement équilibrée des individus entre les espèces, en comparaison avec le site S1, bien qu'une certaine dominance soit encore observée (indice de Berger-Parker = 0,81). Ces résultats suggèrent que l'environnement physico-chimique, bien que distinct, est stable, et qu'il favorise à la fois la productivité biologique et la diversité écologique au site S2.

Les sites S3 et S4, précédemment définis par leur minéralisation extrêmement élevée et leur activité anthropogénique, présentent des communautés biologiques gravement stressées et appauvries. Cela correspond au principe selon lequel une salinité et une conductivité élevées créent des conditions osmotiques difficiles que peu d'espèces d'eau douce peuvent tolérer (Kefford et al., 2003; Piscart et al., 2005).

- **Le site S3** présente une communauté à la fois peu abondante (35 individus) et pauvre en taxons EPT (18 individus), ces derniers étant reconnus pour leur sensibilité à la pollution. Cette communauté se caractérise par une forte proportion de Chironomidae (22,85 %), une famille largement connue pour sa tolérance aux facteurs de stress environnementaux, notamment à des niveaux élevés de salinité (Armitage et al., 2012 ; Zerguine, 2021).

Bien que la diversité de Shannon ($H' = 2,29$) et la régularité ($Eq = 0,76$) soient relativement élevées, ces valeurs doivent être interprétées avec prudence. Elles reflètent une répartition uniforme des individus entre un nombre réduit d'espèces, ce qui est typique d'une communauté appauvrie. Autrement dit, ces indices élevés ne traduisent pas une richesse écologique, mais simplement une homogénéité dans une communauté biologiquement affaiblie.

- **Le site S4** représente l'état le plus dégradé sur le plan biologique. La faible richesse spécifique (4 espèces), la faible abondance totale (15 individus), la diversité de Shannon réduite ($H' = 0,52$) ainsi que la régularité très basse ($Eq = 0,26$) témoignent clairement d'une communauté fortement stressée (Magurran, 2004). Cet appauvrissement biologique marqué, caractérisé notamment par l'absence quasi totale des taxons EPT (Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères), reconnus pour leur sensibilité à la pollution (Rosenberg, 1993), constitue une preuve biologique directe des conditions environnementales défavorables.

Cette dégradation prononcée de la communauté est étroitement liée aux niveaux extrêmes de conductivité et de solides dissous totaux mesurés sur ce site. En effet, une salinité élevée engendre un stress osmotique important, responsable de l'exclusion de la majorité des espèces d'invertébrés d'eau douce (Cañedo-Argüelles et al., 2013 ; Kefford et al., 2003).

Tableau 6: Valeurs des indices calculés sur les stations d'étude

Stations	Richesse Spécifique	Abondance	ET	Chironomidae	H'	Eq	Berger Parker
S1	7	87	85	0	1.73	0.61	0.850574713
S2	15	142	117	3.52%	2.17	0.55	0.816901408
S3	8	35	18	22.85%	2.29	0.76	0.457142857
S4	4	15	7	0	0.52	0.26	0.466666667

5. Evaluation de la qualité biologique des stations

IBGN révèle une qualité de l'eau gravement dégradée dans 75 % des stations surveillées (S1, S3, S4), toutes classées comme « médiocres » (classe 3) avec des scores IBGN extrêmement bas (5-7) et une diversité réduite des macro-invertébrés (classe de variété : 4-6), ce qui indique un stress écologique généralisé et la domination par des taxons tolérants à la pollution. Seule la station S2 présente une santé écologique acceptable, avec une qualité « bonne » (classe 1B), une valeur IBGN robuste (15) et une richesse taxonomique élevée (classe de variété : 14), ce qui signifie que la communauté benthique est équilibrée. Ce contraste spatial frappant souligne les besoins urgents de remédiation sur les sites dégradés tout en mettant en évidence la station S2 comme condition de référence régionale méritant d'être protégée.

Tableau 7 : Grille d'appréciation de la qualité biotique de l'eau des 4 stations étudiés.

Sites	Variety class	IG	IBGN value	Class quality	Water Quality
S1	4	3	6	3	Poor
S2	14	2	15	1B	Good
S3	6	2	7	3	Poor
S4	4	2	5	3	Poor

Conclusion

En associant l'analyse chimique de l'eau à l'étude des insectes et autres petites créatures vivant dans l'eau, cette thèse vise à dresser un tableau complet de la santé de quatre sites locaux. Les données recueillies révèlent un contraste saisissant, un spectre de conditions allant d'un écosystème relativement sain et prospère à des sites gravement endommagés. Les données indiquent que ces différences sont dues à deux facteurs principaux : une charge importante et généralisée de sels dissous directement liée à l'activité humaine et un problème plus localisé de pollution par les nutriments.

Un examen attentif de chaque site révèle une histoire qui lui est propre. Le site S2 s'est distingué comme étant le plus sain. La composition chimique de son eau, naturellement riche en magnésium et en bicarbonates, semble être un produit de la géologie locale et permet une vie riche et abondante. Il s'agit d'une base vitale, mais elle contraste fortement avec le site S1, qui est manifestement confronté à un autre type de problème. L'eau trouble et les niveaux élevés d'ammoniac y ont créé un environnement stressé où, au lieu d'une communauté diversifiée, on observe un grand nombre d'espèces robustes capables de supporter la pollution.

Les sites S3 et S4 sont les plus menacés. L'eau y est surchargée de sels dissous, une situation que nous avons pu relier directement à l'activité humaine dans la région. Les conséquences pour l'écosystème sont dévastatrices. Les communautés biologiques ont été décimées et, sur le site S4, la vie a presque complètement disparu. C'est l'image brutale d'un écosystème poussé jusqu'à son point de rupture.

La véritable force de cette recherche a été de constater le lien indéniable entre la chimie de l'eau et la vie qu'elle abrite. L'histoire de la pollution ou de la salinité élevée était inscrite dans les données chimiques, et nous pouvions voir l'impact réel se refléter dans les communautés d'insectes en difficulté. Ce lien étroit signifie que nous ne pouvons pas utiliser une solution unique. Pour restaurer le site S1, les efforts de gestion doivent se concentrer sur le repérage et l'élimination des sources de pollution par les nutriments. Le défi à relever sur les sites S3 et S4 est beaucoup plus vaste et nécessite une stratégie de contrôle et de réduction de la contamination par le sel qui empoisonne l'eau.

Naturellement, cette étude représente un instantané dans le temps. Un ruisseau ou une rivière est un système vivant qui évolue au fil des saisons, de sorte qu'une surveillance continue permettrait certainement d'approfondir nos connaissances. Il serait également très utile d'identifier les activités spécifiques - qu'elles soient industrielles, agricoles ou urbaines - qui déversent des sels dans l'eau aux points S3 et S4. En fin de compte, ce travail a permis de poser des bases claires. Il montre que la santé de ce système d'eau est en suspens, prise entre les pressions d'une pollution localisée et d'une salinité généralisée. La voie à suivre n'est pas simple, mais elle doit être guidée par une compréhension des défis distincts auxquels chaque partie de cet écosystème vital est confrontée.

L'étude actuelle fournit un instantané de l'état écologique de quatre stations, cependant les pressions environnementales telles que les apports en nutriments et la salinité présentent souvent une forte variabilité

Conclusion

saisonnaire. Il conviendrait donc d'instaurer un protocole de suivi annuel intégrant des mesures hydrologiques, physico-chimiques et biologiques, afin de distinguer les événements ponctuels (par ex. pics de nutriments après précipitations) des stress chroniques. Par ailleurs, bien que les quatre stations sélectionnées révèlent des gradients environnementaux nets, les impacts anthropiques et les signatures géochimiques s'étendent vraisemblablement au-delà de ces points. L'élargissement de l'échantillonnage aux affluents et zones humides aval permettrait de préciser la connectivité longitudinale et les effets cumulatifs à l'échelle du bassin versant. Enfin, une approche socio-écologique est indispensable : croiser les données scientifiques avec un inventaire détaillé des usages du sol et des consultations d'acteurs locaux renforcera les inférences causales sur les sources de pollution et favorisera l'élaboration conjointe de stratégies d'atténuation.

Perspectives :

À l'avenir, un suivi saisonnier permettra de mieux comprendre les variations naturelles et les pics de pollution, tandis que l'extension de l'étude à d'autres zones du bassin versant aidera à évaluer les effets cumulatifs. Enfin, intégrer une approche socio-écologique facilitera la mise en place de stratégies adaptées, en tenant compte des usages locaux et des enjeux environnementaux.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- ❖ Adler P.H., Courtney G.W., 2019. Ecological and Societal Services of Aquatic Diptera. *Insects*, 10(3): 70.
- ❖ AFNOR, 1992. Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N). 9p.
- ❖ Agropolis international, 2007. Ecosystèmes aquatiques: ressources et valorisation. 6. Montpellier.
- ❖ Aissaoui A., 2016. HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DE L'OUED M'ZI (LAGHOUAT, ALGERIE). Mémoire de magister, Université d'Oran 2.
- ❖ Allan J.D., Castillo M.M., 2009. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. 2. ed., Reprinted. Dordrecht: Springer.
- ❖ Allegrucci G., Carchini G., Todisco V., Convey P., Sbordoni V., 2006. A Molecular Phylogeny of Antarctic Chironomidae and Its Implications for Biogeographical History. *Polar Biology*, 29(4): 320-326.
- ❖ AMRANI O., 2021. Etude floristique et nutritive, spatiotemporelles, des principales plantes vivaces des parcours steppiques, naturels et aménagés, de la région de Laghouat. Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA.
- ❖ A.N.R.H., 2014. Rapport interne. Agence Nationale des ressources hydriques.
- ❖ Armitage P.D., Cranston P.S., Pinder L.C.V. (Eds.), 2012. *Chironomidae: Biology and Ecology of Non-Biting Midges*. Dordrecht: Springer-Science+Business Media, B.V.
- ❖ Bailey R.C., Norris R.H., Reynoldson T.B., 2004. Bioassessment of Freshwater Ecosystems: Fundamental Themes. In: Bailey R.C., Norris R.H., Reynoldson T.B. (Eds.), *Bioassessment of Freshwater Ecosystems*. Boston, MA: Springer US, pp. 1-15.
- ❖ Balian E.V., Segers H., Lévêque C., Martens K., 2008. The Freshwater Animal Diversity Assessment: An Overview of the Results. *Hydrobiologia*, 595(1): 627-637.
- ❖ Barbault R., 1992. *Ecologie des peuplements: structure, dynamique et évolution*. Paris Milan Barcelone: Masson.
- ❖ Barbosa J.E.D.L., Medeiros E.S.F., Brasil J., Cordeiro R.D.S., Crispim M.C.B., Silva G.H.G.D., 2012. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(1): 103-118.
- ❖ 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 edition. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.

Références Bibliographiques

- ❖ Benhadji N., Kurniawan S.B., Imron M.F., 2025. Review of Mayflies (Insecta Ephemeroptera) as a Bioindicator of Heavy Metals and Microplastics in Freshwater. *Science of The Total Environment*, 958:178057.
- ❖ Bewick V., Cheek L., Ball J., 2004. Statistics review 10: further nonparametric methods. *Critical Care*, 8(3): 196.
- ❖ Bilotta G.S., Brazier R.E., 2008. Understanding the Influence of Suspended Solids on Water Quality and Aquatic Biota. *Water Research*, 42(12): 2849-2861.
- ❖ BNEDER, 2014. Analyse de l’aptitude à la culture de l’olivier des sols de la région de Laghouat. Bureau National d’Etudes pour le Développement Rural. BNEDER.
- ❖ Bonada N., Prat N., Resh V.H., Statzner B., 2006. DEVELOPMENTS IN AQUATIC INSECT BIOMONITORING: A Comparative Analysis of Recent Approaches. *Annual Review of Entomology*, 51(1): 495-523.
- ❖ Bouchelaghem E.H., 2008. Caractérisation du peuplement Odonatologique du bassin versant des Oueds: Cherf – Seybouse. MAGISTER, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- ❖ Boughani A., 2014. Contribution à l’étude phytogéographique des steppes algériennes (Biodiversité et endémisme). Doctoral dissertation, USTHB.
- ❖ Bouhala Z., 2012. Contribution à l’étude des macro-invertébrés de Oued Charef (Oued Seybousse). MAGISTER, UNIVERSITE 08 MAI 1945 DE GUELMA.
- ❖ Bouzidi A., 1989. Recherches hydrobiologiques sur les cours d’eau des massifs du Haut Atlas (Maroc): bio-écologie des macro-invertébrés et distribution spatiale des peuplements. Doctoral dissertation, Aix-Marseille 3.
- ❖ Bracène R., Frizon De Lamotte D., 2002. The Origin of Intraplate Deformation in the Atlas System of Western and Central Algeria: From Jurassic Rifting to Cenozoic–Quaternary Inversion. *Tectonophysics*, 357(1-4): 207-226.
- ❖ Campbell N.A., 1995. *Biologie*. 3e éd. Bruxelles Saint-Laurent (Québec): De Boeck université Ed. du renouveau pédagogique.
- ❖ Cañedo-Argüelles M., Kefford B.J., Piscart C., Prat N., Schäfer R.B., Schulz C.-J., 2013. Salinisation of Rivers: An Urgent Ecological Issue. *Environmental Pollution*, 173:157-167.
- ❖ Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley A.N., Smith V.H., 1998. NONPOINT POLLUTION OF SURFACE WATERS WITH PHOSPHORUS AND NITROGEN. *Ecological Applications*, 8(3): 559-568.
- ❖ Dajoz R., 1996. *Précis d’écologie*. 6e éd. Paris: Dunod.
- ❖ Dajoz R., 2019. *Précis d’écologie*. 8e édition. Paris: Dunod.

Références Bibliographiques

- ❖ Dakki M., 1979. Recherches hydrobiologiques sur un cours d'eau du Moyen Atlas (Maroc). Doctoral dissertation, MARSEILLE 3.
- ❖ Dakki M., 1992. Étude nationale sur la biodiversité: faune aquatique continentale (invertébrés et poissons). Projet PNUE/GEF/6105-92, 121.
- ❖ Dallas H., 2018. Water temperature and riverine ecosystems: An overview of knowledge and approaches for assessing biotic responses, with special reference to South Africa. *Water SA*, 34(3): 393.
- ❖ Dambri B.M., 2021. macroinvertebrates of western Aures massif: Taxonomy; Ecology and Conservation. Doctoral dissertation, Université 8 Mai 1945 Guelma.
- ❖ Dame R.F., 2012. Ecology of Marine Bivalves: An Ecosystem Approach. 2nd ed. Marine Science Series. Boca Raton (Fla.): CRC press.
- ❖ Dickens C.W.S., Graham P.M., 2002. The South African Scoring System (SASS) Version 5 Rapid Bioassessment Method for Rivers. *African Journal of Aquatic Science*, 27(1): 1-10.
- ❖ Dodds W.K., 2010. Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology. 2nd ed. Aquatic Ecology Series. San Diego: Elsevier Science & Technology.
- ❖ Drever J.I., 1997. The Geochemistry of Natural Waters: Surfaces and Groundwater Environments. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- ❖ Dudgeon D., Arthington A.H., Gessner M.O., Kawabata Z.-I., Knowler D.J., Lévêque C., Naiman R.J., et al., 2006. Freshwater Biodiversity: Importance, Threats, Status and Conservation Challenges. *Biological Reviews*, 81(2): 163-182.
- ❖ Dynesius M., Nilsson C., 1994. Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science*, 266(5186): 753-762.
- ❖ El Agbani M.A., 1984. Le réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Bou Regreg (plateau central marocain): essai de biotopologie. Doctoral dissertation, Lyon I.
- ❖ Ramade F., 2005. Éléments d'écologie Écologie appliquée: Cours. 6e édition [entièrement refondue, mise à jour et Augmentée]. Paris: Dunod.
- ❖ Engelhardt W., Jürging P., Pfadenhauer J., Rehfeld K., Froidmont P., 1998. Guide Vigot de la vie dans les étangs, les ruisseaux et les mares: les plantes et les animaux des eaux de chez nous. Paris: Vigot.
- ❖ Espinar-Herranz S., Velázquez J., Pérez-Andueza G., Çiçek K., Rincón V., 2025. Aquatic Macroinvertebrates as Indicators of Climate Change in the Riparian Environments of the Mediterranean Region. *Land*, 14(3): 521.
- ❖ Everard M., Powell A., 2002. Rivers as Living Systems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 12(4): 329-337.

Références Bibliographiques

- ❖ Fekhaoui M., 1990. Recherche hydro biologiques sur le moyen Sebou soumis aux rejets de la ville de Fès: suivi d'une macropollution et évaluation de ces incidences sur les composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème. Doctoral dissertation, Fac. Sci. Rabat, Maroc.
- ❖ Gagnon É., Pedneau J., 2006. SurVol Benthos, guide du volontaire, programme de surveillance volontaire des petits cours d'eau. CVRB, Québec. Canada.
- ❖ Galbally I., Meyer C.P., Wang Y.-P., Kirstine W., 2010. Soil–Atmosphere Exchange of CH₄, CO₂, N₂O and NO_x and the Effects of Land-use Change in the Semiarid Mallee System in Southeastern Australia. *Global Change Biology*, 16(9): 2407-2419.
- ❖ Gattolliat J.-L., 2002. Etude systématique, cladistique et biogéographique des Baetidae (Ephemeroptera) de Madagascar. Doctoral dissertation, Université de Lausanne.
- ❖ Gattolliat J.-L., Samraoui B., Benhadji N., Kechemir L., Zrelli S., El Yaagoubi S., El Alami El Moutaouakil M., Sartori M., 2023. Baetidae (Baetidae, Ephemeroptera) in the Maghreb: state of the art, key, and perspectives. *ZooKeys*, 1139:137-163.
- ❖ Genin B., Chauvin C., Ménard F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques: pollution, méthodes, IBGN. 2e éd. Dijon: Éducagri.
- ❖ Ghougali F., Bachir A.S., Chaabane N., Brik I., Medjber R.A., Rouabah A., 2019. Diversity and distribution patterns of benthic insects in streams of the Aurès arid region (NE Algeria). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 48(1): 31-42.
- ❖ Gresens S., Smith R., Sutton-Grier A., Kenney M., 2009. Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: The intersection of science and policy. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2(2): 99-128.
- ❖ Guenouche F.Z., Mesbahi-Salhi A., Zegait R., Chouia S., Kimour M.T., Bouslama Z., 2024. Assessing Water Quality in North-East Algeria: A Comprehensive Study Using Water Quality Index (WQI) and PCA. *Water Practice & Technology*.
- ❖ Hafiane M., Maldji R., Imekraz G., Bouchelouche D., Saal I., Mebarki M., Arab A., 2023. Water Quality Influencing the Distribution of Benthic Macroinvertebrates at El Harrach River (North-Central Algeria). In: Kallel A., Barbieri M., Rodrigo-Comino J., Chaminé H.I., Merkel B., Chenchouni H., Knight J., et al. (Eds.), *Selected Studies in Environmental Geosciences and Hydrogeosciences. Advances in Science, Technology & Innovation*. Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 79-81.
- ❖ Hamdhani H., 2024. USE OF EPHEMEROPTERA AS A BIOINDICATOR FOR ASSESSING SURFACE WATER QUALITY IN INDONESIA. *Water Conservation & Management*, 8(3): 326-330.

Références Bibliographiques

- ❖ Hannachi A., 1981. Relations entre aquifères profonds et superficiels: hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'est de Laghouat, Wilaya de Laghouat (Algérie). Thèse de Doctorat, France: Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- ❖ Haouchine S., 2011. Recherches sur la faunistique et l'écologie des macro-invertébrés des cours d'eau de Kabylie. Mémoire de magister, université de Tizi Ouzou.
- ❖ Heishman A.S., McLusky R.G., 2013. Mayfly Mayday: The West Virginia Legislature Attempts To Redefine Compliance with the Narrative Water Quality Standards Through Senate Bill 562. *W. Va. L. Rev.*, 115.
- ❖ Hecke T.V., 2012. Power Study of Anova versus Kruskal-Wallis Test. *Journal of Statistics and Management Systems*, 15(2-3): 241-247.
- ❖ Higler L.W.G., Tolkamp H.H., 1983. Hydropsychidae as Bio-Indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 3(3-4): 331-341.
- ❖ Houyou Z., 2015. Impact de la mise en culture en pluvial sur la dégradation du sol par érosion éolienne dans la steppe centrale (cas de la région de Laghouat). Doctoral dissertation, ENSA - Alger.
- ❖ Jacobus L.M., Macadam C.R., Sartori M., 2019. Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. *Insects*, 10(6): 170.
- ❖ Jasrotia R., Jasrotia S., Dhar M., Gupta P., Jamwal N., Langer S., 2024. Aquatic Insect Ecosystems: Diversity, Role, and Conservation. In: Hajam Y.A., Parey S.H., Bhat R.A. (Eds.), *Insect Diversity and Ecosystem Services*. 1re éd. New York: Apple Academic Press, pp. 39-57.
- ❖ Johannsen O.A., Thomsen L.C., 1977. *Aquatic Diptera*. 4th repr. Los Angeles, Calif.: Entomological Reprint Specialists.
- ❖ Kaushal S.S., Groffman P.M., Likens G.E., Belt K.T., Stack W.P., Kelly V.R., Band L.E., Fisher G.T., 2005. Increased Salinization of Fresh Water in the Northeastern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(38): 13517-13520.
- ❖ Kefford B.J., Papas P.J., Nuggeoda D., 2003. Relative Salinity Tolerance of Macroinvertebrates from the Barwon River, Victoria, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 54(6): 755.
- ❖ Kenney M., Gresens S., Smith R., Sutton-Grier A., 2009. Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: The intersection of science and policy. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2(2): 99-128.
- ❖ Lounis K., 2019. Inventaire et écologie des macro-invertébrés dans les mares temporaires de la région d'Oum El-Bouaghi (Nord-est algérien). Doctoral dissertation, Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.
- ❖ Magurran A.E., 2004. *Measuring Biological Diversity*. Malden (Mass.): Blackwell science.

Références Bibliographiques

- ❖ Sharma M.P., Sharma S., Gael V., Sharma P., Kumar A., 2006. Water quality assessment of Behta River using benthic macroinvertebrates. Alternate Hydro Energy Centre, Indian Institute of Technology, Roorkee 247667, Uttaranchal.
- ❖ McGavin G.C., Gorton S., 2000. Insectes: araignées et autres arthropodes terrestres. L'oeil nature. Paris: Bordas.
- ❖ Merritt R.W., Cummins K.W., Berg M.B., 2024. INTRODUCTION TO THE AQUATIC INSECTS OF NORTH AMERICA. S.I.: KENDALL HUNT.
- ❖ Metcalfe J.L., 1989. Biological Water Quality Assessment of Running Waters Based on Macroinvertebrate Communities: History and Present Status in Europe. *Environmental Pollution*, 60(1-2): 101-139.
- ❖ MOISAN J., PELLETIER., 2008. Guide de surveillance biologique basée sur les macro-invertébrés 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.
- ❖ Moisan J., 2010. Guide d'identification des principaux macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010: surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Québec: Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs.
- ❖ Moussa A., Chahlaoui A., El Habib R., Chahboune M., 2014. Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc (Taxonomic diversity and structure of benthic macrofauna of surface water of Khoumane River. Moulay idriss Zerhoun, Morocco. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5(1): 183-198.
- ❖ Neveu A., 2001. Les invertébrés aquatiques, bioindicateurs de perturbations. Détermination de la qualité des cours d'eau par l'IBGN. In: Neveu A., Riou C., Bonhomme R., Chassin P., Papy F. (eds.), *L'eau dans l'espace rural vie et milieux aquatiques*. INRA. Mieux comprendre. Paris: Institut national de la recherche agronomique.
- ❖ Norris R.H., Thoms M.C., 1999. What Is River Health? *Freshwater Biology*, 41(2): 197-209.
- ❖ Agboola O.A., 2017. MONITORING AND ASSESSMENT OF MACROINVERTEBRATE COMMUNITIES IN SUPPORT OF RIVER HEALTH MANAGEMENT IN KWAZULU-NATAL, SOUTH AFRICA. Doctoral dissertation, College of Agriculture, Engineering and Science: University of KwaZulu-Natal.
- ❖ Palmer M.A., Reidy Liermann C.A., Nilsson C., Flörke M., Alcamo J., Lake P.S., Bond N., 2008. Climate Change and the World's River Basins: Anticipating Management Options. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(2): 81-89.

Références Bibliographiques

- ❖ Piscart C., Moreteau J.-C., Beisel J.-N., 2005. Biodiversity and Structure of Macroinvertebrate Communities Along a Small Permanent Salinity Gradient (Meurthe River, France). *Hydrobiologia*, 551(1): 227-236.
- ❖ Platts W.S., Megahan W.F., Minshall G.W., 1983. Methods for Evaluating Stream, Riparian, and Biotic Conditions. INT-GTR-138. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- ❖ Pouget M., 1980. Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algérois. Document de ORSTOM.
- ❖ Raburu P.O., Masese F.O., Mulanda C.A., 2009. Macroinvertebrate Index of Biotic Integrity (M-IBI) for Monitoring Rivers in the Upper Catchment of Lake Victoria Basin, Kenya. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 12(2): 197-205.
- ❖ Reynolds J.F. (Ed.), 2002. Global Desertification: do humans cause deserts?; [report of the 88th Dahlem Workshop on Global Desertification: Do Humans Cause Desert?, Berlin, June 10 - 15, 2001]. Dahlem Workshop reports. Berlin: Dahlem Univ. Press.
- ❖ Rosenberg D.M. (Ed.), 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. 1. publ. New York, NY: Chapman & Hall.
- ❖ Rossaro B., Marziali L., Boggero A., 2022. Response of Chironomids to Key Environmental Factors: Perspective for Biomonitoring. *Insects*, 13(10): 911.
- ❖ Saal I., Bouchelouche D., Hamache C., Arab A., 2021. Evaluation of the Surface Water Quality in the Kebir-Rhumel Catchment Area (Northeast Algeria) Using Biotic Indices and Physico-Chemical Analyses. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(34): 46565-46579.
- ❖ Sellam N., Viñolas A., Zouggaghe F., Moulaï R., 2019. Assessment of the physico-chemical and biological quality of surface waters in arid and semi-arid regions of Algeria (North-Africa). *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 144: 157-178.
- ❖ Shahidi-Hakak F., Amid-Motlagh M.H., Khosravani M., 2022. A Quick Review of the Family Chironomidae (Order Diptera) with Effect on the Environment. *Trends in Medical Sciences*, 2(2).
- ❖ Shimba M.J., Jonah F.E., 2016. Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality in the Mkondoa River, Tanzania, in an Agricultural Area. *African Journal of Aquatic Science*, 41(4): 453-461.
- ❖ KHETTAR S., 2009. ETUDE DES PEUPELEMENTS DE MACROINVERTEBRES ET DES CONDITIONS DE MILIEU DE L'OUED EL HAMMAM. (W. MASCARA et SAIDA). MAGISTER, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE «USTHB».

Références Bibliographiques

- ❖ Strayer D.L., 1999. Effects of Alien Species on Freshwater Mollusks in North America. *Journal of the North American Benthological Society*, 18(1): 74-98.
- ❖ Strong E.E., Gargominy O., Ponder W.F., Bouchet P., 2008. Global Diversity of Gastropods (Gastropoda; Mollusca) in Freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1): 149-166.
- ❖ Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2000. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. Paris: CNRS éd.
- ❖ Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2010. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. Nouvelle éd. revue et Augmentée. Paris: CNRS éd.
- ❖ Touron-Poncet H., Bernadet C., Compin A., Bargier N., Céréghino R., 2014. Implementing the Water Framework Directive in Overseas Europe: A Multimetric Macroinvertebrate Index for River Bioassessment in Caribbean Islands. *Limnologica*, 47:34-43.
- ❖ Touzin D., Roy, 2008. Utilisation des macro invertébrés 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. Quebec, Canada.
- ❖ Tubić B., Andjus S., Zorić K., Vasiljević B., Jovičić K., Čanak Atlagić J., Paunović M., 2024. Aquatic Insects (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) Metric as an Important Tool in Water Quality Assessment in Hilly and Mountain Streams. *Water*, 16(6): 849.
- ❖ Cummins K.W., 2019. Functional Analysis of Stream Macroinvertebrates. In: Gökçe D. (Ed.), *Limnology - Some New Aspects of Inland Water Ecology*. IntechOpen.
- ❖ Wallace J.B., Grubaugh J.W., Whiles M.R., 1996. Biotic Indices and Stream Ecosystem Processes: Results from an Experimental Study. *Ecological Applications*, 6(1): 140-151.
- ❖ Walsh C.J., Roy A.H., Feminella J.W., Cottingham P.D., Groffman P.M., Morgan R.P., 2005. The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3): 706-723.
- ❖ Wetzel R.G., 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3rd ed. San Diego: Academic Press.
- ❖ Winterton S.L., 2006. *The Evolutionary Biology of Flies* - Edited by D.K. Yeates and B.M. Wiegmann. *Systematic Entomology*, 31(3): 566-567.
- ❖ Zahradník J., Chvála M., Cuisin M., 1989. *La Grande encyclopédie des insectes*. Grandes encyclopédies. Paris: Gründ.
- ❖ Zerguine K., 2021. Chironomidae: Biology, Ecology and Systematics. In: Perveen F.K. (Ed.), *The Wonders of Diptera - Characteristics, Diversity, and Significance for the World's Ecosystems*. IntechOpen.

Annexes

Annexes

Annexes 1: l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune ((norme AFNOR T 90-350- déc 1992, AFNOR).

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

Taxons représentés par au moins 10 individus – Les autres par au moins 3 individus Σt : La somme des taxons / F : Famille / O : Ordre / GI : Groupe Indicateur

Stations	Cordonnées GPS
Station 1	33°59'30.44"N 2°22'13.21"E
Station 2	33°58'14.47"N 2°23'35.44"E
Station 3	33°54'34.28"N 2°28'17.65"E
Station 4	33°53'20.35"N 2°29'30.70"E

Annexes 2: les cordonnées GPS des stations de zone d'étude.