



Rapport de Stage
Réalisé en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en
« Toxicologie Industrielle et Environnementale »
Filière « Science biologique »

THÈME

**Évaluation des effets des pratiques agricoles sur la diversité taxonomique et
fonctionnelle des macroinvertébrés**

Présenté par :

Bouguenna Belkis et Ben Sebti Malak

Évalué le : 18/06/2025

Comité d'évaluation :

Président : Ouibrahim Amira	MCA	UCBET
Examineur: Brahmia zahra	Pr	UCBET
Examineur: Haouli Zouina	MCB	UCBET
Encadreur: Aouadi Abdallah	MCB	UCBET
Co-encadreur: Telailia Salah	Pr	UCBET

Année universitaire 2024 - 2025

Remerciement

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
(وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

Un moment que j'ai toujours attendu et rêvé, un moment pour lequel j'ai semé mes pensées comme des fleurs, un moment que j'ai atteint après tant d'efforts. J'ai travaillé dur, persévéré, et enfin réussi. Je partage ma joie à travers une histoire dont tous les chapitres sont maintenant complétés et dont les fils ont été tissés jusqu'au bout. Je commence par remercier **moi-même**, mon âme qui a su patienter et persévérer pour accomplir cet exploit. Merci à chaque moment de fatigue et de veille, car cela en valait la peine.

À **mon cher père**, mon premier enseignant, celui qui m'a appris que la réussite commence par la confiance en soi : merci du fond du cœur pour tout ce que tu m'as offert, pour chaque instant où tu m'as soutenue et encouragée. Je te dédie ce mémoire, car sans toi, ni moi ni ce travail n'auraient existé.

À **ma chère mère**, cette mère tendre et première éducatrice, celle qui a semé en moi les valeurs et les principes, et qui a toujours été mon pilier : merci ne suffira jamais pour exprimer toute ma reconnaissance pour ce que tu m'as donné. Je resterai toujours une fille fidèle et aimante. Je t'offre ce mémoire comme une humble preuve de mon amour et de ma gratitude.

À **mes chers frères et à l'épouse de mon frère**, qui ont toujours été là pour moi : merci pour votre soutien constant, pour vos encouragements. Recevez tout mon respect, ma reconnaissance et mon affection. Cet accomplissement vous est dédié en signe de mon amour.

À **toute ma famille**, jeunes et moins jeunes : merci d'avoir été présents dans les moments importants.

À **Monsieur "Aouadi Abdallah"**, merci pour vos conseils et orientations précieux qui nous ont permis d'atteindre ce résultat. Et à **tous mes estimés professeurs**, merci de ne jamais avoir été avares de votre savoir, de vos conseils et de vos directives.

À **tous ceux qui ont cru en moi et m'ont soutenue**, merci d'avoir fait partie de ce voyage. Quel bonheur de vous voir fiers et heureux de ma réussite. Ce travail vous est dédié.

Merci infiniment.

Belkis

Remerciement

Au terme de ce modeste travail, je ne peux que lever les mains au ciel en remerciement à Dieu Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance pour arriver jusqu'ici. Louange à Lui, en tout temps et en toute circonstance, pour chaque bienfait visible ou caché, pour chaque épreuve porteuse d'apprentissage, et pour chaque retard qui cachait en réalité un bien.

Je tiens ensuite à adresser un mot de gratitude à moi-même... Oui, à cette version de moi qui a tenu bon, qui a pleuré parfois sans abandonner, qui a lutté malgré l'épuisement et persévéré face aux difficultés. Je suis fière de mon parcours, et convaincue que l'avenir me réserve encore de belles choses, si Dieu le veut.

Je ne saurais clore ces remerciements sans exprimer ma reconnaissance la plus profonde à ma famille, véritable pilier dans cette aventure. Merci à ma mère, source inépuisable d'amour et de prières. Merci à mon père, dont la force tranquille m'a tant inspirée. Une pensée toute particulière à mes frères et sœurs, qui ont toujours été là, à leur manière — par leur amour, leur soutien, ou même leur silence réconfortant — et qui ont su m'apporter ce dont j'avais besoin pour avancer.

À toutes celles et ceux qui ont cru en moi, ce travail vous appartient aussi.
Malak

Résumé

Cette étude évalue l'impact des rejets domestiques sur la diversité taxonomique et fonctionnelle des macroinvertébrés benthiques de l'oued Medjerda, un écosystème aquatique clé dans le nord-est de l'Algérie. Les macroinvertébrés, utilisés comme bioindicateurs de la qualité de l'eau, ont été échantillonnés sur trois sites (forestier, agricole et péri-urbain) présentant différents niveaux de pollution. Les paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité, TDS, salinité) ont été mesurés, et les communautés de macroinvertébrés ont été analysées pour leur composition taxonomique, leurs indices écologiques (abondance, richesse, diversité de Shannon, équitabilité de Pielou) et leurs traits fonctionnels (stratégies alimentaires, mobilité, respiration). Les résultats montrent des différences marquées entre les sites : le site péri-urbain (S3), plus pollué, est dominé par des taxons tolérants (ex. Chironomidae), tandis que le site forestier (S1) présente une diversité élevée et des espèces sensibles (ex. Éphéméroptères, Plécoptères). L'analyse des traits fonctionnels a identifié deux groupes distincts : les espèces sensibles (prédateurs, longévives) dans les sites peu perturbés et les espèces tolérantes (détritivores, courtes durées de vie) dans les zones polluées. Cette étude souligne la dégradation écologique liée aux rejets domestiques et appelle à une meilleure gestion des eaux usées et à des stratégies de conservation pour restaurer la biodiversité et les fonctions écosystémiques de l'oued Medjerda.

Mots clés : Macroinvertébrés benthiques; Bioindicateurs; Pollution domestique; Oued Medjerda; Diversité taxonomique; Traits fonctionnels; Qualité de l'eau; Écosystèmes aquatiques; Algérie

Abstract

This study investigates the impact of domestic wastewater discharges on the taxonomic and functional diversity of benthic macroinvertebrates in the Medjerda River, a critical freshwater ecosystem in northeastern Algeria. Macroinvertebrates, recognized as bioindicators of water quality, were sampled across three sites with varying pollution levels (forest, agricultural, and peri-urban). Physical-chemical parameters (pH, temperature, conductivity, TDS, salinity) were measured, and macroinvertebrate communities were analyzed for taxonomic composition, ecological indices (abundance, richness, Shannon diversity, Pielou evenness), and functional traits (feeding strategies, mobility, respiration). Results revealed significant differences among sites: the peri-urban site (S3) exhibited the highest pollution levels, dominated by pollution-tolerant taxa (e.g., Chironomidae), while the forest site (S1) showed greater diversity and presence of sensitive species (e.g., Ephemeroptera, Plecoptera). Functional trait analysis identified two distinct clusters: sensitive species (predators, long-lived) in less disturbed sites and tolerant species (detritivores, short-lived) in polluted areas. The study highlights the ecological degradation caused by domestic discharges and underscores the need for improved wastewater management and conservation strategies to restore the Medjerda River's biodiversity and ecosystem functions.

Key words: Benthic macroinvertebrates; Bioindicators; Domestic pollution; Medjerda River; Taxonomic diversity; Functional traits; Water quality; Aquatic ecosystems; Algeria

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير التصريفات المنزلية على التنوع التصنيفي والوظيفي للكائنات اللاقارية القاعية في وادي مجردة، وهو نظام بيئي مائي رئيسي في شمال شرق الجزائر. تم جمع عينات من الكائنات اللاقارية، التي تُستخدم كمؤشرات حيوية لجودة المياه، من ثلاث مواقع (غابة، منطقة زراعية، منطقة شبه حضرية) تختلف في مستويات التلوث. تم قياس المعايير الفيزيوكيميائية (درجة الحموضة، درجة الحرارة، التوصيلية الكهربائي، المواد الصلبة الذائبة، الملوحة)، وتحليل المجتمعات اللاقارية من حيث التركيب التصنيفي والمؤشرات البيئية (الوفرة، الغنى، تنوع شانون، تكافؤ بيللو) والسمات الوظيفية (استراتيجيات التغذية، الحركة، التنفس). أظهرت النتائج اختلافات كبيرة بين المواقع: سيطرت الكائنات المحتملة للتلوث (مثل ببتونوع أعلى ووجود كائنات حساسة (S1) الأكثر تلوثاً، بينما تميز الموقع الغابي (S3) ذباب النغف) على الموقع شبه الحضري (مثل ذباب مايو، ذباب الحجر). كشفت تحليلات السمات الوظيفية عن مجموعتين متميزتين: كائنات حساسة (مفترة، طويلة العمر) في المواقع الأقل تلوثاً، وكائنات متحملة (أكلة للفتات، قصيرة العمر) في المناطق الملوثة. تؤكد الدراسة على التدهور البيئي الناجم عن التصريفات المنزلية وتدعو إلى تحسين إدارة مياه الصرف الصحي واستراتيجيات الحفاظ على البيئة لاستعادة التنوع الحيوي والوظائف البيئية لوادي مجردة.

الكلمات المفتاحية: اللاقاريات القاعية؛ المؤشرات الحيوية؛ التلوث؛ واد مجردة؛ التنوع التصنيفي؛ السمات الوظيفية؛ جودة المياه؛ النظم البيئية المائية؛ الجزائر

Sommaire

	Titre	Page
	Introduction	2
	Chapitre I : Généralités sur les macroinvertébrés benthiques	
1.1	Définition des macroinvertébrés et leurs rôles écosystémiques	3
1.2	Principaux taxons et leurs caractéristiques écologiques	4
1.2.1	Les crustacés	4
1.2.2	Les annélides	5
1.2.3	Les mollusques aquatiques	5
1.2.4	Les insectes aquatiques	6
1.2.4.1	Les Diptères	7
1.2.4.2	Les Hémiptères	8
1.2.4.3	Les Éphéméroptères	9
1.2.4.4	Les Plécoptères	11
1.2.4.5	Les Odonates	12
1.3	Les macroinvertébrés comme bio-indicateurs	13
	Chapitre II : Matériels et méthodes	
2.1	Présentation de la région d'étude	15
2.2	Échantillonnage des macro-invertébrés et analyse des paramètres physico-chimiques	16
2.3	Intégration des traits fonctionnels	18
2.4	Analyses statistiques	19
	Chapitre III : Résultats	
3.1	Caractéristiques physico-chimiques des sites	22
3.2	Composition taxonomique des macroinvertébrés	24
3.3	Relation entre les traits fonctionnels, la diversité taxonomique et les paramètres physico-chimiques	26
	Chapitre IV : Discussion	
4.1	Impact des rejets domestiques sur la diversité des macroinvertébrés	29
4.2	Modification des groupes fonctionnels	29
4.3	Conséquences écologiques et implications pour la gestion	29
	Conclusion	30

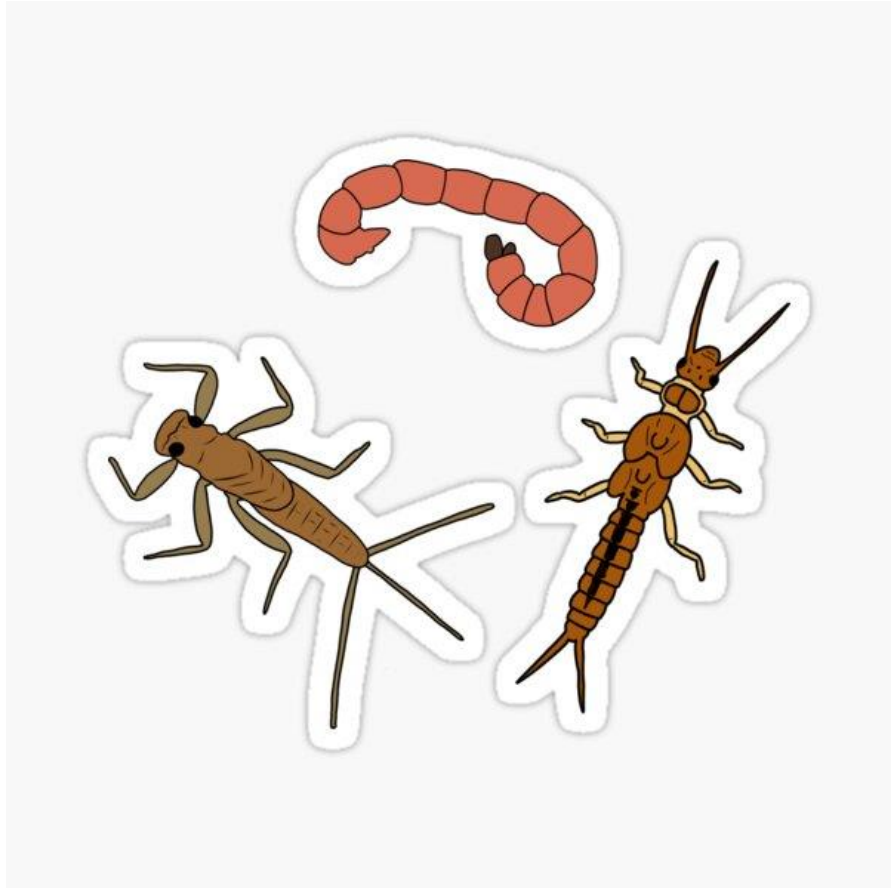
Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Les traits fonctionnels des macroinvertbres	19
2	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau par station	22

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Rôle des macroinvertébrés dans la pyramide trophique aquatique	3
2	Illustration de quelques taxons de crustacés d'eau douce incluant (A) notostraca; (B) anostraces; (C-D) ostracodes; (E) amphipodes; (F) décapodes (G-H) isopodes (Oscoz et al., 2011)	4
3	Principaux taxons de Gastéropodes	6
4	Illustration de quelques larves de diptères incluant (f) Chironomidae; (g) Chaoboridae; (h) Culicidae	7
5	Principaux taxons d'hémiptères aquatiques incluant (a-c) Aphelocheiridae; (d, e) Corixidae; (f) Naucoridae	8
6	Principales illustrations des taxons d'éphéméroptères incluant (a) Siphonuridae; (b) Baetidae; (c) Ephemerellidae; (d) Leptophlebiidae	10
7	Principales illustrations des taxons de plécoptères incluant (H) Taeniopterygidae; (I) Nemouridae; (J) Leuctridae; (K) Capniidae; (L) Taeniopterygidae, tarsi; (M) Nemouridae, tarsi; (N) Leuctridae; (O) Capnidae	11
8	Morphologie des larves d'Anisoptères (A) et de Zygoptères (B)	13
9	Indicateurs biologiques de la qualité de l'eau : sensibilité des macroinvertébrés à la pollution	14
10	Localisation géographique des stations d'échantillonnage au niveau de l'oued Medjerda a Souk Ahras	15
11	Un aperçu sur les stations échantillonnées	16
12	Dépouillement et Identification des spécimens échantillonnés au laboratoire	17
13	Caractérisation physico-chimique de l'eau des stations échantillonnées par mesures in situ	17
14	Analyse RLQ : Exploration des liens entre les traits fonctionnels, les variables environnementales et la distribution des taxons	21

N°	Titre	Page
15	Diagramme en bâtons illustrant la moyenne des paramètres physico-chimiques moyens par stations	23
16	Analyse en Composantes Principales (ACP) des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et leur association avec les stations (zones agricoles, forestières et péri-urbaines)	24
17	Abondance relative (%) des taxons de macroinvertébrés benthiques (calculée par rapport à l'abondance totale)	25
18	Indices écologiques de diversité biologique par site d'échantillonnage	26
19	Analyse RLQ des interactions environnement, taxons et traits fonctionnels des macroinvertébrés	27
20	Description des deux clusters identifiés par l'analyse RLQ	28



Introduction

Introduction

Les écosystèmes aquatiques subissent une pression croissante en raison des activités anthropiques, notamment les rejets domestiques qui constituent une source majeure de pollution (Allan & Castillo, 2007). Ces rejets, chargés en matières organiques, nutriments et contaminants chimiques, altèrent la qualité de l'eau et menacent la biodiversité aquatique (Dudgeon et al., 2006). Les macroinvertébrés aquatiques sont d'excellents indicateurs de la qualité de l'eau en raison de leur sensibilité aux perturbations (Bonada et al., 2006). Les rejets domestiques, riches en matières organiques et en nutriments, entraînent souvent une diminution des espèces sensibles (e.g., éphéméroptères) au profit d'espèces opportunistes (Dudgeon et al., 2006). De plus, ces perturbations modifient les traits fonctionnels des communautés, réduisant leur capacité à assurer des processus écologiques clés comme la décomposition de la matière organique (Mermillod-Blondin et al., 2005). Des études similaires menées dans d'autres bassins hydrographiques confirment ces tendances (Benzina et al., 2021; Bouchelouche et al., 2021; Chaib et al., 2023), justifiant l'importance de cette recherche pour la gestion durable de l'oued Medjerda. L'oued Medjerda, principal cours d'eau du nord de la Tunisie, joue un rôle crucial pour les écosystèmes locaux et les activités humaines, mais il est soumis à d'importantes pressions liées aux rejets urbains et agricoles (Guasmi et al., 2006). Une meilleure compréhension de l'impact de ces rejets sur les macroinvertébrés benthiques, reconnus comme bioindicateurs de la qualité des eaux (Rosenberg & Resh, 1993), est donc essentielle pour une gestion durable de cette ressource. Cette étude contribue à évaluer l'impact des rejets domestiques sur la diversité taxonomique et fonctionnelle des macroinvertébrés aquatiques dans l'oued Medjerda. Les macroinvertébrés, par leur sensibilité aux perturbations environnementales, permettent d'apprécier l'état écologique des cours d'eau (Bonada et al., 2006). En comparant les sites impactés aux sites témoins, cette recherche fournira des données cruciales pour orienter les politiques de conservation et de restauration des écosystèmes aquatiques. Les résultats pourront également servir de base scientifique pour la mise en œuvre de stratégies de réduction des pollutions domestiques, conformément aux directives de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000). Plusieurs études ont été menées en Algérie et dans les pays du Maghreb sur les macroinvertébrés aquatiques, mais elles se sont principalement focalisées sur des aspects taxonomiques, biogéographiques, écologique ou de distribution (e.g., Chaoui-Boudghane et al., 2016 ; Lounaci et al., 2000 ;

Dambri, 2021; Samraoui et al., 2021; Aouadi et al., 2025). Bien que ces travaux aient permis d'établir des inventaires faunistiques précieux et de mieux comprendre la biodiversité régionale, L'intégration des traits fonctionnels dans l'évaluation des écosystèmes aquatiques reste encore marginale. À notre connaissance, seul le travail de Benzina et al (2021) s'est spécifiquement axé sur cet aspect, soulignant ainsi le besoin d'approfondir ce champ de recherche dans le contexte local. L'analyse des traits fonctionnels (e.g., modes d'alimentation, résistance aux perturbations, stratégies de reproduction) offre une perspective complémentaire essentielle pour évaluer les impacts écologiques des perturbations anthropiques (Statzner & Bêche, 2010). Dans ce contexte, cette étude se propose d'explorer cet aspect en explorant non seulement la diversité taxonomique, mais aussi la réponse des traits fonctionnels des macroinvertébrés face aux rejets domestiques. L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet des rejets domestiques sur la diversité taxonomique et fonctionnelle des macroinvertébrés aquatiques. Plus spécifiquement, elle vise à Comparer la composition des communautés de macroinvertébrés entre les sites pollués et les sites non impactés. Analyser les modifications des groupes fonctionnels en réponse à la pollution. Identifier les espèces indicatrices de la dégradation environnementale. Nous formulons l'hypothèse que les rejets domestiques réduisent la diversité taxonomique en favorisant les espèces tolérantes (e.g., oligochètes, chironomides) au détriment des espèces sensibles (e.g., éphéméroptères, plécoptères) (Lenat & Crawford, 1994). Ce mémoire est divisé en 4 parties à savoir une introduction au contexte et aux objectifs de l'étude, une revue de littérature sur les macroinvertébrés et leurs rôles comme bioindicateurs, une description du protocole d'échantillonnage et des analyses statistiques, puis une présentation des résultats et leur interprétation en lien avec la littérature et la gestion environnementale.



Chapitre I : Généralités sur les macroinvertébrés benthiques

1.1. Définition des macroinvertébrés et leurs rôles écosystémiques

Les macroinvertébrés benthiques jouent un rôle fondamental dans les écosystèmes aquatiques en participant aux processus de décomposition de la matière organique, au cycle des nutriments et en servant de proies pour de nombreux prédateurs. Leur utilisation comme bioindicateurs de la qualité des eaux est largement documentée dans la littérature scientifique (Bonada et al., 2006). Ce chapitre présente une synthèse des connaissances actuelles sur leur biologie, leur écologie et leur application en bioindication. Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes aquatiques visibles à l'œil nu ($> 0,5$ mm) vivant dans les sédiments, les macrophytes ou les substrats durs des cours d'eau, lacs et zones humides (Starr & Wallace, 2021). Ils comprennent principalement : Insectes (Éphéméroptères, Plécoptères, Trichoptères, Diptères), les crustacés (Amphipodes, Décapodes), les mollusques (Gastéropodes, Bivalves), et les annélides (Oligochètes, Hirudinées). Leur distribution est influencée par des facteurs abiotiques (température, oxygène, substrat) et biotiques (compétition, prédation) (Moisan, 2010). Les macroinvertébrés constituent une source alimentaire essentielle pour les autres animaux aquatiques. De nombreux poissons, oiseaux et amphibiens se nourrissent de macroinvertébrés. Si la communauté de macroinvertébrés ne prospère pas, tous les animaux qui dépendent des macroinvertébrés pour leur alimentation en subiront les conséquences (**Figure 1**).

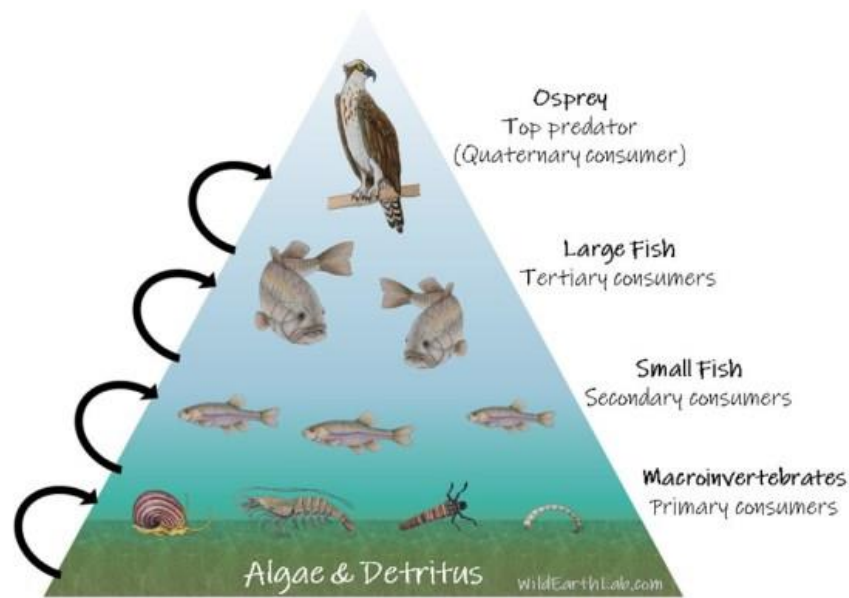


Figure 1. Rôle des macroinvertébrés dans la pyramide trophique aquatique

1.2. Principaux taxons et leurs caractéristiques écologiques

1.2.1. Les crustacés

Les crustacés représentent un groupe majeur de la faune aquatique, occupant des habitats variés depuis les eaux douces jusqu'aux abysses océaniques (**Figure 2**). Leurs caractéristiques incluent une carapace chitineuse renforcée de carbonate de calcium, des appendices spécialisés pour la locomotion et la capture de proies, et souvent des comportements complexes de parade nuptiale (Keith et al., 1998). Les copépodes (Copepoda), bien que microscopiques, constituent la base de nombreux écosystèmes pélagiques, représentant jusqu'à 80% du zooplancton marin (Bouzidi et al., 2010). Leur importance écologique réside dans leur rôle de lien trophique entre le phytoplancton et les niveaux supérieurs.

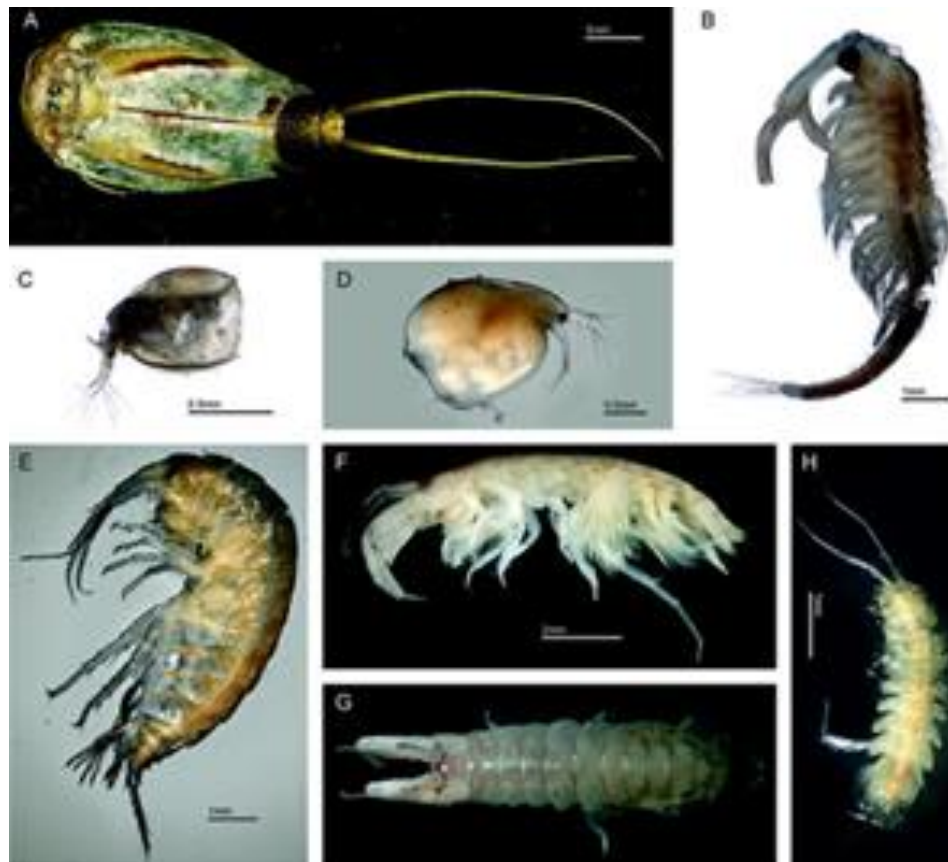


Figure 2. Illustration de quelques taxons de crustacés d'eau douce incluant (A) notostraca; (B) anostraces; (C-D) ostracodes; (E) amphipodes; (F) décapodes (G-H) isopodes (Oscoz et al., 2011)

1.2.2. Les annélides

Les annélides marins et dulçaquicoles se divisent principalement en deux groupes écologiquement significatifs. Les polychètes (Polychaeta), abondants dans les sédiments marins, présentent des adaptations remarquables comme les panaches branchiaux des sabelle (Sabellidae) ou les mâchoires complexes des néréides (Nereididae) (Zaabi-Sendi, 2013).

Certaines espèces, comme *Riftia pachyptila*, vivent en symbiose avec des bactéries chimiosynthétiques près des sources hydrothermales. Les oligochètes aquatiques (ex. *Tubifex tubifex*) sont des bioindicateurs importants de la qualité des eaux douces, tolérant des conditions hypoxiques extrêmes (Tachet et al., 2010).

1.2.3. Les mollusques aquatiques

Les mollusques d'eau douce sont des invertébrés aquatiques (gastéropodes et bivalves) vivant dans les rivières (**Figure 3**), lacs et zones humides. Dotés de coquilles calcaires, ils jouent un rôle clé dans l'écosystème : filtration de l'eau (jusqu'à 5 L/h pour les bivalves), recyclage de la matière organique et source alimentaire pour d'autres espèces. Ces taxons jouent un rôle écologique essentiel dans les zones humides (Lévêque & Renault, 2009).

Véritables stations d'épuration naturelles, certaines espèces filtrent jusqu'à 5 litres d'eau par heure. Ils participent activement au recyclage de la matière organique et constituent une source alimentaire importante pour de nombreuses espèces. Malheureusement, leur déclin pourrait gravement affecter l'équilibre des écosystèmes aquatiques, comme le montrent les récentes études (UICN, 2022).



Figure 3. Principaux taxons de Gastéropodes (Oscoz et al., 2011)

1.2.4. Les insectes aquatiques

Bien que majoritairement terrestres, plusieurs ordres d'insectes ont conquis les milieux aquatiques. Les éphémères (Ephemeroptera), plécoptères (Plecoptera) et trichoptères (Trichoptera) (groupe EPT) sont particulièrement sensibles à la pollution organique, servant d'excellents bioindicateurs (Tachet et al., 2010). Leurs adaptations incluent des branchies trachéennes (ex. larves d'éphémères) et des casques protecteurs (trichoptères). Les coléoptères aquatiques comme les dytiques (Dytiscidae) ont développé un système de stockage d'air sous les élytres pour la plongée (Tachet et al., 2010).

1.2.4.1. Les Diptères

Les Diptères sont un ordre d'insectes caractérisés par la présence d'une seule paire d'ailes fonctionnelles, la seconde paire étant réduite à des balanciers appelés haltères. Dans les milieux d'eau douce, les larves de Diptères sont fréquemment rencontrées, notamment celles des familles Chironomidae, Simuliidae, Culicidae, Tipulidae et Dixidae (Lencioni et al., 2024). Ces larves (**Figure 4**) présentent une grande diversité morphologique et adaptative, qui leur permettent d'occuper une variété de niches écologiques (Oscoz et al., 2011).



Figure 4. Illustration de quelques larves de diptères incluant (f) Chironomidae; (g) Chaoboridae; (h) Culicidae (Oscoz et al., 2011)

Écologie des Diptères

Les Diptères d'eau douce colonisent une large gamme d'habitats aquatiques, des eaux courantes aux zones stagnantes. Leurs larves sont souvent abondantes dans les sédiments, les substrats végétaux ou les zones interstitielles (Tachet et al., 2010). Ils jouent un rôle crucial dans les réseaux trophiques aquatiques, servant de proies à de nombreux prédateurs et contribuant à la décomposition de la matière organique (Lencioni et al., 2024). De plus, certaines espèces sont utilisées comme bioindicateurs pour évaluer la qualité des milieux aquatiques.

Biologie des Diptères

Le cycle de vie des Diptères comprend généralement quatre stades : œuf, larve, nymphe et adulte. La durée de développement varie selon les espèces et les conditions environnementales. Les larves présentent une diversité de régimes alimentaires : certaines sont détritivores, d'autres filtrent les particules en suspension, tandis que certaines sont prédatrices (Tachet et al., 2010). Les stratégies de reproduction et les adaptations morphologiques sont également variées, reflétant la plasticité écologique de cet ordre (Lencioni et al., 2024).

1.2.4.2. Les Hémiptères

Les Hémiptères aquatiques (**Figure 5**), communément appelés punaises d'eau, sont des insectes caractérisés par un appareil buccal de type piqueur-suceur, leur permettant de se nourrir de liquides, souvent d'origine animale. Leur corps est généralement aplati dorso-ventralement, facilitant leur déplacement à la surface ou sous l'eau. Parmi les familles représentées en eau douce, on trouve notamment les Gerridae (gerris), Notonectidae (notonectes), Nepidae (népides) et Corixidae.



Figure 5. Principaux taxons d'hémiptères aquatiques incluant (a–c) Aphelocheiridae; (d, e) Corixidae; (f) Naucoridae (Oscoz et al., 2011)

Écologie des Hémiptères

Les Hémiptères aquatiques occupent divers habitats d'eau douce, allant des eaux stagnantes aux cours d'eau à faible courant. Ils sont souvent observés à la surface de l'eau, où ils exploitent la tension superficielle pour se déplacer.

Certaines espèces, comme les notonectes, nagent activement sous l'eau. Ces insectes jouent un rôle important dans les réseaux trophiques aquatiques en tant que prédateurs d'autres invertébrés et parfois même de petits vertébrés.

Biologie des Hémiptères

Le cycle de vie des Hémiptères aquatiques comprend plusieurs stades nymphaux avant d'atteindre le stade adulte. La reproduction est généralement sexuée, avec des œufs déposés sur des substrats aquatiques ou végétaux.

Le développement est hémimétabole, c'est-à-dire sans stade larvaire distinct, les juvéniles ressemblant aux adultes mais en plus petit. Les adaptations morphologiques, telles que les pattes modifiées pour la natation ou la marche sur l'eau, varient selon les familles et reflètent leur mode de vie spécifique.

1.2.4.3. Les éphéméroptères

Les Éphéméroptères sont des insectes hémimétaboles, dont les larves vivent exclusivement en milieu aquatique. Ils ont des yeux composés, trois cerques (parfois deux), des pattes avec griffes, et des branchies latéro-dorsales chez les larves (**Figure 6**). Ce sont parmi les plus anciens insectes aquatiques, apparus depuis le Carbonifère.



Figure 6. Principales illustrations des taxons d'éphéméroptères incluant (a) Siphonuridae; (b) Baetidae; (c) Ephemerellidae; (d) Leptophlebiidae (Oscoz et al., 2011)

Biologie

Les Éphéméroptères sont des insectes aquatiques primitifs apparus au Carbonifère. Leurs larves, dotées de branchies et de trois cerques, vivent dans l'eau. Leur cycle de vie comprend une phase unique de subimago avant l'âge adulte. Très diversifiés, ils présentent des durées larvaires variables (semaines à années) et des stratégies reproductrices complexes (ponte aérienne ou aquatique, parthénogenèse chez certaines espèces). Leur émergence et leur reproduction s'adaptent aux différents milieux aquatiques.

Écologie

Les Éphéméroptères, insectes aquatiques primitifs apparus au Carbonifère, sont présents dans le monde entier (sauf certaines îles du Pacifique et zones polaires).

Leurs larves, surtout détritivores ou filtreuses (parfois prédatrices), vivent dans l'eau et peuvent établir des relations de phorésie avec d'autres insectes. Après une métamorphose unique passant par le stade subimago, les adultes éphémères (subimagos et imagos) vivent brièvement, effectuant des vols nuptiaux groupés avant de se reproduire par diverses stratégies (ponte aérienne ou aquatique, avec possibilité de parthénogenèse).

1.2.4.4. Les Plécoptères

Les Plécoptères sont des insectes hémimétaboles dont les larves sont exclusivement aquatiques (**Figure 7**). Ils sont apparus depuis le Permien, un peu plus récemment que les Éphéméroptères (Tachet et al., 2010). Contrairement à la grande diversité morphologique des larves d'Éphéméroptères, les larves de Plécoptères forment un groupe morphologiquement homogène (De Figueroa et al., 2024). La distinction entre les espèces nécessite l'observation de caractères fins, comme la structure du labium.



Figure 7. Principales illustrations des taxons de plécoptères incluant (H) Taeniopterygidae; (I) Nemouridae; (J) Leuctridae; (K) Capniidae; (L) Taeniopterygidae, tarsi; (M) Nemouridae, tarsi; (N) Leuctridae; (O) Capnidae (Oscoz et al., 2011)

Biologie

Certaines espèces sont monovoltines avec un cycle de 6 mois à 1 an, tandis que d'autres peuvent mettre plus de deux ans à se développer. Des phases de diapause embryonnaire ou larvaire existent chez certaines espèces (Tachet et al., 2010). La nymphe du dernier stade sort de l'eau, s'accroche à un support et mue pour devenir adulte. Les adultes vivent entre une à quatre semaines, parfois plus si l'émergence a lieu en hiver. Chez certaines espèces (Isoperla, Diura), les mâles attirent les femelles en frappant le sol avec leur abdomen. La femelle pond entre 100 et 400 œufs, déposés à la surface de l'eau ou dans l'eau, parfois collés à un substrat grâce à des sécrétions.

Écologie

Les larves de Plécoptères présentent des régimes alimentaires variés : certaines espèces, comme les Nemouroidea, sont broyeuses et se nourrissent de débris organiques, tandis que d'autres, telles que Perla et Dinocras, sont prédatrices. Ces larves constituent une proie importante pour de nombreux prédateurs aquatiques. Les adultes, bien que peu actifs, sont également consommés par des oiseaux et des chauves-souris. Les Plécoptères sont principalement rhéophiles, c'est-à-dire adaptés aux eaux courantes, où ils sont plus abondants que dans les milieux stagnants (De Figueroa et al., 2024).

1.2.4.5. Les odonates

Les Odonates sont des insectes hémimétaboles (ce qui signifie qu'ils ont un développement en trois étapes (œuf → larve → adulte), sans passer par une métamorphose), caractérisés par des larves exclusivement aquatiques. Apparus après les Éphéméroptères, ils ont émergé dès le Permien, il y a plus de 250 millions d'années (Boudot et al., 2021). Ce groupe se divise en deux sous-ordres (**Figure 8**) : les Zygoptères (demoiselles), et les Anisoptères (libellules).

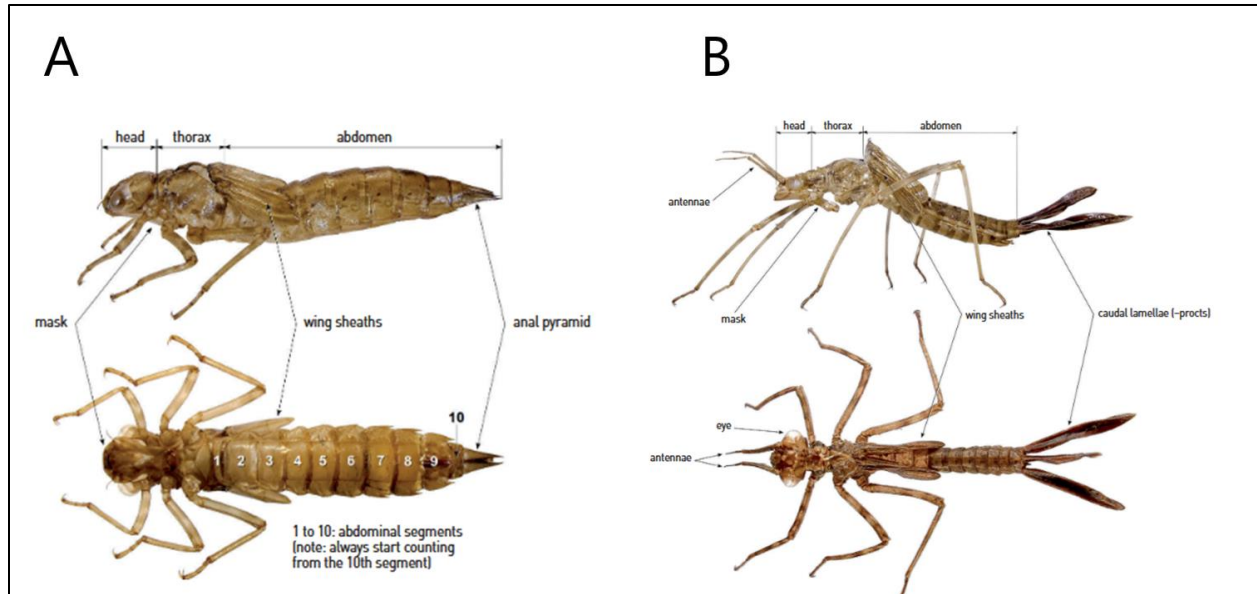


Figure 8. Morphologie des larves d'Anisoptères (A) et de Zygoptères (B) (Boudot et al., 2021)

Biologie

Les larves, prédatrices, chassent avec leur masque facial. Après 1 à 5 ans, elles deviennent adultes (imagos), chasseurs aériens diurnes. Reproduction : le mâle transfère son sperme avant d'attraper la femelle. Ponte dans l'eau ou la végétation. Respiration larvaire : lamelles (Zygoptères) ou trachées (Anisoptères) (Verhaar 1985).

Écologie

Les odonates vivent principalement dans les eaux stagnantes, bien que certains genres, comme *Cordulegaster* et *Calopteryx*, préfèrent les eaux courantes. La plupart des espèces se développent dans la vase ou sur les sédiments, tandis que d'autres, comme *Cordulegaster* et *Gomphus*, ont un mode de vie fouisseur (Riservato et al., 2009).

1.3. Les macroinvertébrés comme bio-indicateur

Il est souvent difficile de détecter la pollution d'un cours d'eau avant l'apparition de signes visibles tels que des changements de couleur, des odeurs ou la mortalité des poissons. Pour une évaluation précoce, les scientifiques utilisent les macro-invertébrés aquatiques, qui réagissent rapidement aux modifications de leur environnement.

Ces organismes ont des niveaux de tolérance variés à la pollution (**Figure 9**), ce qui permet d'évaluer la qualité écologique des milieux aquatiques en étudiant la composition de leurs communautés (Atamnia, 2023). La présence d'espèces sensibles témoigne généralement d'une bonne qualité d'eau, tandis que leur absence peut être due à des facteurs naturels comme la température ou le débit, et pas uniquement à la pollution (Brinet, 2022).

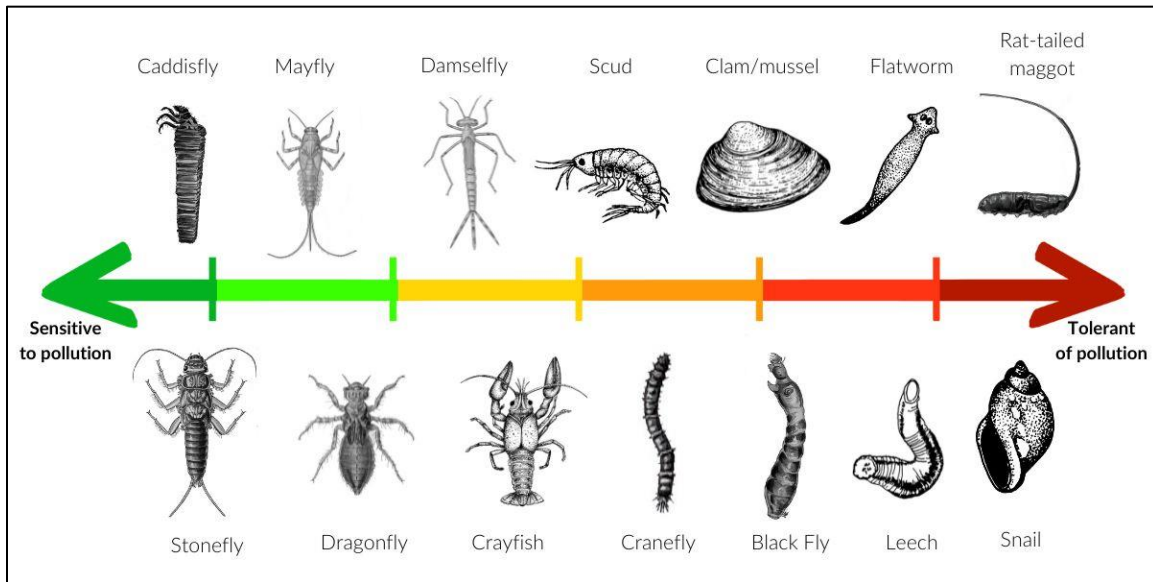
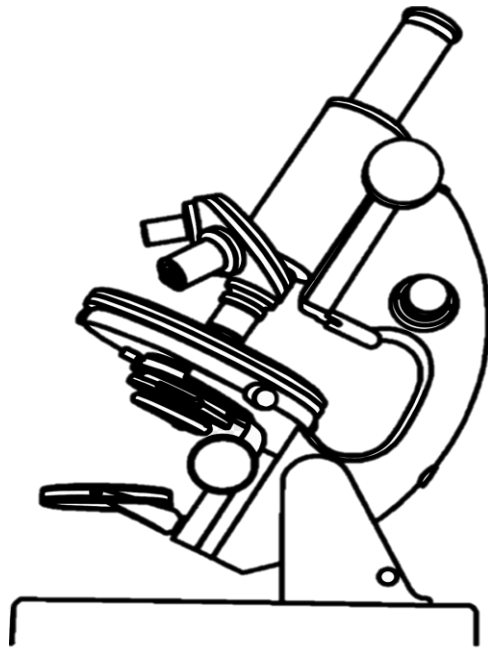


Figure 9. Indicateurs biologiques de la qualité de l'eau : sensibilité des macro-invertébrés à la pollution (Ligeiro et al., 2014)



Chapitre II : Matériels et méthodes

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation de la région d'étude

L'Oued Medjerda est l'un des principaux cours d'eau pérennes du nord-est algérien (**Figure 10**), traversant la wilaya de Souk Ahras. Prenant sa source dans les montagnes de l'Atlas tellien, il s'écoule sur près de 460 km avant de se jeter dans la mer Méditerranée en Tunisie (Merzoug & Merazig 2012). La zone d'étude, située près de la ville de Souk Ahras (coordonnées : 36°17'N 7°57'E), présente un sous bassin versant marqué par une alternance de zones montagneuses et de plaines agricoles, influencé par un climat méditerranéen semi-aride (PNUE/PAM, 2020). L'Oued Medjerda, principal cours d'eau du Nord-Est algérien, se structure en deux sous-bassins versants distincts : le sous-bassin principal de la Medjerda, au régime pluvial méditerranéen marqué, et celui de la Mellegue, affluent majeur au régime irrégulier drainant les zones semi-arides (ANRH, 2022). Selon Sedera Rajosoa et al (2022) les besoins en eau du bassin de la Medjerda passeront de 218 Mm³ en 2020 à 395 Mm³ en 2050, entraînant une pénurie croissante, une baisse des réserves souterraines et un risque accru pour tous les secteurs, nécessitant une gestion urgente et adaptée. Le tronçon subit une dégradation hydrique sévère sous l'effet combiné des rejets urbains (Souk Ahras, 500 000 hab.), de la pollution agricole (engrais/pesticides) et des effluents industriels organiques, entraînant une eutrophisation rapide et une altération des équilibres écologiques (Merzoug & Merazig 2012).

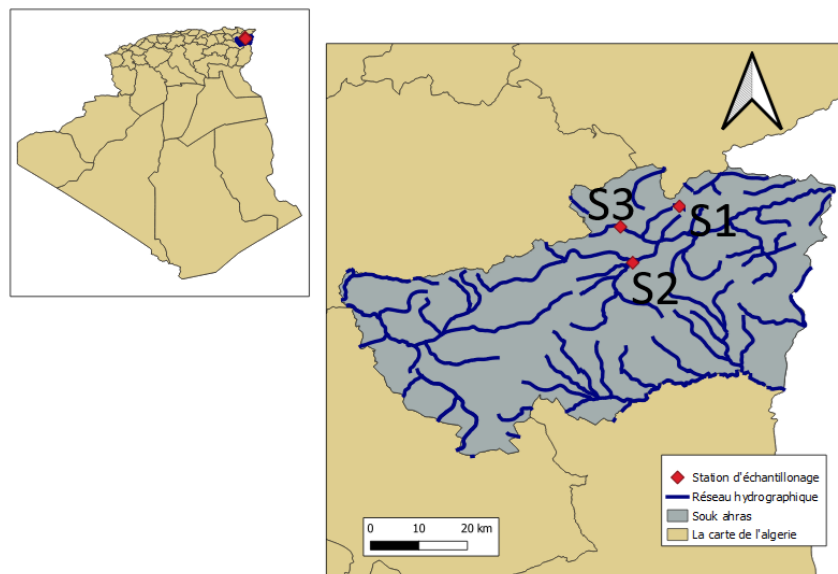


Figure 10. Localisation géographique des stations d'échantillonnage au niveau de l'oued Medjerda à Souk Ahras.

2.2. Échantillonnage des macro-invertébrés et analyse des paramètres physico-chimiques

L'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques a été réalisé durant deux mois (Novembre et décembre 2024) à l'aide d'une épuisette de 200 μm sur trois stations d'étude, choisies selon un gradient de proximité par rapport à des sources potentielles de pollution (**Figure 11**).



Figure 11. Un aperçu sur les stations échantillonnées

Les organismes collectés ont été immédiatement fixés dans de l'éthanol à 96 % pour une conservation optimale des tissus et une inhibition de la décomposition. En laboratoire, les échantillons ont été triés sous loupe binoculaire (**Figure 12**), puis identifiés au niveau taxonomique le plus fin possible (généralement famille) en s'appuyant sur les clés d'identification de Tachet et al. (2000). Cette approche a permis d'établir une liste exhaustive (checklist) des taxons présents, avec leur abondance relative par station.



Figure 12. Dépouillement et Identification des spécimens échantillonnés au laboratoire

En parallèle, une caractérisation physico-chimique in situ a été effectuée pour chaque station à l'aide d'un multi-paramètre de terrain calibré. Les variables mesurées comprenaient : pH (potentiel hydrogène), Température (°C), Turbidité (TDS), Salinité (PSU), Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Ces données permettent de corréler la structure des communautés d'invertébrés avec les conditions environnementales locales (**Figure 13**).



Figure 13. Caractérisation physico-chimique de l'eau des stations échantillonnées par mesures in situ

2.3. Intégration des traits fonctionnelles

Les traits fonctionnels correspondent aux caractéristiques morphologiques, physiologiques ou comportementales des organismes qui influencent leur performance écologique et leur réponse aux perturbations environnementales (Pallotini, 2015). Le tableau ci-dessous (Tableau 1) illustrant les traits fonctionnels des macroinvertébrés benthiques obtenus à partir du site <https://freshwaterecology.info/>. Chez les macroinvertébrés benthiques, ces traits reflètent leurs adaptations aux conditions du milieu et leur rôle dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Tachet et al., 2010).

Leur guildes trophique (p. ex. détritivore, filtreur, prédateur) détermine leur contribution au recyclage de la matière organique et aux flux d'énergie (Badkouf, 2021). La mobilité (sessile, nageur) influence leur capacité de colonisation et la résilience des communautés (Dolédéc et al., 1999). Les adaptations respiratoires (branchies, plastron...etc) reflètent leur tolérance aux conditions de carence d'oxygène. Enfin, leur sensibilité aux perturbations en fait des bioindicateurs efficaces pour évaluer la qualité des eaux (Bonada et al., 2006). Ces traits, intégrés dans des approches comme l'écologie des traits, permettent de prédire les réponses des écosystèmes aux stress anthropiques.

Tableau 1. Les traits fonctionnels des macroinvertbres

Trait fonctionnel	Catégories / Modalités	Description / Rôle écologique
Guilde trophique	Piscivore, Limivore/détritivore, Benthivore, Planctonivore, Filtreur, Prédateur	Type d'alimentation, rôle dans le transfert d'énergie et recyclage des nutriments
Mobilité	Sessile, Rampeur, Nageur, Bon nageur	Capacité de déplacement, influence la colonisation, la dispersion et la résilience
Respiration	Branchies, Cuticule, Siphon respiratoire, Bulles d'air/plastron	Adaptations respiratoires permettant la survie dans différents milieux oxygénés
Bioturbation	Oui / Non	Capacité à remanier les sédiments, influence la qualité des habitats et le recyclage des nutriments
Taille à maturité	Petite, Moyenne, Grande	Influence la position trophique, la vulnérabilité aux prédateurs et la dynamique des populations
Longévité	Courte, Moyenne, Longue	Influence la stabilité des populations et la réponse aux perturbations
Sensibilité aux perturbations	Tolérant, Sensible, Très sensible	Réponse aux stress environnementaux (pollution, variations hydrologiques)
Stratégie alimentaire détaillée	Filtreur de particules, Brouteur d'algues, Prédateur d'invertébrés, Détritivore, Omnivore	Spécificité trophique affinée pour mieux caractériser les interactions écologiques
Position dans la chaîne alimentaire	Producteur secondaire, Consommateur primaire, Consommateur secondaire, Prédateur supérieur	Rôle dans la régulation des populations et le flux d'énergie

2.4. Analyses statistiques

Les indices écologiques suivants ont été calculés : (1) abondance totale qui est le nombre total d'individus recensés sur un site, (2) La richesse spécifique (Nombre de taxon différents collectés sur un site), (3) indice de Shannon (diversité spécifique), (4) et l'indice d'équitabilité de Pielou (régularité des abondances).

L'indice de Shannon a été calculé

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

Où:

- $p_i = \frac{n_i}{N}$ Est la proportion de l'espèce i

Tandis que l'équitabilité exprime l'uniformité de la distribution des individus entre les espèces et a été calculé à partir de la formule ci-dessous

$$E = \frac{H'}{\log_2(S)}$$

Où:

- H' = indice de Shannon
- S = La richesse spécifique

De plus, une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée afin d'identifier les relations entre les taxons et les paramètres physicochimiques. L'analyse des traits fonctionnels a été réalisée afin de caractériser les réponses des communautés biologiques aux pressions anthropiques. Les traits sélectionnés incluent la tolérance à la pollution, les préférences trophiques, les stratégies de reproduction et les modes de dispersion. Ces traits ont été compilés à partir de bases de données spécialisées (Tachet et al., 2010; Usseglio-Polatera et al., 2000). Par la suite, nous avons couplé trois matrices : (1) R (variables environnementales), (2) L (abondances des espèces), et (3) Q (traits fonctionnels) via une analyse RLQ. Cette méthode a permis d'identifier les liens entre pressions environnementales, composition des communautés et les traits fonctionnelles (**Figure 14**).

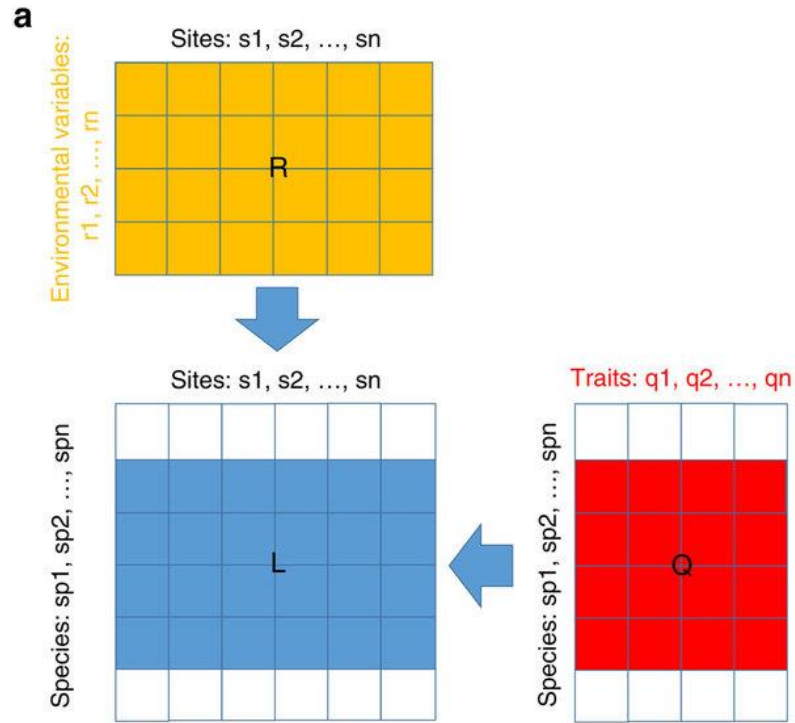
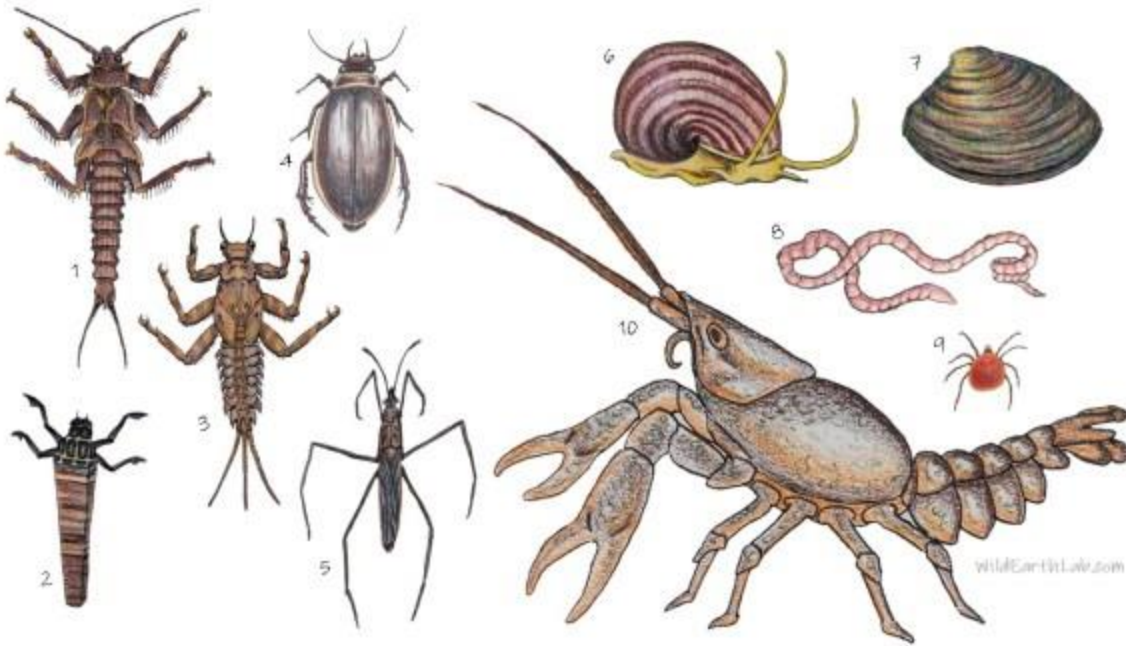


Figure 14. Analyse RLQ : Exploration des liens entre les traits fonctionnels, les variables environnementales et la distribution des taxons (Gámez-Virués et al., 2015)



Chapitre III : Résultats

3. Résultats

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des sites

Les résultats montrent (**Figure 15**) des différences marquées entre les stations selon le type de milieu. La station péri-urbaine (S3) se distingue par les valeurs les plus élevées en conductivité, TDS et salinité, suggérant une influence anthropique plus importante. La station forestière (S1) présente les valeurs les plus faibles, traduisant un environnement plus préservé. En novembre, un pic de pH est observé à la station agricole (S2), indiquant un possible apport alcalin ponctuel. Entre novembre et décembre, les températures baissent légèrement, tandis que les paramètres physico-chimiques diminuent globalement dans les stations forestière et agricole, mais restent élevés dans la zone péri-urbaine.

Tableau 2. Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau par station

Station	Temperature	Conductivité	TDS	Salinité	Ph	Mois	Milieu
S1	9.7	1084	578	0.66	8.99	Novembre	Forestier
S2	10	1093	673	0.93	10.53	Novembre	Agricole
S3	11.3	1505	780	0.89	9.46	Novembre	Peri-urbain
S1	10.2	827	412	0.48	9.26	Décembre	Forestier
S2	10.4	760	335	0.39	9.21	Décembre	Agricole
S3	10.4	1598	788	0.93	8.95	Décembre	Peri-urbain

Le graphique ci-dessous (**Figure 15**) met en évidence des différences notables des paramètres physico-chimiques de l'eau selon le type de milieu. Le site péri-urbain (S3) affiche les valeurs les plus élevées en conductivité (1551,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$), TDS (784 mg/L) et salinité (0,91 PSU), ce qui reflète une forte influence anthropique. En revanche, le site forestier (S2) présente les valeurs les plus faibles pour la majorité des paramètres, suggérant un environnement moins perturbé. Le site agricole (S1) se distingue par un pH élevé (9,87), potentiellement lié à l'usage d'engrais ou de traitements chimiques. La température varie peu entre les milieux, mais reste légèrement plus élevée dans le site agricole.

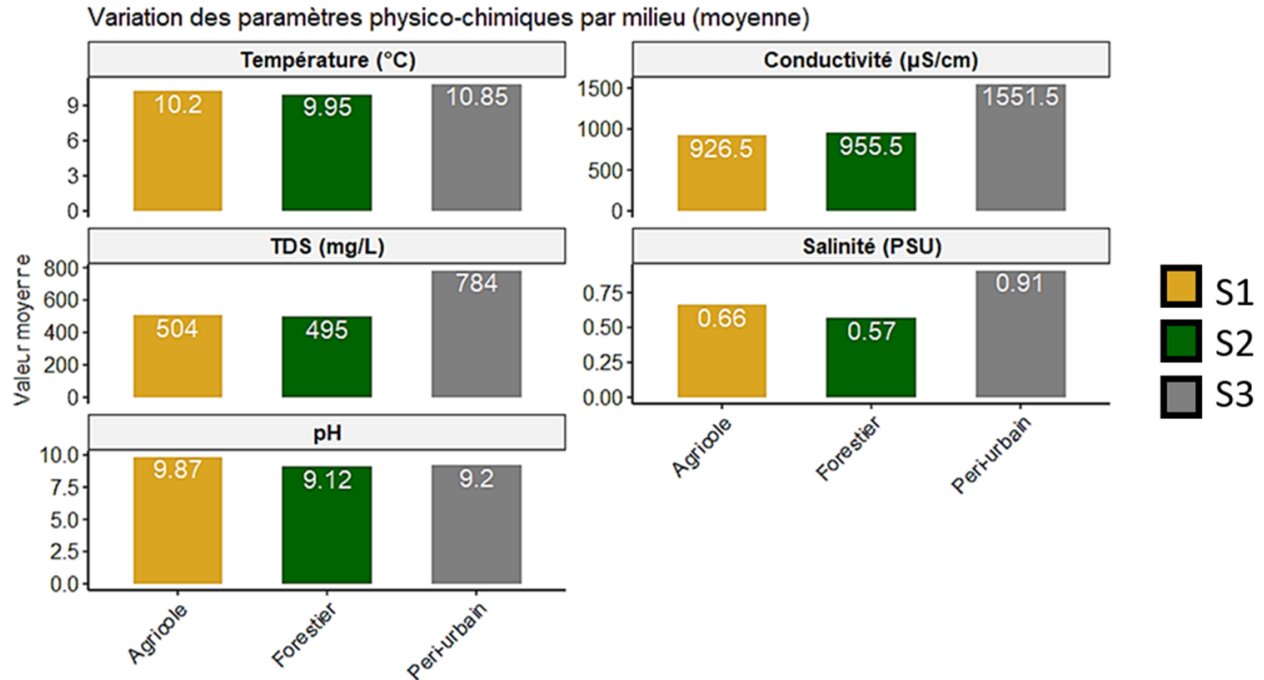


Figure 15. Diagramme en bâtons illustrant la moyenne des paramètres physico-chimiques moyens par stations

L'Analyse en composante principale (**Figure 16**) révèle que les deux premières dimensions (Dim1 à 61,4% et Dim2 à 23,7%) expliquent ensemble 85,1% de la variance, offrant une représentation solide des données. Les variables Température, Salinité et Conductivité sont fortement associées à Dim1, indiquant qu'elles évoluent de manière similaire. Les catégories Agricole, Forestier et Peri-urbain (probablement liées à des zones d'étude) pourraient montrer des relations distinctes avec ces paramètres, bien que leur position exacte nécessiterait une visualisation complète. Ainsi, l'analyse souligne l'importance des facteurs physico-chimiques dans la qualité de l'eau, avec une variation potentiellement marquée selon les contextes environnementaux. En résumé, cette ACP met en évidence les liens entre les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et les types d'occupation des sols, offrant des insights utiles pour la gestion environnementale. En résumé, cette ACP met en évidence les liens entre les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et les types d'utilisation des terres, fournissant des informations utiles pour la gestion de l'environnement.

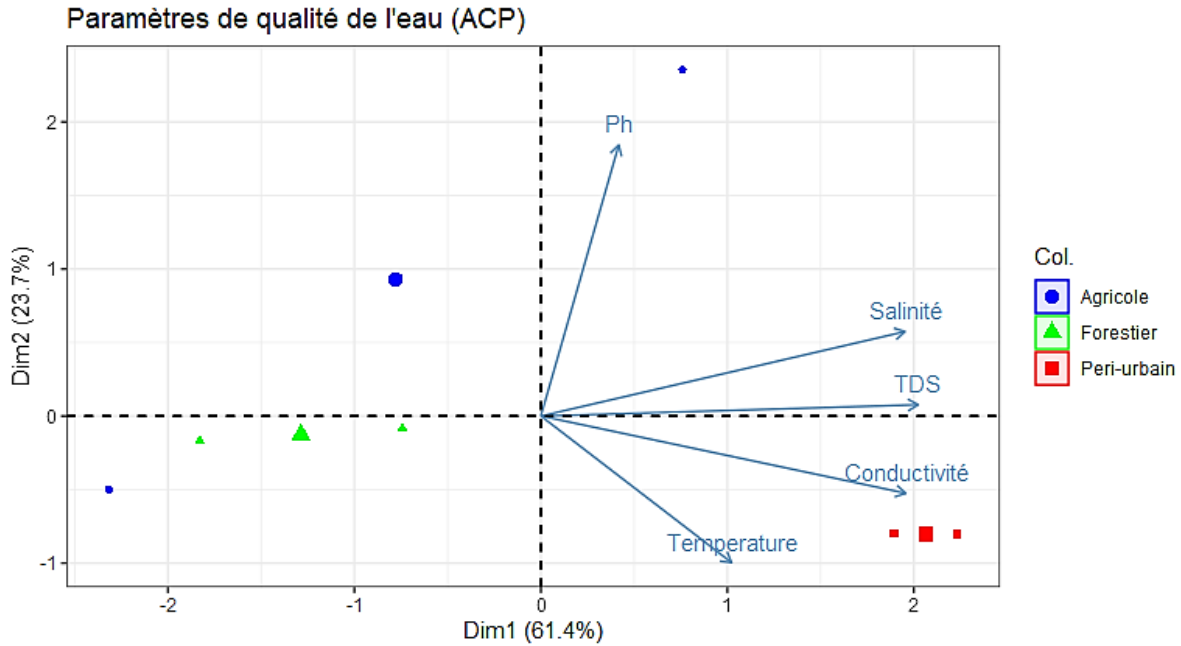


Figure 16. Analyse en Composantes Principales (ACP) des caractéristiques physico-chimiques de l'eau et leur association avec les stations (zones agricoles, forestières et péri-urbaines)

3.2. Composition taxonomique des macroinvertébrés

La composition de cette communauté benthique (**Figure 17**) révèle des caractéristiques écologiques significatives. On observe une prédominance nette des Chironomidae (26%), des organismes connus pour leur tolérance aux milieux perturbés et souvent associés à des conditions environnementales dégradées. Cette dominance est accompagnée d'une représentation très faible des Éphéméroptères (9%), pourtant considérés comme de bons indicateurs de la qualité des eaux en raison de leur sensibilité aux pollutions. Cette association suggère un environnement aquatique présentant des signes évidents d'altération, probablement soumis à des pressions anthropiques ou à des déséquilibres écologiques. Cependant, la présence non négligeable de Plécoptères (4%) - un autre groupe sensible vient complexifier ce tableau en indiquant la persistance de zones ou de conditions favorables au maintien d'espèces exigeantes sur le plan écologique.

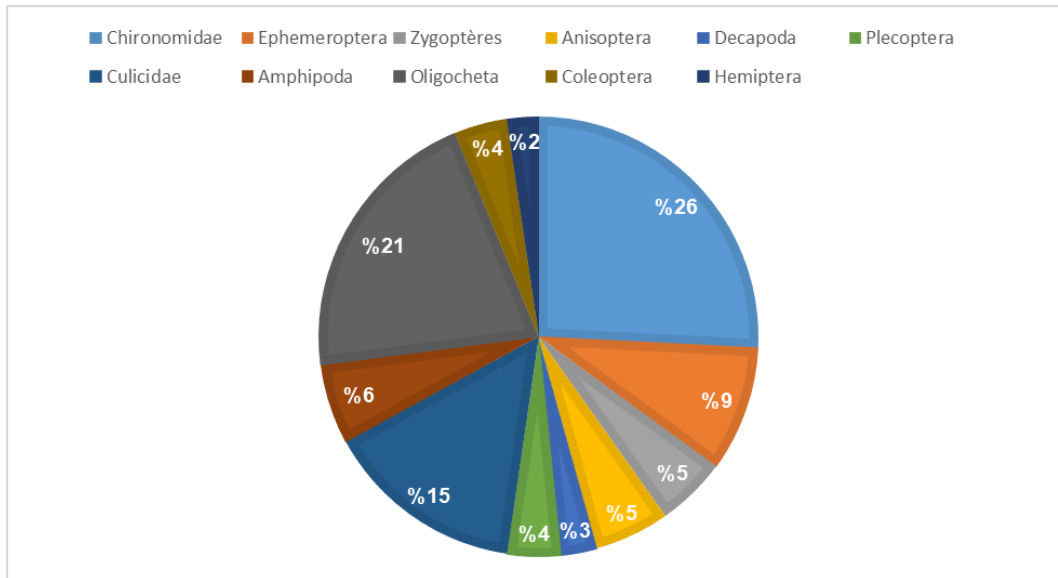


Figure 17. Abondance relative (%) des taxons de macroinvertébrés benthiques (calculée par rapport à l'abondance totale)

Les trois sites d'étude présentent des profils écologiques contrastés (**Figure 18**). Le site S3, malgré son abondance totale exceptionnelle (229 individus), souffre d'un appauvrissement significatif de la diversité avec seulement 5 espèces, un indice de Shannon faible (1.66) et une équitabilité réduite (0.72), indiquant une forte dominance de quelques espèces. Les sites S1 et S2 affichent des abondances plus modérées mais similaires (~150-160), compensées par une diversité remarquablement supérieure (10 et 7 espèces respectivement), des indices de Shannon élevés (3.01 et 2.6) et une excellente équitabilité (~0.9), témoignant d'écosystèmes équilibrés et diversifiés. L'analyse révèle que S1 et S2 abritent des communautés écologiques plus stables et résilientes, tandis que S3, bien que très productif, semble en situation de stress écologique ou de perturbation environnementale favorisant l'expansion de certaines espèces dominantes au détriment de la diversité globale de l'écosystème.

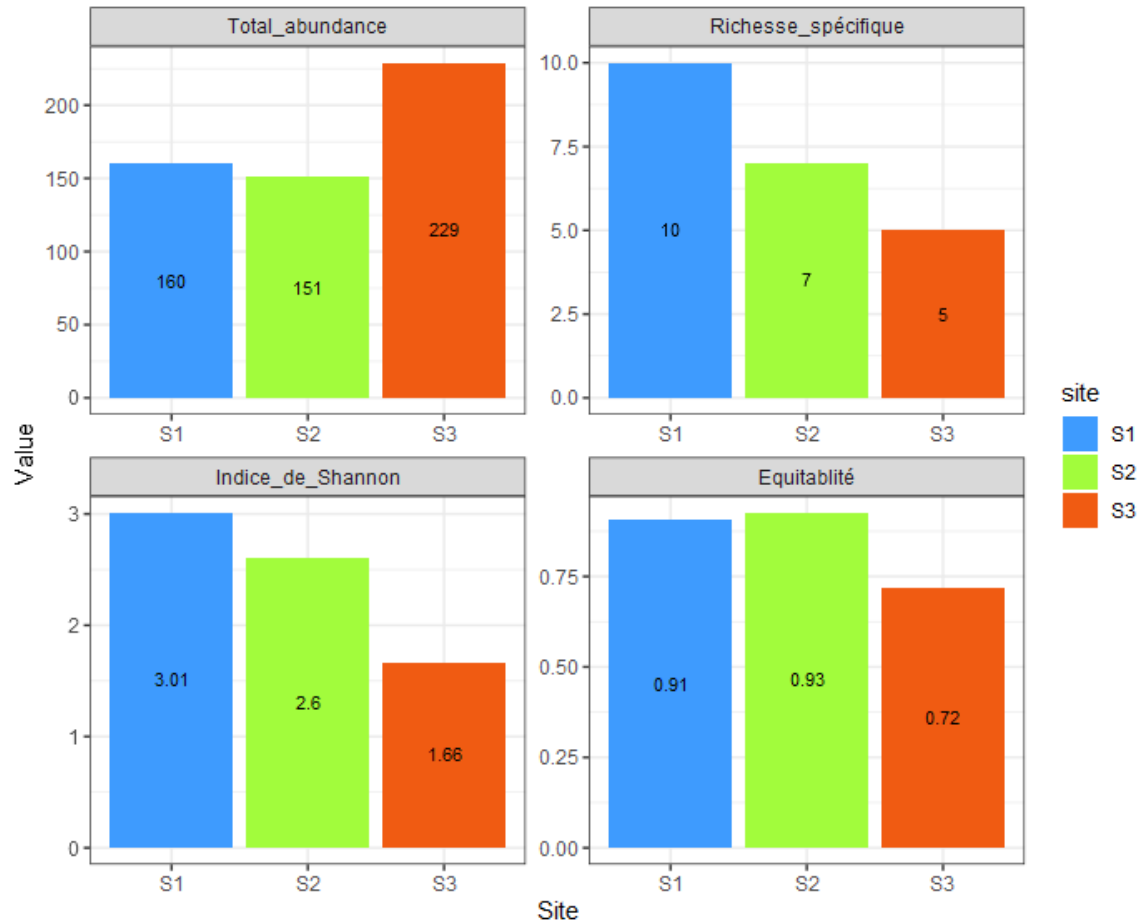


Figure 18. Indices écologiques de diversité biologique par site d'échantillonnage

3.3. La relation entre les traits fonctionnels, la diversité taxonomique, et les paramètres physicochimiques

L'analyse RLQ révèle les relations complexes entre les taxons d'invertébrés aquatiques, leurs traits fonctionnels et les caractéristiques environnementales des sites d'étude (**Figure 19**). Le premier graphique montre la distribution des taxons échantillonnés selon deux axes principaux, avec une séparation claire entre les ordres : les Plécoptères, Éphéméroptères et Zygoptères occupent la partie supérieure, tandis que les Coléoptères et Amphipodes se situent dans la partie inférieure droite. La variabilité temporelle (second graphique) indique des différences saisonnières marquées, avec une distinction entre les échantillonnages de novembre et décembre pour chaque site. L'analyse des variables environnementales révèle un gradient structuré par la conductivité, le TDS et la température (corrélés positivement), opposés au pH, permettant d'établir des associations taxon-environnement.

Les Plécoptères et Éphéméroptères semblent préférer les conditions de pH élevé et de minéralisation plus faible, tandis que les oligochètes, chironomidés et culicidés tolèrent mieux les eaux plus minéralisées et de température plus élevée. De l'autre côté, les coléoptères et les amphipodes peuvent résister à des valeurs de pH élevé. Enfin, l'analyse des traits fonctionnels (quatrième graphique) distingue trois groupes écologiques principaux : les organismes mobiles nageurs et fousseurs (encadré jaune), les organismes à stratégies reproductives et alimentaires diversifiées (encadré vert), et les prédateurs spécialisés (partie droite), suggérant une structuration fonctionnelle des communautés en réponse aux gradients environnementaux identifiés.

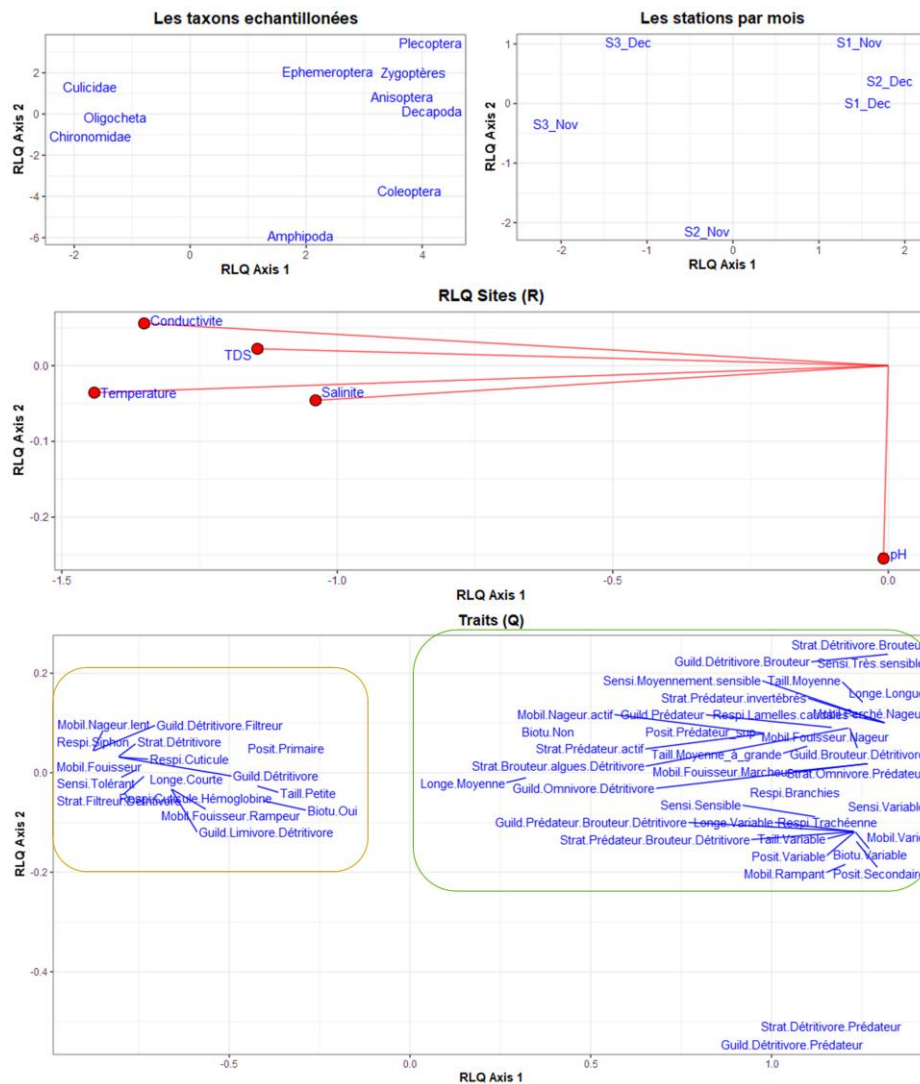


Figure 19. Analyse RLQ des interactions environnement, taxons et traits fonctionnels des macroinvertébrés

À partir de l'analyse RLQ (**Figure 20**), deux principaux clusters émergent révélant une structuration fonctionnelle claire des communautés d'invertébrés aquatiques. Le Cluster 1 rassemble des organismes spécialisés caractérisés par des stratégies alimentaires de prédation active, une respiration complexe via branchies ou trachéobranchies, une mobilité nageuse active, une taille corporelle moyenne à grande et une longévité étendue. Ces espèces, qualifiées de sensibles à très sensibles écologiquement, ne présentent pas de bioturbation et représentent des indicateurs de bonne qualité environnementale. Le Cluster 2 regroupe des organismes opportunistes aux stratégies généralistes : détritivores-filtreurs ou limivores occupant le niveau de consommateur primaire, dotés d'une respiration simple cuticulaire ou par siphon, d'une mobilité rampante ou fouisseuse, d'une petite taille corporelle et d'une longévité courte. Ces espèces tolérantes pratiquent la bioturbation et colonisent préférentiellement les milieux perturbés ou dégradés.

Catégorie	Cluster1	Cluster2
Stratégies alimentaires	Omnivore et prédateur actif	Détritivore-Filtreur, Limivore
Position trophique	Prédateur	Consommateur primaire
Respiration	Respiration complexe (Par Branchies ou trachéene)	Respiration simple (Par cuticule / Siphon)
Mobilité	Mobil. Nageur. actif	Mobil. Rampant, Mobil. Fouisseur
Traits physiques	Taille moyenne/longue	Taille petite/courte
Longévité	Longue et moyenne	Courte
Bioturbation	Non	OUI
Sensibilité écologique	Espèces sensibles/très sensibles	Espèces tolérantes

Figure 20. Description des deux clusters identifiés par l'analyse RLQ



Chapitre IV: Discussion

4. Discussion

4.1. Impact des rejets domestiques sur la diversité des macroinvertébrés

Les résultats obtenus confirment que les rejets domestiques ont un impact significatif sur la composition et la diversité des communautés de macroinvertébrés benthiques dans l'oued Medjerda. Comme attendu, les sites soumis à une pollution élevée présentent une diminution notable de la richesse spécifique, avec une dominance accrue des espèces tolérantes telles que les oligochètes et certains chironomides. Cette tendance est conforme aux observations rapportées dans de nombreuses études (Bonada et al., 2006), où la pollution organique favorise les taxons opportunistes capables de survivre dans des conditions dégradées (Dambri, 2021).

4.2. Modification des groupes fonctionnels

L'analyse fonctionnelle révèle une modification des traits écologiques des communautés. Les espèces filtreuses et collectrices prédominent dans les zones polluées, tandis que les taxons sensibles, notamment les éphéméroptères, plécoptères et trichoptères (groupe EPT), sont quasi absents. Cette perte des groupes EPT, reconnus pour leur sensibilité à la pollution, constitue un indicateur fiable de la dégradation écologique (Nahli et al., 2023). Ces résultats soulignent l'importance d'intégrer les traits fonctionnels dans les évaluations écologiques, car ils permettent de mieux comprendre les mécanismes de réponse des communautés face aux perturbations (Benzina et al., 2021).

4.3. Conséquences écologiques et implications pour la gestion

La réduction de la diversité et la modification des fonctions écologiques peuvent avoir des répercussions importantes sur le fonctionnement global de l'écosystème aquatique. La diminution des espèces sensibles affecte la qualité de la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments, ce qui peut entraîner un appauvrissement des ressources trophiques pour les organismes supérieurs, comme les poissons et les oiseaux (Dudgeon et al., 2006). Ces altérations compromettent la résilience de l'écosystème face aux pressions environnementales. Pour atténuer ces impacts, il est essentiel de renforcer la gestion des rejets domestiques, notamment par l'amélioration des systèmes de traitement des eaux usées (Samraoui et al., 2024) et la sensibilisation des populations locales (Benslimane et al., 2019).

La restauration des habitats aquatiques et la surveillance régulière des communautés de macroinvertébrés à travers des indices biologiques adaptés permettront de suivre l'évolution de la qualité écologique de l'oued Medjerda.

4.4. Limites de l'étude et perspectives

Bien que cette étude ait permis d'identifier clairement les effets des rejets domestiques, certaines limites doivent être soulignées. La variabilité saisonnière des communautés n'a pas été entièrement prise en compte, ce qui pourrait influencer les résultats. De plus, l'étude pourrait être complétée par une analyse chimique détaillée des polluants spécifiques pour mieux comprendre les relations degrés de polluant-réponse. Enfin, l'intégration d'autres groupes biologiques, tels que les algues benthiques ou les poissons, offrirait une vision plus globale de l'état écologique de l'oued. Ces approches multidisciplinaires sont indispensables pour élaborer des stratégies efficaces de conservation et de gestion durable des ressources en eau. Par ailleurs, nous recommandons la création d'une base de données nationale sur la distribution des macroinvertébrés en Algérie. Une telle base permettrait de consolider les connaissances existantes, issues de différentes régions et études, et faciliterait la réalisation de modèles de distribution spatiale des espèces. Ceci constituerait un outil précieux pour développer une métrique d'évaluation écologique propre à l'Algérie, mieux adaptée aux spécificités biogéographiques et environnementales du pays.

Conclusion

Cette étude met en évidence l'impact significatif des rejets domestiques sur la structure, la diversité et les fonctions écologiques des communautés de macroinvertébrés de l'oued Medjerda. La forte régression des espèces sensibles, la prédominance des taxons tolérants et la modification des traits fonctionnels traduisent une altération préoccupante de la qualité écologique du milieu. Ces résultats soulignent l'urgence de mettre en place des actions concrètes en matière de traitement des eaux usées, de restauration des habitats et de suivi écologique basé sur des indicateurs biologiques robustes. Malgré certaines limites, les perspectives proposées ouvrent la voie à une approche plus intégrée et adaptée aux contextes locaux, en vue d'une gestion durable des écosystèmes aquatiques en Algérie.

Références

- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Springer.
- ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). (2022). Bilan hydrologique des bassins versants algériens: Cas de la Medjerda. Ministère des Ressources en Eau, Alger.
- Atamnia R. (2023). Les macro-invertébrés de deux milieux aquatiques dans la wilaya de Guelma et leur relation avec la qualité de l'eau.
- Aouadi, A., Samraoui, F., Bouhala, Z., Souiki, L., & Samraoui, B. (2025). Macrophyte cover and environmental factors shaping macroinvertebrate diversity in a Mediterranean urban pond. *Wetlands Ecology and Management*, 33(1), 10.
- Badkouf, L. (2021). Contribution à l'étude d'abondance des macro-invertébrés et hiérarchisation des facteurs édaphiques dans le sol anthropisé de la forêt d'Ath Ghobri: Cas du chêne zéen (*Quercus canariensis*) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Benslimane, N., Chakri, K., Haiahem, D., Guelmami, A., Samraoui, F., & Samraoui, B. (2019). Anthropogenic stressors are driving a steep decline of hemipteran diversity in dune ponds in north-eastern Algeria. *Journal of Insect Conservation*, 23, 475-488.
- Benzina, I., Bachir, A. S., Santoul, F., & Céréghino, R. (2021). Macroinvertebrate functional trait responses to environmental gradients and anthropogenic disturbance in arid-land streams of North Africa. *Journal of Arid Environments*, 195, 104626.
- 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.
- Bouchelouche, D., Saal, I., & Arab, A. (2021). Study of the impact of metal and organic pollution on benthic macrofauna using multivariate analyses in coastal wetland of Reghaïa, Algeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(34), 46816-46826.
- Boudot, J. P., Doucet, G., & Grand, D. (2021). *Dragonflies and Damselflies of Britain and Western Europe: A Photographic Guide*. Bloomsbury Publishing.
- Bouzidi, M. A., Amar, Y., Attaoui, I., Latrèche, A., Benyahia, M., Bouguenaya, N., & Meliani, H. (2010). Copépodes, Cladoceres et Rotifères du lac Sidi M'hamed Benali (Algérie nord-occidentale). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 4), 69-85.
- Brinet A, Z. A. (2022). Les macroinvertébrés benthiques bioindicateurs de la qualité écologique des milieux lotiques: cas d'Oued Cherf et affluents Nord-Est d'Algérie.
- Chaib, S., Baaloudj, A., de Los Ríos-Escalante, P. R., Esse, C., Gharbi, M., & Houhamdi, M. (2023). Ecological structure of aquatic macroinvertebrate communities in the Hauts Plateaux of Northeast Algeria. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e273010.

- Cummins, K. W. (1973). Trophic relations of aquatic insects. *Annual Review of Entomology*, 18(1), 183-206.
- Dambri, B. M. (2021). Macroinvertebrates of the western Aures massif: Taxonomy; Ecology and Conservation (Doctoral dissertation).
- De Figueroa, J. M. T., López-Rodríguez, M. J., & Fochetti, R. (2024). Order Plecoptera. In *Identification and Ecology of Freshwater Arthropods in the Mediterranean Basin* (pp. 311-326). Elsevier.
- Dolédec, S., Statzner, B., & Bournard, M. (1999). Species traits for future biomonitoring across ecoregions: patterns along a human-impacted river. *Freshwater Biology*, 42(4), 737-758.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163-182.
- Gámez-Virués, S., Perović, D. J., Gossner, M. M., Börschig, C., Blüthgen, N., De Jong, H., ... & Westphal, C. (2015). Landscape simplification filters species traits and drives biotic homogenization. *Nat Commun* 6: 8568.
- Guasmi, I., Djabri, L., Hani, A., & Lamouroux, C. (2006). Pollution des eaux de l'oued medjerda par les nutriments. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (5).
- Keith, P., Guilbot, R., & Cochet, G. (Eds.). (1998). Mollusques, crustacés, arachnides et autres petits invertébrés des eaux douces. *Muséum national d'histoire naturelle*.
- Lencioni, V., Adler, P. H., & Courtney, G. W. (2024). Order Diptera. In *Identification and ecology of freshwater arthropods in the Mediterranean basin* (pp. 503-639). Elsevier.
- Lenat, D. R., & Crawford, J. K. (1994). Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams. *Hydrobiologia*, 294(3), 185-199.
- Lévêque, C., & Paugy, D. (2006). Les mollusques d'eau douce et leur rôle écologique. *Revue d'Écologie*, 61(3), 245-260.
- Ligeiro, R., Ferreira, W. R., Castro, D., Firmiano, K. R., Silva, D., & Callisto, M. (2014). Benthic macroinvertebrates in headwater streams: multiple approaches to ecological studies in drainage basins. *Ecological conditions in hydropower basins. Companhia Energética de Minas Gerais, Belo Horizonte*, 127-158.
- Lounaci, A., Brosse, S., Thomas, A., & Lek, S. (2000, June). Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream: the Sébaou wadi. In *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 36, No. 2, pp. 123-133). EDP Sciences.
- Mermillod-Blondin, F., Gérino, M., des Châtelliers, M. C., & Degrange, V. (2002). Functional diversity among 3 detritivorous hyporheic invertebrates: an experimental study in microcosms. *Journal of the North American Benthological Society*, 21(1), 132-149.

- Merzoug, A. N., & Merazig, H. (2012). Water pollution of oued medjerda in Algerian souk ahras region (pp. 527-540). IntechOpen.
- Moisan, J. (2010). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010: surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs.
- Nahli, A., Oubraim, S., & Chlaida, M. (2023). Monitoring structural and functional responses of the macroinvertebrate community in a resilient stream after its depollution (Casablanca, Morocco). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1), 210.
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (Eds.). (2011). Identification guide of freshwater macroinvertebrates of Spain. Springer Science & Business Media.
- Pallotini, M. (2015). Qualité biologique des eaux douces et impact des métaux lourds sur les populations et communautés de macroinvertébrés (Doctoral dissertation, Toulouse 3).
- Rajoso, A. S., Abdelbaki, C., & Mourad, K. A. (2022). Assessing the impact of climate change on the Medjerda River Basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(11), 1052.
- Riservato, E., Boudot, J. P., Ferreira, S., Jovic, M., Kalkman, V. J., Schneider, W., ... & Cuttelod, A. (2009). Statut de conservation et répartition géographique des libellules du bassin méditerranéen. IUCN, Campanillas, Malaga, Spain.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall.
- Samraoui, K. R., Chelaghmia, M. L., & Samraoui, B. (2024). Multivariate Analysis of Water Quality in the Seybouse River: Implications for Pollution Management. *Environmental Quality Management*, 34(2), e22342.
- Samraoui, B., Vuataz, L., Sartori, M., Gattolliat, J. L., Al-Misned, F. A., El-Serehy, H. A., & Samraoui, F. (2021). Taxonomy, distribution and life cycle of the Maghrebian endemic *Rhithrogena sartorii* (Ephemeroptera: Heptageniidae) in Algeria. *Diversity*, 13(11), 547.
- Starr, S. M., & Wallace, J. R. (2021). Ecology and biology of aquatic insects. *Insects*, 12(1), 51.
- Tachet, Henri, Philippe Richoux, Michel Bournaud, and Philippe Usseglio-Polatera. 2010. *Invertébrés d'eau Douce: Systématique, Biologie, Écologie*. Vol. 15. CNRS editions Paris.

UICN (2022). Rapport sur le déclin des mollusques d'eau douce en France et ses impacts écologiques.

Verberk, W. C., Bilton, D. T., Calosi, P., & Spicer, J. I. (2011). Oxygen supply in aquatic ectotherms: partial pressure and solubility together explain biodiversity and size patterns. *Ecology*, 92(8), 1565-1572.

Verhaar, H. (1985). Guide des libellules d'Europe et d'Afrique du nord. *Contactblad Nederlandse Libellenonderzoekers*, 10(1), 18-19.

Zaabi-Sendi, S. (2013). Etude faunistique et écologique des annélides polychètes de la côte nord-est de la Tunisie (Péninsule du Cap Bon, Méditerranée Ouest).