

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté: Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département : Ecologie et génie de l'environnement
Laboratoire de domiciliation: Laboratoire de Conservation des Zones Humides

THÈSE
En Vue de l'Obtention du Diplôme de
Doctorat en Troisième Cycle

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Biodiversité et Environnement

Présentée par
LABDAOUI Sarah

Intitulée

Les macroinvertébrés benthiques de la région de Bouira

Soutenue le : 07/01/2026

Devant le jury composé de :

| Nom et prénom | Grade | | |
|--------------------------|--------------|-----------------|-----------|
| Bara Mouslim | Pr. | Univ. de Guelma | Président |
| Samraoui Boudjéma | Pr émérite. | Univ. d'Annaba | Encadreur |
| Habbachi Wafa | Pr. | Univ. d'Annaba | Examineur |
| Rouibi Abdelhakim | MCA. | Univ. de Guelma | Examineur |
| Athamnia Mohammed | MCA. | Univ. de Guelma | Examineur |

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciement

Au commencement, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Allah, le tout puissant, pour m'avoir accordé la santé, la force et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Je souhaite exprimer une reconnaissance particulière à mon directeur de thèse, **Pr. SAMRAOUI Boudjémaa**, pour son encadrement constant et bienveillant, sa vision éclairée, sa rigueur scientifique et son enthousiasme communicatif. Sa disponibilité, sa compréhension et ses conseils avisés m'ont permis de surmonter les défis rencontrés et de progresser avec confiance. Il a su, par ses encouragements et son accompagnement, préserver ma motivation et orienter mon travail avec finesse. Sans son appui précieux, ce travail n'aurait pu voir le jour. Je lui adresse mes remerciements les plus sincères et profonds.

Je remercie chaleureusement les membres du jury, pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail, ainsi que pour leurs observations pertinentes et constructives, qui ont contribué à l'amélioration de cette recherche.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'ensemble des enseignants qui m'ont apporté leur conseil tout au long de ce travail, notamment **M. MAHDJOUR, M. ZOUGGACHE, M. NEDJAH, Mme. SAMRAOUI**. Leur disponibilité, leur bienveillance et leur écoute attentive ont constitué pour moi un appui précieux. Je les remercie particulièrement pour l'intérêt constant qu'ils ont porté à l'avancement de mes recherches, pour leurs remarques constructives, ainsi que pour les échanges enrichissants qui ont nourri ma réflexion et contribué à l'aboutissement de ce travail. Leur accompagnement scientifiquement et humain a été une source d'encouragement et restera pour moi une expérience inestimable.

Permettez-moi d'exprimer, à travers ces remerciements, mon profond respect et ma sincère gratitude au directeur du Parc National de Djurdjura, **M. DEMMOUCHE Ahmed**, ainsi qu'aux chefs de secteurs ; **M. TOUMI, M. SACCI, M. AMIROUCHE, M. MEHDI et M. MELIKCHI**, pour leurs accueils chaleureux, leur disponibilité constante et leur soutien matériel lors de mes déplacements. Leur présence a grandement facilité le déroulement de cette étude.

Je tiens également à souligner l'engagement et la précieuse contribution des agents du parc qui m'ont accompagnée pendant les 18 mois de sorties mensuelles sur le terrain. Malgré leurs multiples tâches et responsabilités, ils ont toujours fait preuve de disponibilité et de

dévouement. Je remercie particulièrement M. BOURAI, pour son implication remarquable et son soutien précieux dans le secteur de Tala Rana, ainsi que **M. LAHCEN** et **M. AIT ALLAOUA**, pour leur aide constante et leur engagement sur le terrain.

Je souhaite aussi exprimer ma reconnaissance à **M. MOUICI**, cartographe du Parc National de Djurdjura pour son expertise technique et son soutien indispensable dans la cartographie et l'analyse spatiale de travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude au Laboratoire du Musée de Zoologie de Lausanne pour l'accueil chaleureux qui m'a été réservé lors de mon séjour. Je remercie tout particulièrement l'ensemble de l'équipe pour leur disponibilité, leur soutien et leurs précieux conseils durant la phase d'identification des échantillons. Leur expertise scientifiquement, leur aide technique et leur générosité ont grandement contribué à l'avancement et à la qualité de cette partie de mon travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **laboratoire de Conservation des Zones Humides (LCZH)**, dirigé par **M. NEDJAH**, pour son accompagnement et son soutien tout au long de cette recherche. Je remercie particulièrement sa disponibilité constante, son sens de l'organisation et sa gestion efficace, qui ont permis d'assurer un environnement de travail optimal.

Enfin, je voudrais témoigner mes meilleures reconnaissances à mon université, **université de Guelma « 08 mai 1945 »** et tout le staff administratif de la **Faculté SNVSTU** pour son cadre académique stimulant et son engagement envers l'excellence scientifique.

Dédicace

À mes chers **parents**,

Ma mère Zahia et mon père Ali, vous avez été mes premiers guides, mes piliers et mes plus fidèles compagnons tout au long de ce long chemin. Depuis le jour où j'ai franchi le seuil du premier concours de doctorat jusqu'à ces jours-là, vous n'avez cessé de m'accompagner, de me soutenir et de croire en moi. Vos sacrifices silencieux, vos nuits blanches, vos encouragements inlassables et votre amour sans limite ont été la force qui m'a porté, et c'est grâce à vous que je suis ici aujourd'hui.

À mes chers **grands-parents**,

Vous qui m'avez transmis la valeur du travail, du courage et de la persévérance, vous qui avez semé dans mon cœur les graines de l'ambitions et de la discipline. Vos sacrifices, votre patience et votre amour sont gravé dans chaque page de ce travail.

Ce modeste travail est entièrement dédié à vous tous, qui êtes les véritables auteurs de cette réussite. Que ce parcours soit le reflet de votre engagement, de vos efforts et de votre amour inestimable.

A mon **frère**

Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir été le soutien essentiel dans ma vie malgré ton jeune âge.

A mes chers **Aldjia, Amina et Chanez**

Votre présence a mes côtés, vos encouragements sincères et vôtres soutien constant ont illuminé et enrichi tout ce parcours.

Merci du Fond du Cœur

Résumé

Les zones humides figurent parmi les écosystèmes les plus riches en biodiversité, tout en étant particulièrement vulnérables aux pressions globales. Les macroinvertébrés benthiques s'imposent comme des bioindicateurs pertinents de l'intégrité écologique de ces hydrosystèmes, dont la connaissance demeure encore peu développée en Algérie, notamment dans les massifs du Djurdjura, territoire classé Parc national et Réserve de biosphère par l'UNESCO. La présente étude vise à établir une check-list taxonomique des macroinvertébrés benthique du réseau hydrographique du Djurdjura, principale source d'alimentation en eau de la région de Bouira, à analyser leur distribution spatiale, identifier les facteurs environnementaux structurant leurs Assemblages et à proposer des stratégies de conservation adaptées à ces écosystèmes. L'échantillonnage, réalisé entre février 2019 et juin 2021 sur 49 stations réparties sur les deux versants du massif, a permis de recenser 50 075 individus, répartis en deux phyla, trois classes, neuf ordres et 58 familles. Les insectes constituent le groupe dominant, avec une forte représentation des Éphéméroptères (23 183 individus, 24 taxons), parmi lesquels trois espèces endémiques sont signalées pour la première fois dans le massif du Djurdjura (*Rhithrogena sartorii*, *Habrophelbia djurdjurensis* et *Centroptilum samraoui*), ainsi que cinq espèces nouvelles pour la science. Les Plécoptères apparaissent comme d'excellents bioindicateurs des ruisseaux froids et oxygénés, tandis que les Trichoptères mettent en évidence un contraste marqué entre les stations forestières préservées et celles soumises aux pressions anthropiques. Les Diptères, Coléoptères, Hémiptères et Odonates complètent cet inventaire inédit, témoignant d'une diversité encore largement sous-estimée. L'analyse des paramètres environnementaux révèle que l'altitude, l'exposition des versants et l'occupation du sol influencent fortement la distribution et la composition des communautés benthiques. Le contraste d'exposition entre les deux versants du massif du Djurdjura, le versant Nord à influence méditerranéenne, plus humide et tempéré, et le versant Sud, soumis à un climat plus sec et continental, conditionne les caractéristiques hydrologiques, physico-chimiques et biologiques des stations étudiées. Par ailleurs, les stations forestières d'amont présentent des assemblages diversifiés dominés par des espèces sensibles, tandis que les stations influencées par les activités agricoles ou domestiques se caractérisent par des assemblages appauvris, dominés par des taxons tolérants. Ces résultats soulignent la valeur patrimoniale exceptionnelles et la fragilité des hydrosystèmes du Djurdjura, et plaident pour la mise en place de programmes de suivi écologique et de mesure de conservation adaptées afin d'assurer leur préservation durable.

Mots clé : Macroinvertébrés benthiques, Djurdjura, biodiversité aquatique, milieux lotiques, bioindicateurs, conservation.

Abstract

Wetlands are among the most biodiverse ecosystems, yet they remain highly vulnerable to global pressures. Benthic macroinvertebrates serve as reliable bioindicators of the ecological integrity of these freshwater systems, whose knowledge in Algeria remains limited, particularly in the Djurdjura Mountains, a region designated as a National Park and UNESCO Biosphere Reserve. This study aims to establish a taxonomic checklist of benthic macroinvertebrates within the Djurdjura hydrographic network, the main water supply for the Bouira region, to analyze their spatial distribution, identify the environmental factors structuring their assemblages, and propose conservation strategies adapted to these ecosystems. Sampling, conducted between February 2019 and June 2021 across 49 stations on both slopes of the massif, yielded a total of 50,075 individuals, belonging to two phyla, three classes, nine orders, and 58 families. Insects represented the dominant group, with a strong representation of Ephemeroptera (23,183 individuals, 24 taxa), including three endemic species recorded for the first time in the Djurdjura Mountains (*Rhithrogena sartorii*, *Habrophelbia djurdjurenensis*, and *Centroptilum samraouii*), along with five species new to science. Plecoptera were identified as excellent indicators of cold, well-oxygenated streams, while Trichoptera revealed marked differences between preserved forested sites and those impacted by anthropogenic pressures. Diptera, Coleoptera, Hemiptera, and Odonata completed this unprecedented inventory, highlighting a largely underestimated biodiversity. Analysis of environmental parameters indicated that altitude, slope exposure, and land use strongly influence the distribution and composition of benthic communities. The contrast between the northern slope, with a Mediterranean-influenced, more humid and temperate climate, and the southern slope, subject to drier, more continental conditions, governs the hydrological, physicochemical, and biological characteristics of the studied sites. Upstream forested stations supported diverse assemblages dominated by sensitive species, whereas stations affected by agricultural or domestic activities exhibited impoverished assemblages dominated by tolerant taxa. These findings underscore the exceptional heritage value and ecological fragility of the Djurdjura freshwater systems and highlight the need for ecological monitoring programs and tailored conservation measures to ensure their long-term sustainability.

Keywords: Benthic macroinvertebrates, Djurdjura, aquatic biodiversity, lotic ecosystems, bioindicators, conservation

المخلص

تُعد المناطق الرطبة من أكثر النظم البيئية غنى بالتنوع البيولوجي، لكنها في الوقت ذاته تبقى شديدة التأثر بالضغط البيئية العالمية. تُعتبر اللاقاريات القاعية مؤشرات بيئية موثوقة لقياس سلامة ووظائف هذه النظم المائية، غير أن المعرفة التفصيلية بها في الجزائر لا تزال محدودة، خصوصاً في جبال الجرجرة، المصنفة كمنزلة وطني ومحمية بيئية ضمن برنامج اليونسكو للمناطق المحمية. تهدف هذه الدراسة إلى إعداد قائمة تصنيفية شاملة للاقاريات القاعية في الشبكة الهيدرولوجية للجرجرة، المصدر الرئيسي لمياه منطقة البويرة، بالإضافة إلى تحليل توزيعها المكاني، وتحديد العوامل البيئية التي تؤثر في تكوين تجمعاتها، واقتراح استراتيجيات حفظ مستدامة لهذه النظم البيئية.

تم جمع العينات بين فبراير 2019 ويونيو 2021 من 49 محطة موزعة على جانبي الجبل، وأسفر ذلك عن تسجيل 50,075 فرداً، تنتمي إلى شُعبتين، ثلاث طبقات، تسعة رتبات، و58 عائلة. شكّلت الحشرات المجموعة الأكثر وفرة، مع هيمنة اليعسوبيات (23,183 فرداً، 24 تصنيفاً)، بما في ذلك ثلاث أنواع مستوطنة تم توثيقها لأول مرة في جبال الجرجرة *(Rhithrogena sartorii)*، *Habrophelbia djurdjurenensis*، و *Centroptilum samraouii*، إلى جانب خمس أنواع جديدة للعلم. أظهرت الحرشفيات (Plecoptera) كفاءتها كمؤشرات دقيقة للجداول الباردة والمشبعة بالأكسجين، بينما كشفت حرشفيات الماء (Trichoptera) عن تباينات واضحة بين المحطات الغابية المحمية وتلك المتأثرة بالضغط البشرية. وتكمل رتبات الذباب، الخنافس، نصفية الأجنحة، واليعسوبيات هذا الجرد غير المسبوق، مما يعكس تنوعاً بيولوجياً ما زال إلى حد كبير غير مُقدّر.

أظهر تحليل العوامل البيئية أن الارتفاع، اتجاه المنحدرات، واستخدام الأراضي عوامل رئيسية تتحكم في توزيع وتركيب التجمعات القاعية. كما يحدد التباين المناخي بين المنحدر الشمالي، المتأثر بالمناخ المتوسطي الأكثر رطوبة واعتدالاً، والمنحدر الجنوبي، الخاضع لمناخ جاف وقاري، الخصائص الهيدرولوجية والفيزيوكيميائية والبيولوجية للمحطات المدروسة. علاوة على ذلك، تميزت المحطات الغابية العليا بتجمعات متنوعة يهيمن عليها الأنواع الحساسة، في حين اتسمت المحطات المتأثرة بالأنشطة الزراعية أو المنزلية بتجمعات فقيرة يهيمن عليها الأنواع المتحملة.

تسلط هذه النتائج الضوء على القيمة التراثية الاستثنائية والهشاشة البيئية لنظم الجرجرة المائية، وتؤكد على الحاجة إلى تنفيذ برامج متابعة بيئية وتدابير حفظ ملائمة لضمان استدامتها على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: اللاقاريات القاعية، جبال الجرجرة، التنوع البيولوجي المائي، النظم المائية الجارية، المؤشرات البيئية، الحفظ

Table des matières

| | |
|------------------------|---|
| Liste des abréviations | |
| Listes des figures | |
| Listes des tableaux | |
| Introduction..... | 1 |

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

« ... Etat de l'Art Sur Les Macroinvertébrés Benthiques ... »

| | |
|---|----|
| I.1. Historique des études sur les macroinvertébrés..... | 4 |
| I.2. Les macroinvertébrés..... | 7 |
| I.2.1. Les macroinvertébrés dans le bassin méditerranéen..... | 8 |
| I.2.2. Les macroinvertébrés au Maghreb (Maroc, Tunisie et Algérie | 2 |
| I.3. Endémisme des macroinvertébrés | 13 |
| I.4. Menaces sur les macroinvertébrés | 15 |
| I.4.1. Changement climatique | 16 |
| I.4.2. Pression anthropique | 16 |
| I.5. Statut de conservation des macroinvertébrés..... | 18 |
| I.5.1. Statut international..... | 18 |
| I.5.2. Statut National en Algérie | 21 |

Chapitre II : Présentation de la Zone d'Etude

Djurdjura

| | |
|---|----|
| II.1. Présentation de la région de Djurdjura..... | 23 |
| II.2. Situation géographique de Parc National de Djurdjura..... | 23 |
| II.3. Organisation territoriale et zonage du PND | 24 |
| II.3.1. Organisation territoriale | 24 |
| II.3.2. Zonage..... | 25 |
| II.4. Géologie et géomorphologie de Djurdjura..... | 26 |
| II.4.1. La géologie..... | 27 |
| II.4.2 La géomorphologie | 27 |
| II.5. Réseau hydrographique de Djurdjura | 28 |
| II.5.1. Structure des bassins versants | 29 |
| II.5.2. Dynamique hydrologique et patrimoine aquatique | 29 |

| | |
|--|----|
| II. 6. Etude Climatique de Djurdjura | 29 |
| II.6.1. La synthèse climatique..... | 30 |
| II.6.1.1. La température | 30 |
| II.6.1.2. La précipitation | 30 |
| II.6.1.3. Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q2) | 31 |
| II.7. Occupation des sols du massifs de Djurdjura | 33 |
| II.8. Biodiversité du Djurdjura..... | 33 |
| II.8.1. La richesse floristique | 34 |
| II.8.2. La richesse faunistique..... | 34 |

Chapitre III : Matériels & Méthodes

| | |
|---|----|
| III.1. Objectif d'étude | 36 |
| III.2. Plan d'échantillonnage..... | 36 |
| III.2.1. Choix des sites d'études..... | 36 |
| III.2.2. La description des sites..... | 38 |
| III.2.2.1. Le versant Nord du Djurdjura..... | 38 |
| III.2.2.2. Versant Sud de Djurdjura | 42 |
| III.2.3. Analyse environnementale | 46 |
| III.2.3.1. Paramètres physico-chimiques | 47 |
| III.2.3.2. Paramètres hydro-morphométriques..... | 48 |
| III.2.4. Technique de prélèvements des macroinvertébrés | 50 |
| III.2.4.1. L'échantillonnage des macroinvertébrés..... | 50 |
| III.2.4.2. Tri et détermination en laboratoire..... | 52 |
| III.2.5. Analyse des indices écologiques..... | 55 |
| III.2.5.1. Abondance | 55 |
| III.2.5.2. Abondance Relative | 56 |
| III.2.5.3. Richesse taxonomique (S) | 56 |
| III.2.5.4. Distribution spatiale..... | 56 |
| III.2.5.5. Constance écologique | 57 |
| III.2.6. Analyse statistique | 57 |
| III.2.6.1. Analyse descriptive | 57 |

| | |
|---|----|
| III.2.6.1. Analyse multivariée et inférentielle | 58 |
|---|----|

Chapitre VI : Résultats & Discussion

| | |
|--|-----|
| IV.1. Paramètre environnemental..... | 60 |
| IV.1.1. Caractéristique Physico-chimique..... | 60 |
| IV.1.1.1. La Conductivité électrique..... | 60 |
| IV.1.1.2. La température de l'eau..... | 60 |
| IV.1.1.3. Potentiel hydrogène (pH)..... | 60 |
| IV.1.1.4. Potentiel d'oxydo-réduction (ORP) | 60 |
| IV.1.1.5. Solide dissous totaux (TDS) | 61 |
| IV.1.2. Caractéristique hydro morphométrique..... | 62 |
| IV.1.2.1. Altitude..... | 62 |
| IV.1.2.2. Largeur, profondeur et vitesse du lit | 62 |
| IV.1.2.3. Substrat | 62 |
| IV.1.2.4. Occupation du sol | 63 |
| IV.1.3. Influence de l'exposition géographique sur les caractéristiques environnementales des sites étudiés..... | 65 |
| IV.1.4. Effet de l'occupation du sol sur les paramètres environnementaux | 65 |
| IV.1.5. Analyse en Composante Principale des facteurs environnementaux selon l'exposition géographique des stations..... | 67 |
| IV.1.6. Analyse en Composantes principales des Facteurs Environnementaux selon l'occupation du sol | 68 |
| IV.2. Analyse globale de la faune | 71 |
| IV.2.1. Analyse des Crustacés..... | 73 |
| IV.2.2. Analyse des insectes..... | 75 |
| IV.2.2.1. Structure faunistique et composition taxonomique des Ephéméroptères..... | 77 |
| IV.2.2.2. Répartitions spatiales des Ephéméroptères du Djurdjura..... | 83 |
| IV.2.2.3. Analyse multivariée des assemblages Ephéméroptères | 85 |
| IV.2.2.4. Structure faunistique et composition taxonomique des Plécoptère..... | 88 |
| IV.2.2.5. Répartitions spatiales des Plécoptère de Djurdjura | 92 |
| IV.2.2.6. Structure faunistique et composition taxonomique des Trichoptère | 95 |
| IV.2.2.7. Répartitions spatiales Trichoptère de Djurdjura..... | 98 |
| IV.2.2.8. Structure faunistique et composition taxonomique des Odonate..... | 101 |
| IV.2.2.9. Répartitions spatiales d'Odonate de Djurdjura | 104 |

| | | |
|------------|---|-----|
| IV2210. | Analyse multivariée des assemblages Plécoptères, Trichoptères et Odonates (P, T, O) | 107 |
| IV2211. | Structure faunistique et composition taxonomique des Hémiptères aquatiques | 111 |
| IV2212. | Répartitions spatiales des Hémiptères du Djurdjura | 115 |
| IV2213. | Structure faunistique et composition taxonomique des Coléoptères | 118 |
| IV2214. | Répartitions spatiales des Coléoptères aquatiques du Djurdjura | 121 |
| IV2215. | Structure faunistique et composition taxonomique des Diptères aquatiques | 124 |
| IV2216. | Répartitions spatiales des Diptères aquatique du Djurdjura | 128 |
| IV.2.2.16. | Analyse multivariée des assemblages Hémiptères, Coléoptères et Diptères | 132 |
| IV3. | Discussion | 136 |
| | Conclusion | 147 |
| | Références Bibliographiques | 150 |
| Annexes | | |

Liste des abréviations

Liste des abréviations

pH : Potentiel hydrogéné

ORP : Potentiel d'oxydation

TDS : Solide dissous totaux

GPS : Système de position par satellite

SO₄ : Sulfate

PO₄ : Phosphate

UICN : Union international pour la conservation de la nature

NASA : National aeronautics et space administration

PND : Parc national de Djurdjura

NMDS : méthodes de statistiques multivariée (Non-metric Multidimensional scaling)

EPTO : éphéméroptère, Plécoptère, Trichoptère et Odonate.

PERMANOVA : Analyse multivarié par permutation

UNESCO : Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture

DNA : Alcide deoxyribonucleic

COI : Cytochrome oxidase

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO : Demande biologique en oxygène

CDB : La convention sur la diversité biologique

ODD : Objectif de développement durable

DCE : Directive européenne cadre sur l'eau

SPM : Matière en suspension

KOH : Hydroxyde de potassium

ANOVA : Analyse de variance

ACP : Analyse en composante principales

μS/cm : Microsiemens par centimètres

N : effectif

V : vitesse

m/S : mètre par seconde

t : Temps

d : Distance

Liste des tableaux

Liste des Tableaux

| Figure | Titre | Page |
|--------------------|---|-----------|
| Tableau 1. | Principaux cadres internationaux pour la conservation des macroinvertébrés benthiques et leurs habitats | 19 |
| Tableau 2. | Les cinq zones du Parc National selon les catégories de gestion de l'UICN | 25 |
| Tableau 3. | Données climatiques du Djurdjura extrapolées en fonction de l'altitude (2010-2020) Paramètres calculés par Labdaoui (2025) source : NASA POWER | 31 |
| Tableau 4. | Tableau récapitulatif des stations d'échantillonnage | 38 |
| Tableau 5. | Caractéristiques des stations d'échantillonnages de sous-bassin versant Bougdoura. | 39 |
| Tableau 6. | Caractéristiques des stations d'échantillonnages de sous-bassin versant Oued Aissi | 40 |
| Tableau 7. | Caractéristiques de stations d'échantillonnages de sous-bassin Sahel Aval. | 43 |
| Tableau 8. | Caractéristiques des stations d'échantillonnage de sous bassin Sahel Amont. | 44 |
| Tableau 9. | Caractéristiques des stations d'échantillonnage de sous-bassin Ed-Dous. | 46 |
| Tableau 10. | Analyse des paramètres physico-chimique des stations a échantillonnage régulier. | 61 |
| Tableau 11. | Caractéristique des paramètres hydro-morphométrique des stations échantillonnées dans le massif de Djurdjura. | 63 |
| Tableau 12. | Effet de l'occupation du sol sur les paramètres environnementaux (ANOVA). | 67 |
| Tableau 13. | Inventaire taxonomique des macroinvertébrés benthiques du Djurdjura. | 72 |
| Tableau 14. | Check liste des espèces d'Ephéméroptère recensés dans le réseau hydrographique de Djurdjura. | 80 |
| Tableau 15. | Corrélations des variables environnementales sur la structure des communautés d'Ephéméroptère (envfit et PERMANOVA) | 88 |
| Tableau 16. | Analyse de la constance écologique des Famille de Plécoptère des familles dans les sites étudiés. | 92 |
| Tableau 17. | Distribution spatiale des familles de Plécoptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura. | 92 |
| Tableau 18. | La constance écologique des familles de Trichoptères recensées. | 97 |
| Tableau 19. | Distribution spatiale des familles de Trichoptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura. | 98 |

Liste des Tableaux

| | | |
|--------------------|---|------------|
| Tableau 20. | Evaluation de la constance écologique des familles d'Odonates échantillonnées | 104 |
| Tableau 21. | Distribution spatiale des familles d'Odonate recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura. | 104 |
| Tableau 22. | Evaluation de la constance écologique des familles d'Hémiptères échantillonnées | 115 |
| Tableau 23. | Distribution spatiale des familles d'Hémiptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura. | 115 |
| Tableau 14. | Evaluation de la constance écologique des familles des Coléoptères échantillonnées | 121 |
| Tableau 25. | Distribution spatiale des familles de Coléoptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura. | 122 |
| Tableau 26. | Evaluation de la constance écologique des familles de Diptères échantillonnées | 128 |
| Tableau 27. | Distribution spatiale des familles de Diptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura. | 128 |

Liste des figures

Liste des Figures

| Figure | Titre | Page |
|-------------------|---|-------------|
| Figure 1. | Calliarcys antiquus, holotype imago male, ambre balte de l'Eocène de différentes prises des parties (a, b, c, d, e, f, g) d'après Godunko et al.,2022. | 7 |
| Figure 2. | Diagramme de cycle de vie des espèces des macroinvertébrés (Smith et al., 2009). | 9 |
| Figure 3. | Schéma du réseau trophique des macroinvertébrés dans un affluent de l'Arroyo de las Perdices. (Lopez-Rodriguez et al., 2012). CPOM= matière organique particulaire grossière ; FROM= matière organique particulaire fine dans la colonne d'eau ; ligne en pointillé= des liens non dirigés ; es lignes continues indiquent des liens dirigés. | 11 |
| Figure 4. | <i>Habrophelbia djurdjurenensis</i> , espèce endémique des Djurdjura, adulte male d'après Kechemir, Sartori & Lounaci (2020). | 15 |
| Figure 5. | <i>Rhithrogena sartorii</i> , larve d'après Samraoui et al. (2021). | 15 |
| Figure 6. | <i>Marthamea bayae sp.n.</i> , mâle adulte, différentes parties (1, 2, 3, 4) d'après Lamine et al. 2019. | 15 |
| Figure 7. | <i>Baetis dihyae sp.</i> , larve, d'après Dambri et al., 2023. | 15 |
| Figure 8. | Localisation Géographique du Parc National Djurdjura (PND). | 24 |
| Figure 9. | Carte représentant les secteurs de conservation du Parc National de Djurdjura (PND, 2019). | 25 |
| Figure 10. | Carte de zonage du parc national du Djurdjura (PND, 2011). | 26 |
| Figure 11. | Gouffre du léopard ou Anou Ifflis (PND, 1983). | 28 |
| Figure 12. | Anou Boussouil ou Anou Asswel (Caving, 2014). | 28 |
| Figure 13. | Classification climatique de la région du Djurdjura à différentes altitudes calculées (300 m, 500 m, 1000 m, 1500 m) selon climatogramme d'Emberger. | 32 |
| Figure 14. | Carte d'occupation des sols du Parc National du massif de Djurdjura (PND, 2011). | 37 |
| Figure 15. | Carte de localisation des stations d'échantillonnages des macroinvertébrés dans le réseau hydrographique. | 37 |
| Figure 16. | Photo des sites du sous-bassin Bougdoura. | 39 |
| Figure 17. | Photo des sites de sous-bassin Oued Aissi. | 42 |

Liste des figures

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Figure 18. | Photo des sites du sous-bassin Sahel Aval. | 43 |
| Figure 19. | Photo des sites du sous-bassin Sahel Amont. | 45 |
| Figure 20. | Photo des sites de stations du sous-bassin Ed-Dous. | 46 |
| Figure 21. | Echantillonnage et tri des macroinvertébrés benthiques sur terrain dans les cours d'eau du Djurdjura. | 51 |
| Figure 22. | Echantillons de spécimens d'éphéméroptères (famille : Caenidae préparé après montage pour identification. | 54 |
| Figure 23. | Illustration des différentes étapes de l'analyse moléculaire d'éphéméroptère. | 55 |
| Figure 24. | Distribution des paramètres physico-chimique et hydro-morphologique selon l'exposition géographique des stations de versant Nord et Sud. | 66 |
| Figure 25. | Distributions des paramètres environnementaux mesurés dans les stations échantillonnées en fonction de l'occupation du sol riverain. | 66 |
| Figure 26. | Analyse des Composantes Principales des paramètres étudié des stations d'échantillonnages en fonctions d'exposition. | 68 |
| Figure 27. | Analyse des Composantes Principales des paramètres étudié des stations d'échantillonnages selon l'occupation du sol. | 70 |
| Figure 28. | Abondance des principales classes de macroinvertébrés aquatiques échantillonnées. | 71 |
| Figure 29. | La distribution spatiale des Crustacés aquatique (O. Amphipode et O. Décapode) dans les stations étudiées au réseau hydrographique de Djurdjura. | 74 |
| Figure 30. | Abondance des ordres d'insectes aquatiques dans les sites échantillonnée au réseau hydrographique de Djurdjura. | 75 |
| Figure 31. | Distribution spatiale des Ordres de classe insectes au réseau hydrographique de Djurdjura (a) Versant Nord ; (b) Versant Sud. | 76 |
| Figure 32. | Répartition relative des familles d'Ephéméroptère dans l'ensemble des stations échantillonnée du réseau hydrographique de Djurdjura. | 78 |
| Figure 33. | Répartition spécifique des d'Ephéméroptère collecté en fonction d'abondance. | 78 |
| Figure 34. | Richesse taxonomique des Ephéméroptère de Djurdjura selon l'exposition géographique (a) versant Nord ; (b) versant Sud. | 79 |
| Figure 35. | Carte des distributions des sites d'échantillonnage d'Ephéméroptère en fonction de zonage d'IUCN. | 84 |

Liste des figures

| | | |
|-------------------|--|------------|
| Figure 36. | Analyse NMDS en trois dimensions des sites étudiés basée sur les assemblages d'Ephéméroptères (indice de Bray-Curtis). | 86 |
| Figure 37. | Ordination NMDS basée sur l'indice de Bray-Curtis (a) différenciation des bassins versant du massif du Djurdjura selon les assemblages d'Ephéméroptère ; (b) projection conjointe a la distribution des espèces d'Ephéméroptère et des sites d'étude. | 86 |
| Figure 38. | Ordination NMDS (Bray-Curtis) des stations d'échantillonnages en fonction des facteurs occupation du sol et l'exposition topographique. | 87 |
| Figure 39. | Ordination NMDS (Bray-Curtis) des stations d'échantillonnages en fonction des facteurs occupation du sol et l'altitude. | 87 |
| Figure 40. | Abondance relative des Plécoptères de Djurdjura. | 89 |
| Figure 41. | Variabilité stationnelle de l'abondance des Plécoptères au niveau de famille. | 90 |
| Figure 42. | Richesse taxonomique des Plécoptère de Djurdjura selon l'exposition géographique (a) versant Nord ; (b) versant Sud. | 91 |
| Figure 43. | Cartographie de la présence des Plécoptères de Djurdjura selon les zones de conservation de l'IUCN. | 94 |
| Figure 44. | Abondance relative des familles de Trichoptère de Djurdjura. | 95 |
| Figure 45. | Variabilité stationnelle de l'abondance des Trichoptères au niveau de famille. | 96 |
| Figure 46. | Richesse taxonomique des Trichoptère de Djurdjura selon l'exposition géographique (a) versant Nord ; (b) versant Sud. | 97 |
| Figure 47. | Cartographie de la présence des Trichoptères de Djurdjura selon les zones de Conservation | 100 |
| Figure 48. | Abondance relative des familles d'Odonates de Djurdjura. | 101 |
| Figure 49. | Variabilité stationnelle de l'abondance des Odonates au niveau de famille. | 102 |
| Figure 50. | Richesse taxonomique des Odonate de Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord ; (b) versant Sud. | 103 |

Liste des figures

| | | |
|-------------------|---|------------|
| Figure 51. | Cartographie de la présence des Odonate de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN. | 106 |
| Figure 52. | Diagramme de Shepard pour les résultats de l'analyse NMDS. | 107 |
| Figure 53. | Ordination NMDS des assemblages de Plécoptères, Trichoptères et Odonate en relation avec stations et variable physico-chimiques. | 108 |
| Figure 54. | Heatmap de similarité de la composition des macroinvertébrés (EPTO) entre stations d'échantillonnages de Djurdjura. | 109 |
| Figure 55. | Analyse PERMANOVA des communautés d'EPTO selon les sous bassins versant de Djurdjura. | 110 |
| Figure 56. | Analyse PERMANOVA des communautés d'EPTO selon l'occupation du sol. | 111 |
| Figure 57. | Abondance relative des familles des Hémiptères aquatique du Djurdjura. | 112 |
| Figure 58. | Variabilité stationnelle de l'abondance des Hémiptères aquatiques au niveau de famille. | 113 |
| Figure 59. | Richesse taxonomique des Hémiptères aquatiques de Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord; (b) versant Sud | 114 |
| Figure 60. | Cartographie de la présence des Hémiptères aquatiques de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN. | 117 |
| Figure 61. | Abondance relative des familles de Coléoptère aquatique de Djurdjura. | 118 |
| Figure 62. | Variabilité stationnelle de l'abondance des Coléoptères au niveau de famille. | 119 |
| Figure 63. | Richesse taxonomique des Coléoptères aquatique de Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord ; (b) versant Sud. | 120 |
| Figure 64. | Cartographie de la présence des Hémiptères aquatiques de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN. | 123 |
| Figure 65. | Abondance relative des familles de Diptères aquatiques du Djurdjura. | 124 |

Liste des figures

| | | |
|-------------------|---|------------|
| Figure 66. | Variabilité stationnelle de l'abondance des Diptères aquatique au niveau de famille. | 125 |
| Figure 67. | Richesse taxonomique des Diptères aquatique du Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord ; (b) versant Sud. | 127 |
| Figure 68. | Cartographie de la présence des Diptères aquatiques de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN. | 131 |
| Figure 69. | Diagramme de Shepard pour les résultats de l'analyse NMDS | 132 |
| Figure 70. | Analyse NMDS de la composition des communautés d'insectes aquatique Hémiptère, Coléoptère et Diptère en relation avec stations et variable physico-chimiques. | 133 |
| Figure 71. | Heatmap de similarité (indice de bray curtis) de la composition en Hémiptères, Coléoptères et Diptères dans les stations de réseau hydrographique de Djurdjura. | 134 |
| Figure 72. | Analyse PERMANOVA des communautés d'Hémiptères, Coléoptères et Diptères selon les sous bassins versant du Djurdjura. | 135 |

INTRODUCTION

Introduction

La biodiversité des écosystèmes d'eau douce fait face aujourd'hui à une crise écologiques majeure. Bien qu'ils ne représentent qu'une faible portion de la surface terrestre, les rivières, les lacs et les zones humides concentrent une diversité biologique exceptionnelle, estimée à près de 10 % de l'ensemble des espèces connues (Dudgeon et al., 2006 ; Balian et al., 2008). Ces écosystèmes occupent une place centrale dans le fonctionnement des cycles naturels en régulant les dynamiques hydrologiques, en participant au recyclage de la matière et en soutenant des interaction trophiques complexes, tout en fournissant des services essentiels aux sociétés humaines, tels que l'approvisionnement en eau et l'épuration naturelle (Reid et al., 2019).

Cependant, malgré cette importance écologique et socio-économique, la biodiversité aquatique connaît un déclin alarmant, dont le rythme excède largement celui observé dans les écosystèmes terrestres, environ les trois quarts des zones humides continentales ont disparu, un tiers des 28 000 d'eau douce évalué pour la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) sont menacées d'extinction. Cette perte s'accompagne d'une simplification des structures écologiques et d'une érosion des fonctions de régulation, affaiblissant la résilience des systèmes d'eau douce et compromettant leur capacité à maintenir les processus fondamentaux qui conditionnent la stabilité des milieu aquatiques et de leurs connexions avec les écosystèmes terrestres (Darwall et al., 2018 ; Tickner et al., 2020).

Les macroinvertébrés benthiques occupent une position stratégique dans ce contexte, représentent un groupe clé pour l'étude et le suivi des écosystèmes lotiques. Par leur diversité, leur rôle structurant dans les réseaux trophiques et leur forte sensibilité aux perturbations environnementales (Bonada et al., 2006 ; Orozco-González et Ocasio-Torres, 2023). Etroitement dépendants des conditions physico-chimiques et hydromorphologiques, ils reflètent aussi bien les pressions locales telles que la pollution organique, colmatage du substrat ou modification du régime d'écoulement, que les effets globaux liés au changement climatique, notamment la hausse des températures et la variabilité accrue des régimes hydrologiques (Laini et al., 2019 ; Bonacina et al., 2023 ; Mulat et Mekoya, 2024).

Le bassin méditerranéen constitue un cadre biogéographique particulièrement pertinent pour analyser ces dynamiques. Reconnue comme l'un des principaux « hotspots » mondiaux de biodiversité (Myers et al., 2000), cette région se distingue par une mosaïque d'écosystèmes aquatique soumis à une forte variabilité hydrologique, combinant crue soudaines en période pluvieuse et étiages sévères durant la saison estivales, sécheresses saisonnières (Gasith et Resh,

1999). Ces contraintes naturelles ont favorisé l'émergence de stratégies adaptatives remarquables chez de nombreux macroinvertébrés telles que des cycles de vie courts, une tolérance à la dessiccation et une grande capacité de dispersion (Bonada et al., 2007). Mais accroissent également la vulnérabilité des organismes face à l'urbanisation, aux changements d'usage des terres et au réchauffement climatique.

En Afrique du Nord, la biodiversité aquatique reflète pleinement cette tension entre richesse biologique et vulnérabilité. Plusieurs travaux ont documenté la diversité et l'endémisme remarquables des communautés benthiques, notamment au Maroc (Guidicelli et Dakki, 1984), en Tunisie (Boumaiza, 1994) et en Algérie (Samraoui et Corbet, 2000). Ces études mettent en évidence l'influence déterminante de gradient environnemental tels que l'altitude, la qualité physico-chimique des eaux et l'occupation du sol dans la structuration des assemblages. Toutefois, les travaux se sont concentrés sur les zones humides littorales ou certains oueds (Zouggaghe, 2010 ; Mmorgad et al., 2019), tandis que les massifs montagneux, véritables réservoirs de biodiversité et régulateurs hydrologiques, restent largement sous-explorés.

Le massif du Djurdjura illustre particulièrement bien cette lacune. Situé au cœur de la Kabylie et culminant à plus de 2 300 m d'altitude, il constitue l'un des principales chaînes montagneuses de l'Atlas tellien. Sa complexité géologique, son fort gradient altitudinal et la diversité de ses habitats aquatiques en font un espace d'une grande richesse écologique (Abdeslam, 1995). Classé Parc National et inscrit au réseau mondial des réserves de Biosphère de l'UNESCO, le Djurdjura est reconnu pour sa valeur patrimoniale et pour l'abondance d'espèce endémique et qu'il abrite (Quézel, 1957 ; Kechemir, Sartori et Lounaci, 2020). Bien que ce massif bénéficie d'une importance écologique et son statut de conservation, la biodiversité aquatique, notamment celle des macroinvertébrés benthique demeure encore largement méconnu.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente thèse, dont l'objectif principal est :

- Etablir une check-list taxonomique exhaustive des macroinvertébrés benthique du réseau hydrographique de Djurdjura une source d'alimentation principale au cours d'eau de la région de Bouira ;
- Analyser la distribution spatiale des taxons au sein du réseau hydrographique étudié ;
- Evaluer l'influence des paramètres environnementaux sur la présence et la répartition des organismes ;
- Examiner l'intégrité écologique des cours d'eau de montagne à travers les assemblages faunistique ;

- Identifier les principales menaces pesant sur ces écosystèmes ;
- Proposer des plans pour la conservation et la gestion durable des ressources aquatiques.

Le présent manuscrit s'articule autour de quatre parties principales

Le premier chapitre, constitue une synthèse bibliographique présentant l'état de l'art relatif au macroinvertébrés benthiques. Il traite de la diversité taxonomique de ces organismes, leur rôle écologique ainsi que le statut de conservation qui leur est attribué. Les principales menaces pesant sur ces communautés sont également examinées, avec un accent particulier sur le contexte méditerranéen et Nord-Africain.

Le deuxième chapitre, est consacré à la présentation du cadre d'étude. Il décrit le massif du Djurdjura dans ses dimensions géographiques, géologiques, climatique et hydrologiques, tout en mettant en lumière la richesse et la spécificité de sa biodiversité faunistique et floristique. Ce chapitre inclut également une analyse du zonage de conservation et des dispositifs de gestion appliqués à ce territoire.

Le troisième chapitre, détaille la méthodologie adoptée. Il expose le plan d'échantillonnage, la sélection et la caractérisation des sites étudiés, ainsi que les protocoles de prélèvement et de détermination des macroinvertébrés benthiques. Ce chapitre présente également les méthodes d'analyse environnementales, écologique et statistiques mobilisées pour traiter les données collectées.

Le quatrième chapitre, présente les résultats obtenus. Il comprend une analyse approfondie des facteurs environnementaux influençant la distribution des macroinvertébrés, la composition taxonomique des communautés étudiées et leur répartition spatiale. Ce chapitre s'achève par une discussion générale. Et enfin, la thèse se clôt par une conclusion générale accompagnée de perspectives d'avenir.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

**« ... Etat de l'Art Sur Les
Macroinvertébrés Benthique ... »**

I.1. Historique des études sur les macroinvertébrés

Les études sur les macroinvertébrés benthiques en tant qu'indicateurs de la qualité de l'eau ont connu un développement important au fil des décennies. Kolkiwitz et Marsson (1908-1909) furent les premiers à développer le célèbre " **Système des saprobies** " pour évaluer la pollution organique des eaux, jetant ainsi les bases de l'utilisation des macroinvertébrés à des fins de bioindicateurs (Gross, 1976). Par la suite, ces approches ont été adoptées dans différentes régions du monde. Les premières recherches étaient surtout descriptives, concentrées sur la collecte et l'inventaire des espèces aquatiques, offrant une première vue d'ensemble des écosystèmes lotiques et lentique.

En Afrique du nord, l'entomologiste britannique Alfred Edwin Eaton (1899) fut l'un des premiers à documenter la diversité des Epheméroptères en Algérie, dans sa note " **List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria, with localities** " publié dans « the Entomologist's monthly magazine ».

En Tunisie, les premières contributions à la connaissance des macroinvertébrés aquatiques remontent aux travaux d'Henri Gadeau (1906-1908), " **Voyage Zoologique en Khroumirie** " qui incluait des données issues des divers groupes benthiques, d'autre chercheurs tels que Bouzidi et Guidicelli (1994) ont ensuite exploré la distribution spatiale des macroinvertébrés dans le Haut Atlas marocain, montrant que les caractéristiques hydrologiques et l'altitude influencent la composition des communautés benthiques, un aspect essentiel pour comprendre la biogéographie et les adaptations des macroinvertébrés dans les milieux aquatiques de montagne. En Algérie, les travaux de Samraoui et al. (1993) ont apporté une contribution significative à la connaissance des macroinvertébrés aquatiques, en particulier dans les zones humides du Nord-est du pays. Ils ont étudié la diversité et la distribution des odonates dans la région d'El Kala, mettant en évidence une richesse spécifique notable et la présence d'espèces Afrotropicale rare

Avec l'essor des études écologiques, les techniques et méthodes d'échantillonnage se sont affinées pour mieux capturer la biodiversité dans les différents types d'habitats. En milieu lotiques, le filet Surber, conçu dans les années 1930, est devenu un outil incontournable pour échantillonner les macroinvertébrés en raison de sa capacité à filtrer les organismes dans des substrats turbulents, offrant ainsi une représentation fidèle de la faune benthique (Hauer et Lamberti, 2006). Il a progressivement remplacé les prélèvements manuels jugé moins représentatifs. En milieu lentique, des dispositifs tels que les filet troubleau sont plus adaptés

Chapitre I : Synthèse bibliographique

pour collecter des organismes dans des sédiments plus fins et plus stables (Dajoz, 2000). Ces outils garantissent une représentativité des échantillons en tenant compte des conditions locales, ce qui est essentiel pour des analyses comparatives entre différentes régions.

La méthodologie d'identification et de conservation des échantillons joue également un rôle clé dans la précision des études taxonomiques. Auparavant, des fixateurs tels que le formol dilué étaient couramment employés pour la conservation des échantillons, mais l'éthanol a progressivement été privilégié en raison de son efficacité à préserver les caractères morphologiques sur le long terme. L'utilisation d'éthanol à 70 % pour la conservation, standardisée dans les études de Durand et Lévêque (1980), permet de préserver les caractéristiques morphologiques essentielles des organismes collectés, facilitant ainsi une identification postérieure précise en laboratoire. Tachet et al. (2006) ont également mis à disposition des clés taxonomiques détaillées pour les invertébrés d'eau douce, devenues des références dans le domaine. Ces clés sont indispensables pour l'identification précise, notamment des larves et autres stades immatures qui présentent des morphologies variées en fonction des habitats. Il convient de noter que les clés d'identification varient selon les régions géographiques chaque continent disposant de guides taxonomiques adaptés à sa faune locale. Les approches moléculaires complètent désormais la taxonomie morphologique en améliorant la précision de l'identification. Le DNA Barcoding, basé sur la séquence standardisée du gène COI, permet de distinguer rapidement et avec fiabilité les espèces, y compris les formes cryptiques et stades larvaire difficiles à diagnostiquer morphologiquement (Hebert et al., 2003 ; Bucklin et al., 2011). Le DNA metabarcoding, appliqué au séquençage à haut débit d'échantillon mixtes, s'impose dans le biomonitoring aquatiques pour inventorier simultanément une large diversité de macroinvertébrés tout en réduisant le temps et les coûts d'analyse (Hajibabaei et al., 2011 ; Elbrecht et Leese, 2015). L'efficacité de ces méthodes repose toutefois sur l'utilisation combinée de plusieurs marqueurs (COI, 18S) et de bases de données de référence exhaustives (Weigand et al., 2019 ; Murria et al., 2020).

Les recherches pionnières se sont par la suite élargies pour inclure des analyses biogéographiques et comparatives des communautés des macroinvertébrés. Par exemple, Bonada et al. (2004) ont étudié les communautés de Trichoptères dans la péninsule ibérique, mettant en évidence la variabilité des assemblages en fonction des gradients environnementaux. Leur travail a jeté les bases pour des études de comparaison entre les bassins méditerranéens, soulignant les similarités et différences dans la structuration des communautés en réponse aux pressions environnementales. Dans le même esprit, Taybi et al. (2020) ont évalué les communautés

Chapitre I : Synthèse bibliographique

aquatiques du bassin Mlloulou dans le Moyen-Atlas marocain, confirmant l'influence des gradients environnementaux sur la structure des peuplements benthiques dans ces régions. De même, [Samraoui et al. \(2021\)](#) ont analysé les assemblages de Plécoptères dans des cours d'eau de montagne relictés en Afrique du Nord, montrant que la structure des communautés est fortement influencée par l'altitude et le type d'habitat. La sensibilité des macroinvertébrés benthiques aux changements des conditions abiotiques, comme le montrent ces différentes études, a renforcé leur importance en tant qu'indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques.

En Espagne, les approches biogéographiques se sont récemment enrichies par l'étude de fossiles d'Ephéméroptère grâce à des techniques avancées. Ainsi, [Godunko et al. \(2022\)](#) avec la collaboration d'Alba-Tercedor, ont appliqué la micro-tomographie (micro-CT) à un spécimen fossile de *Calliarcys* (Figure 1) conservé dans l'ambre balte (Eocène). Combinée au code-barres ADN (COI) de populations ibériques de *C. humilis*, cette analyse a permis de confirmer des caractères diagnostiques, de préciser le placement phylogénétique du genre et de proposer une origine cénozoïque de la lignée. En parallèle, [Buscalioni et al. \(2024\)](#) ont étudié des nymphes fossiles d'éphéméroptères du site Las Hoyas (Crétacé inférieur), révélant une préservation exceptionnelle et fournissant de nouvelles données sur la diversité, les abondances relatives et les signaux taphonomiques, affinant ainsi l'interprétation paléoécologique des assemblages lacustres ibériques.



Figure 1. *Calliarcys antiquus*, holotype imago male, ambre balte de l'Eocène de différentes prises des parties (a, b, c, d, e, f, g) d'après Godunko et al., 2022.

I.2. Les macroinvertébrés

Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes aquatiques visibles à l'œil nu qui jouent un rôle clé dans les écosystèmes d'eau douce. Ils comprennent principalement des insectes aquatiques, des crustacés, des mollusques et des annélides, et occupent diverses niches écologiques. Ces organismes sont d'excellents bioindicateurs en raison de leur sensibilité à la qualité de l'eau et de leur réponse aux perturbations physiques et chimiques de l'habitat (Barbour et al., 1999). Leur présence, leur abondance, et leur diversité taxonomique fournissent des informations essentielles pour évaluer la santé écologique des milieux aquatiques.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

En effet, les macroinvertébrés benthiques interviennent dans le recyclage des nutriments et jouent un rôle fondamental dans la décomposition de la matière organique, contribuant ainsi aux réseaux trophiques aquatiques ou ils servent de nourriture pour de nombreux poissons, amphibiens et oiseaux (Voshell, 2002). L'utilisation des macroinvertébrés dans les programmes de surveillance environnementale s'est standardisée au cours des dernières décennies, avec des protocoles précis d'échantillonnage et d'identification des espèces, adaptés aux variations géographiques et aux contextes écologiques (Barbour et al., 1999), témoignant de l'essor considérable de ce domaine de recherche en écologie aquatique.

L'étude des macroinvertébrés en Afrique du Nord a permis de révéler la grande diversité de cette faune dans les rivières et zones humides de la région. Gagneur et Thomas., (1988) ont ainsi mis en évidence les impacts de la conductivité, de la température et de la pollution sur les communautés de macroinvertébrés dans les rivières algériennes, en particulier dans les régions de Tlemcen, un point de départ important pour la compréhension des écosystèmes aquatiques nord-africain. Cette recherche pionnière a ouvert la voie à une multitude d'études portant sur les macroinvertébrés dans divers contextes aquatiques en Algérie et dans d'autres pays du Maghreb.

I.2.1. Les macroinvertébrés dans le bassin méditerranéen

Le bassin méditerranéen, caractérisé par un climat de type méditerranéen avec des étés secs et chauds et des hivers humides, est un hotspot de biodiversité unique. Ce climat impose des contraintes hydrologiques importantes qui influencent la structure et la dynamique des communautés de macroinvertébrés. En raison des fluctuations saisonnières du régime hydrologique, ces communautés ont développé des adaptations spécifiques pour survivre aux périodes de sécheresse et aux crues saisonnières, telles que des cycles de vie courts, des formes de résistance à la dessiccation et une forte capacité de dispersion pour recoloniser rapidement le milieu lors du retour des écoulements (Figure 2).

Les recherches de Bonada et al. (2004) sur les Trichoptères dans les bassins ibériques montrent que ces communautés sont structurées par la variabilité hydrologique. De manière complémentaire, Lytle et Poff (2004) ont démontré que les macroinvertébrés aquatiques développent des stratégies adaptatives en réponse aux régimes naturels de débit, notamment dans les systèmes méditerranéens où alternent sécheresse et crues. La composition des communautés varie également selon la température de l'eau, la vitesse du courant et la diversité des habitats disponibles (Bonada et al., 2004 ; Espinar-Herranz et al., 2025).

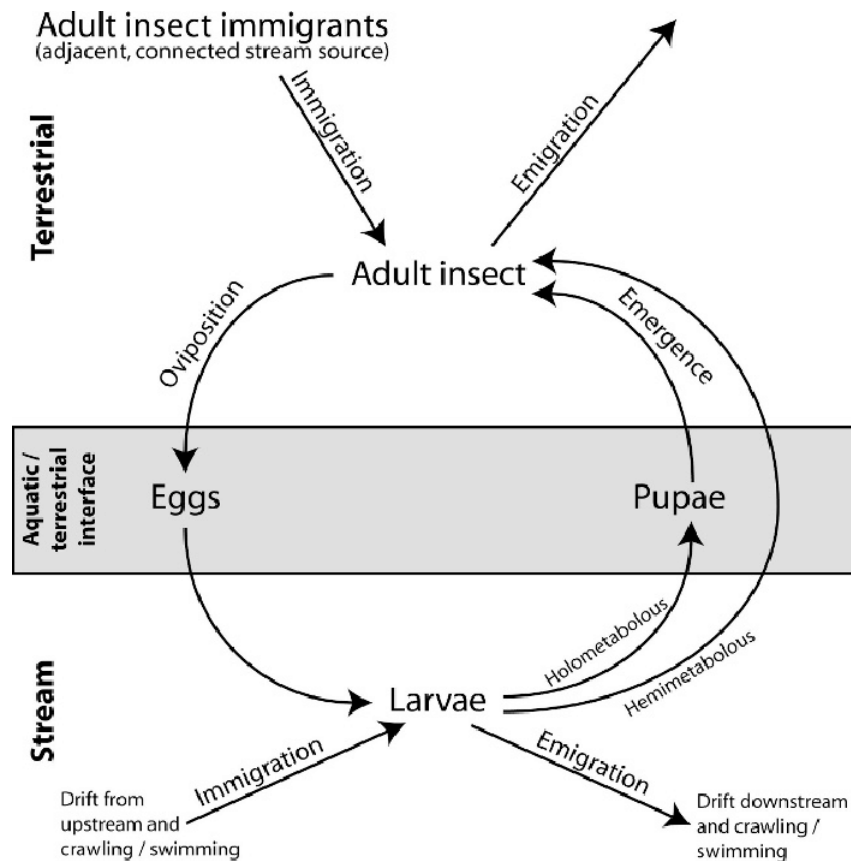


Figure 2. Diagramme de cycle de vie des espèces des macroinvertébrés (Smith et al., 2009).

Des travaux menés en Californie par Bêche et Resh (2007), en Espagne (Verkaik et al., 2013) et au Portugal (Santos et al., 2023) montrent que la richesse et la structure des macroinvertébrés répondent de manière prévisible aux fluctuations saisonnières et aux pressions anthropiques, les sites intermittents ou pauvres en eau hébergeant des communautés plus tolérantes aux perturbations. Des synthèses (Rolls et al., 2018 ; Monk et al., 2008) confirment que la biodiversité aquatique, et en particulier les invertébrés benthiques, répond de manière prévisible aux variations du régime hydrologique, faisant des traits d'histoire de vie (résistance, résilience) des indicateurs écologiques fiables.

Les pressions combinées du changement climatique et des activités humaines entraînent une réduction de la richesse spécifique et une banalisation des communautés en altitude moyenne, tandis que les zones peu perturbées conservent une diversité élevée (Zuedzang Abessolo et al., 2021). Dans la région Nord-Africaine, Samraoui et de Bélair (1998) ont documenté la richesse des habitats aquatiques en Numidie, soulignant l'importance des zones humides comme refuges pour de nombreuses espèces endémiques. Ces habitats constituent un refuge indispensable pour la biodiversité particulièrement dans des régions soumises à une forte pression anthropique. Par ailleurs, les travaux de Zougaghe et Moali (2009) et les études de Djitli (2021) montrent la sensibilité de communautés aux perturbations d'origine anthropiques, telles que l'urbanisation,

Chapitre I : Synthèse bibliographique

l'agriculture intensive et la pollution organiques et industriels, renforçant leur rôle en tant que bioindicateurs fiables pour évaluer la santé des écosystèmes.

Les habitats aquatiques temporaires comme les mares saisonnières, les écosystèmes d'eaux courantes (rivières permanentes, Oueds et autres cors d'eau intermittents) y sont prédominants et présentent un régime hydrologique très irrégulier. Avec des crues hivernales suivies de sécheresse estivale (Alcaraz-Hernández et al., 2024). Ces fluctuations façonnent les assemblages de macroinvertébrés qui développent des stratégies adaptatives convergentes, telles que la diapause ou la dispersion rapide pour survivre aux périodes d'étiages et recoloniser les habitats lors du retour de l'eau (Buffagni, 2021).

Grace à leur sensibilité aux conditions environnementales, les macroinvertébrés d'eau douce reflètent fidèlement les variations naturelles et les perturbations anthropique (pollution organique, altération du régime d'écoulement, etc.) constituant ainsi des outils de surveillance écologique essentiels Arenas-Sánchez et al. (2021).

La recherche dans le bassin méditerranéen met également en lumière que ces organismes jouent un rôle central dans les cycles de nutriments et les réseaux trophiques (Figure 3), participant à la transformation de la matière organique et aux recyclages des nutriments, fonctions vitales pour la stabilité des écosystèmes méditerranéens (Williams et al. 2004).

Des études Italiennes et espagnoles confirment que la répartition des macroinvertébrés dépend des micro-habitats lotiques et lentique. Pace et al. (2011) ont montré que dans de petits cours d'eau volcaniques du Latium, la composition des peuplements varie selon la proportion régime d'écoulement intermittent. De même, Buffagni (2021) souligne que la part relative d'habitats lentique (eaux stagnantes en étiage) par rapport aux habitats lotiques détermine en grande partie la distribution des macroinvertébrés dans les rivières méditerranéennes. Bonda et al. (2007) ont observé que les tronçons intermittents sont dominés par des taxons aux stratégies de survie spécifiques : les sites temporaires abritent une faune adaptée aux épisodes de la sécheresse et de crue. Ces résultats illustrent que, dans l'ensemble du pourtour méditerranéen, la dynamique des communautés benthiques est étroitement liée au régime hydrologique saisonnier.

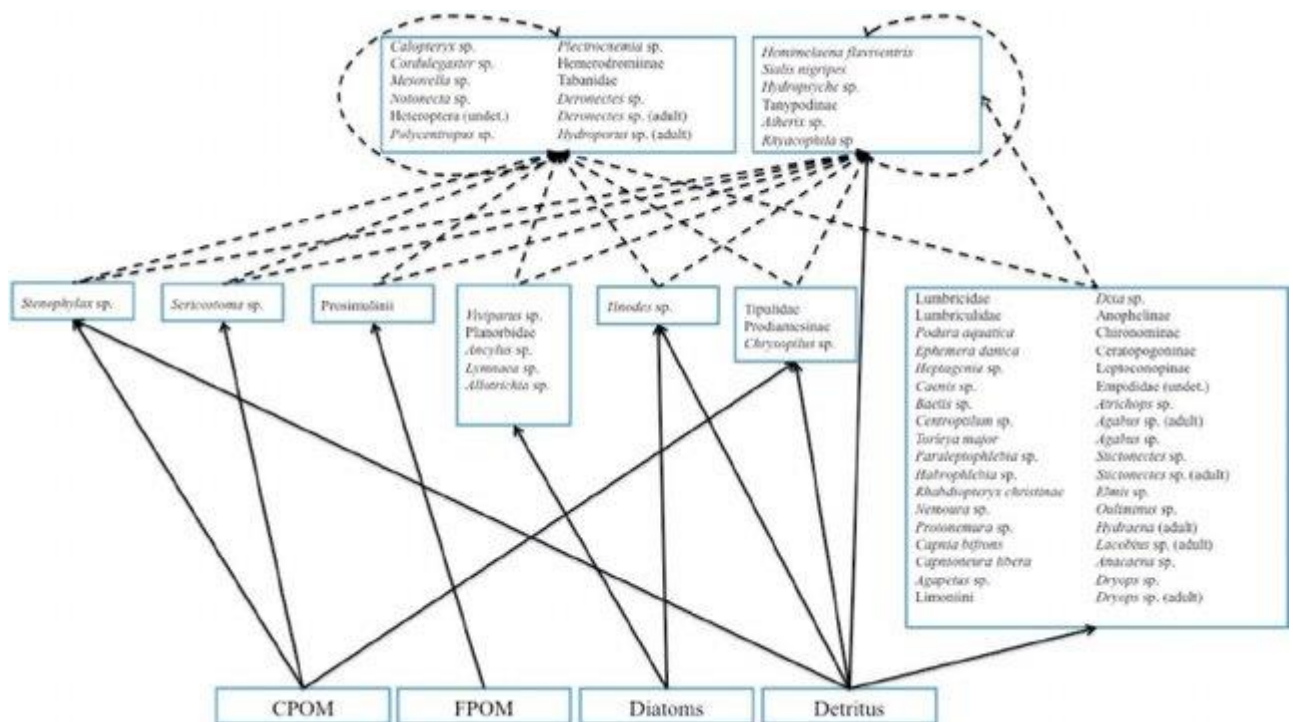


Figure 3. Schéma du réseau trophique des macroinvertébrés dans un affluent de l'Arroyo de las Perdices. (Lopez-Rodriguez et al., 2012). CPOM= matière organique particulière grossière ; FROM= matière organique particulière fine dans la colonne d'eau ; ligne en pointillé= des liens non dirigés ; es lignes continues indiqués des liens dirigés.

I.2.2. Les macroinvertébrés au Maghreb (Maroc, Tunisie et Algérie)

Plusieurs études ont exploré la diversité et la distribution de ces communautés dans cette région méditerranéenne. Au cours des dernières décennies, un nombre croissant de travaux a été publié sur les macroinvertébrés du Maghreb mettant en lumière les taxons aquatiques les plus représentatifs (notamment les Ephéméroptères, plécoptères et Trichoptère) et soulignant leur intérêt et tant qu'indicateurs biologiques dans ces écosystèmes.

Au Maroc, des recherches dans le Haut et Moyen Atlas ont montré que la diversité des macroinvertébrés est influencée par des paramètres tels que la conductivité et l'altitude. [Bouzidi \(1989\)](#) a mis en évidence l'influence des caractéristiques locales, révélant une diversité significative dans les cours d'eau montagneux, où la qualité de l'eau et les substrats rocheux favorisent des espèces adaptées aux milieux froids et bien oxygénés. [Giudicelli et Dakki \(1984\)](#) ont également souligné que ces rivières abritent des communautés de Plécoptères et Ephéméroptères, sensibles aux variations de température et le débit.

En Tunisie, [Boumaiza \(1994\)](#) a exploré les cours d'eau de la région de Khroumirie et a observé que la diversité des Elmidae et Hydraenidae est favorisée par les conditions d'altitude et d'humidité. [Ghannem et Touaylia \(2018\)](#) ont observé une grande diversité persiste dans les zones peu perturbées, tandis que la pollution et les variations saisonnières impactent la structure des communautés. Ces communautés aquatiques sont influencées par les caractéristiques physico-chimiques des eaux et la stabilité de l'habitat, ce qui en fait d'excellents bioindicateurs de la qualité de l'eau.

En Algérie, [Bouhala et al. \(2019\)](#) ont étudié les assemblages d'odonates dans le Wadi Cherf, un cours d'eau méditerranéen soumis à différentes pressions environnementales. Leur étude met en évidence que la composition des communautés est fortement influencée par la qualité de l'eau, la végétation riveraine et les activités humaine. La pollution et la dégradation des habitats entraînent une diminution de la diversité des espèces sensibles, au profit d'espèces plus tolérantes aux perturbations, telles que *Ischnura graellssi* et l'endémique Nord-Africain *Platynemis subdilatata*. Dans la même veine, [Kherief et al. \(2023\)](#) ont documenté la structure des communautés de macroinvertébrés dans les rivières Rhumel et Endja, montrant une forte corrélation entre la composition des communautés et la pollution. Leur étude révèle que des éléments comme le SO_4 et le PO_4 contribuent à la détérioration de la qualité de l'eau en période estival, entraînant une dominance d'espèce tolérantes dans les stations les plus polluées.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Des études supplémentaires menées par Houmani, Bendali-Saudi, Soltani (2023) ont examiné l'impact de la pollution sur le lac Echatt en Algérie, notant une diminution de la richesse en macroinvertébrés dans les zones proches des sources de pollution anthropique, avec une influence marquée du pH et de la turbidité sur ces communautés.

Enfin, Gattolliat et al. (2023) ont dressé un état des lieux des Baetidae dans tout le Maghreb, fournissant une clé d'identification et une analyse de la diversité des communautés dans la région. Leur travail montre que ces espèces, bien que largement répandues, sont affectées par les altitudes et les variations des substrats, et présentent des réponses distinctes aux changements environnementaux dans les différentes régions du Maghreb, renforçant leur rôle comme bioindicateurs pour la surveillance écologique des milieux aquatiques. Ainsi, les macroinvertébrés au Maghreb sont des indicateurs faibles de l'état des écosystèmes aquatiques, montrant une réponse directe aux facteurs abiotiques et anthropiques. La diversité et la spécificité de ces communautés soulignent l'importance de leur étude pour la préservation des écosystèmes aquatiques dans cette région.

I.3. Endémisme des macroinvertébrés

L'endémisme des macroinvertébrés dans les écosystèmes aquatiques du Maghreb est marqué par une diversité d'espèces adaptées aux conditions climatiques, géographiques et hydrologiques uniques de la région. Le Maghreb, comprenant des zones montagneuses, des bassins versants méditerranéens, abrite une faune benthique distincte, en partie isolée des influences faunistiques européennes et africaines.

Dans les montagnes de l'atlas au Maroc, des études ont mis en évidence plusieurs espèces endémiques de macroinvertébrés adaptées aux rivières froides et bien oxygénées. Bouzidi et Giudicelli (1994) ont observé que des espèces de Plécoptères et d'Ephéméroptères, comme *Leuctra ketamensis* (Sanchez-Orteg et Azzouz, 1997), sont limitées aux zones d'altitude en raison de leur besoin de conditions stables et spécifiques, ce qui contribue à leur répartition restreinte à cette région (Bouzidi et Giudicelli, 1994). De même, Dakki et Giudicelli (1984) ont trouvé que ces habitats de haute montagne sont favorables à l'émergence d'espèces endémiques, grâce à leur isolement géographique et à la stabilité climatique, ce qui limite les échanges avec d'autres populations.

En Tunisie, la région de Khroumirie se distingue par la découverte de trois espèces nouvelles pour la science dans l'ordre de Plécoptère (*Leuctra khroumiriensis*, *Leuctra sartorii* et

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Leuctra medjrdensis) par Vincon et Pardo en 1998. Cette région est également caractérisée par un endémisme notable chez les Elmidae et Hydraenidae, groupes bien adaptés aux cours d'eau des montagnes tunisiennes. Boumaiza (1994) a documenté que les espèces de ces familles sont particulièrement sensibles aux variations de température et d'humidité, limitant ainsi leur distribution à ces zones spécifiques. Les travaux de Ghannem, Touaylia et Boumaiza (2018) renforcent cette observation en montrant que ces communautés d'invertébrés sont confinées aux zones peu perturbées, ce qui explique leur endémisme et leur vulnérabilité face aux changements environnementaux.

L'Algérie possède elle aussi une riche diversité d'espèces endémiques, en particulier dans ses zones humides montagneuses. Samraoui et al. (2021) ont mis en évidence l'endémisme de *Rhithrogena sartorii* (Figure 4) dans les ruisseaux de haute altitude de l'est algérien. Il convient de noter que de nouvelles espèces endémiques continuent d'être découvertes dans l'Algérie. Par exemple, une Ephémère endémique, *Habrophelbia djurdjurenensis* Kechemir, Sartori et Lounaci (2020), a récemment été décrite en Kabylie (Figure 5). De même, une Plécoptère sous le nom de *Marthamea bayae* a été reporté de Lamine et al. En 2019 dans la région d'étude représentant le premier cas reporté du genre *Marthamea* en Afrique du Nord (Figure 6). Aussi d'autres signalements récents dans les Aurès avec Dambri et al. (2023) ont décrit *Baetis dihyae* sp., une nouvelle espèce d'Ephéméroptère du groupe *Baetis alpinus* (Figure 7) et Samraoui, Samraoui et Oláh (2024) ont décrit 15 nouvelles espèces de Trichoptères endémiques du Nord-Est Algérien, telles que *Hdropsyche cherfa*, *Hdropsyche makhloufa* et *Hdropsyche seybousa*, témoignent du fait que la diversité endémique des macroinvertébrés du Maghreb est encore sous-estimée.

L'endémisme des macroinvertébrés dans les écosystèmes aquatiques du Maghreb est donc une caractéristique majeure de la biodiversité régionale, illustrant l'importance de conserver ces habitats uniques pour protéger des espèces qui jouent un rôle essentiel dans l'équilibre écologiques.



Figure 5. *Rhithrogena sartorii*, larve d'après Samraoui et al. (2021).



Figure 4. *Habrophelbia djurdjurenensis*, espèce endémique des Djurdjura, adulte male d'après Kechemir, Sartori & Lounaci (2020).

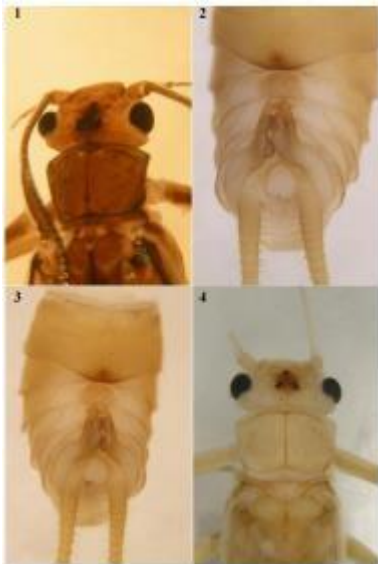


Figure 6. *Marthamea bayae* sp.n., mâle adulte, différentes partie (1, 2, 3, 4) d'après Lamine et al. (2019)



Figure 7. *Baetis dihyae* sp., larve, d'après Dambri et al. (2023).

I.4. Menaces sur les macroinvertébrés

Au Maghreb, ces organismes subissent diverses pressions menaçant à la fois leur diversité et leurs fonctions écologiques. Ces menaces se répartissent en deux grandes catégories : le changement climatique et la pression anthropique, qui affectent directement la qualité de l'eau, la disponibilité des habitats et l'équilibre écologique des milieux aquatiques

I.4.1. Changement climatique

Le changement climatique affecte profondément les écosystèmes aquatiques au Maghreb, notamment par l'augmentation des températures et la modification des régimes de précipitation, qui perturbent les cycles hydrologiques et réduisent la disponibilité en eau.

En Algérie, les travaux de [Morghad et al. \(2019\)](#) dans la région d'el Kala ont mis en évidence des modifications marquées dans la composition des communautés d'odonates au cours des deux dernières décennies. En comparant des inventaires réalisés en 1993-1994 et en 2015, les auteurs constatent un déclin des espèces spécialistes et rares, telles que *Gomphus lucasii*, au profit d'espèces thermophiles et ubiquistes comme *Sympetrum fonscolombii* ou *Crocothemis erythraea*. Ces changements sont attribués à la fois aux modifications d'usage des terres et au réchauffement climatiques, soulignant la sensibilité de ces macroinvertébrés aux perturbations environnementales et leur valeur en tant que bioindicateurs des effets du climat sur les milieux aquatiques. Plus globalement, plusieurs zones humides algériennes autrefois permanentes connaissent désormais un assèchement saisonnier marqué, conséquence directe de la baisse des précipitations, illustrant la vulnérabilité de ces écosystèmes face au changement climatique.

Au Maroc, des recherches dans le Haut Atlas ont mis en évidence que des variations de température et de débit pourraient affecter des espèces telles que les Plécoptères et les Epheméroptères, groupes particulièrement sensibles aux changements de leur environnement. [Giudicelli et Dakki \(1984\)](#) ont noté que ces espèces, adaptées aux milieux aquatiques froids, pourraient voir leur répartition diminuer avec la hausse des températures. Ce phénomène accentue le stress thermique et réduit les habitats convenables pour ces macroinvertébrés, limitant leur distribution géographique et augmentant leur risque de disparition.

Les zones humides de Tunisie, comme la Khroumirie, risquent également d'être impactées par la variabilité climatiques. [Boumaiza \(1994\)](#) a signé que les périodes de sécheresses plus fréquentes pourraient réduire les débits d'eau et assécher certains habitats critiques pour les macroinvertébrés. Ce manque de régularité dans les ressources en eau affecte particulièrement les espèces sténothermes, incapables de s'adapter rapidement aux changements extrêmes.

I.4.2. Pression anthropique

La pression anthropique représente une autre menace majeure, notamment en raison de la pollution des eaux, de l'urbanisation, de l'agriculture intensive et de la déforestation.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les études de [Kherief et al. \(2023\)](#) sur les rivières Rhumel et Endja en Algérie ont mis en évidence une forte influence des rejets urbains et agricoles sur la composition des communautés de macroinvertébrés, avec la prédominance d'espèces tolérantes aux polluants (Chironomidae et les Baetidae). La présence accrue de polluants, tels que les nitrates et les phosphates, crée un environnement hostile pour les espèces plus sensibles et favorise les espèces opportunistes, ce qui entraîne une perte de biodiversité dans ces écosystèmes aquatiques.

Les travaux de [Houmani, Bendali-Saudi, Soltani \(2023\)](#) dans le lac Echatt, en Algérie, illustrent comment la proximité des zones de décharge et l'urbanisation croissante autour des zones humides protégées conduisent à une diminution de la richesse des espèces de macroinvertébrés. Ces pollutions provoquent un déséquilibre écologique et affectent des populations, menaçant la stabilité des écosystèmes locaux. De même, [Djitli et al. \(2021\)](#) ont signalé que les pressions exercées sur le lac de Réghaïa ont affecté les communautés de macroinvertébrés, réduisant leur diversité et leur résilience face aux perturbations.

Une situation similaire est observée au Maroc. Dans l'Oued Guigou (Moyen Atlas), [Zerkani et al. \(2023\)](#) ont mis en évidence des concentrations élevées en métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Cr, Fe ; Ni) issues de rejets domestiques et agricoles. Ces niveaux, largement supérieurs aux normes marocaines, sont susceptibles d'altérer la composition et la richesse des macroinvertébrés benthiques, favorisant les espèces les plus tolérantes comme indique de leur côté, dans le bassin du Sebou, [Abbou et Fahde \(2017\)](#) qui ont observé que les pressions industrielles, agricoles et domestiques entraînent une forte diminution des taxons polluo-sensibles (Plecoptera, Ephemeroptera) au profit des taxons tolérants (Chironomidae, Oligochètes), confirmant la perte de qualité écologique des milieux.

En Tunisie, la tendance est comparable. Des travaux récents montrent que les pressions anthropiques restructurent les communautés de macroinvertébrés d'eau douce. Dans le bassin de la Medjerda, [Slimani et al. \(2019\)](#) ont montré que les apports urbains et agricoles altèrent les paramètres physico-chimiques (diminution de l'O₂, augmentation de la DCO/DBO et des nutriments), provoquant une diminution des taxons sensibles et une domination des taxons tolérants aux perturbations.

Les macroinvertébrés au Maghreb subissent des pressions combinées liées au changement climatique et aux activités humaines. Ces menaces compromettent non seulement la biodiversité des écosystèmes aquatiques mais également leur fonction en tant qu'indicateurs de la santé environnementale.

I.5. Statut de conservation des macroinvertébrés

Les macroinvertébrés benthiques, en raison de leur rôle crucial dans les écosystèmes aquatiques, sont considérés comme indicateurs sensibles de la qualité de l'eau et de l'état de santé écologique des milieux. Bien qu'ils constituent un maillon fondamental de la chaîne alimentaire dans les écosystèmes d'eau douce, la conservation de ces organismes n'a longtemps pas reçu l'attention nécessaire, en particulier dans les régions du Maghreb. Cependant, l'intensification des recherches sur la biodiversité aquatique, couplée à une prise de conscience mondiale des menaces pesant sur les ressources en eau, a permis d'améliorer le statut de conservation de ces espèces tant au niveau international que national.

I.5.1. Statut international

Sur le plan international, les macroinvertébrés benthiques n'ont pas toujours bénéficié de programmes de conservation spécifiques comparé à des groupes comme les poissons et Amphibiens, bien qu'ils soient reconnus pour leur rôle de bioindicateurs (Dudgeon et al., 2006).

Selon le rapport de Tickner et al. (2020), environ 30% des espèces d'eau douce sont menacées d'extinction, incluant un grand nombre d'invertébrés benthiques tels que des insectes (odonates, éphémères) et crustacés. Ce constat met en évidence leur forte vulnérabilité face aux pressions anthropiques, notamment la pollution, la fragmentation des habitats et les espèces exotiques envahissantes.

L'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) recense de nombreuses espèces d'invertébrés aquatiques sur sa liste rouge. Mais près de 29% d'entre elles sont classées comme « Données insuffisantes » Data déficiente, révélant un déficit de connaissances qui entrave l'évaluation précise de leur statut de conservation (IUCN, 2025). De plus, plusieurs études récentes signalent un déclin important des populations aquatiques au cours des dernières décennies. Certaines estimations évoquent une perte moyenne pouvant atteindre 40% chez les espèces d'eau douce (Reid et al., 2019 ; Sanchez-Bayo et Wyckhuys, 2019).

La protection de la biodiversité d'eau douce représente l'un des principaux défis en conservation, en raison de la complexité des réseaux hydrographiques et de leur forte interdépendance avec les terres environnantes et la zone riparienne (Nel et al., 2009). Les efforts internationaux se concentrent souvent sur la préservation globale des écosystèmes aquatiques plutôt que sur des espèces cibles, en raison de la difficulté à mettre en place des programmes de suivi exhaustifs pour la diversité des groupes de macroinvertébrés (Tickner et al., 2020).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Dans ce contexte, les conventions internationales offrent des cadres législatifs et stratégiques pour protéger les habitats aquatiques. Tels que la Convention de Ramsar, la convention sur la Diversité Biologique (CDB), la Directive Cadre sur l'Eau de l'union européenne, (DCE), Les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies et d'autres initiatives par l'IUCN. Ces principaux accords et leur application sont synthétisés dans le Tableau 1

Tableau 1. Principaux cadres internationaux pour la conservation des macroinvertébrés benthiques et leurs habitats

| Cadre législatif | Date | Objectifs principal | Action mise en place | Cas réalisé |
|---|------|---|---|---|
| Convention de Ramsar | 1971 | Protection des zones humides d'importance internationale | <ul style="list-style-type: none"> - Identification et désignation des sites Ramsar - Suivi régulier de l'état des zones. | Au Nylsuley Weland (Afrique du Sud) a analysé les communautés de macroinvertébrés aquatiques dans une zone humide Ramsar, démontrant l'importance de la qualité de l'eau et des sédiments pour la conservation (Dalu et al., 2021). |
| Convention sur la Diversité Biologique (CDB) | 1992 | Conservation Global de la biodiversité et l'utilisation durable | <ul style="list-style-type: none"> - Stratégies nationales pour la biodiversité - collecte et transmission de données, | Au Canada, la convention sur la diversité biologique a inspiré des programmes de suivi des macroinvertébrés aquatiques, utilisés |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | | | | |
|---|------|--|--|---|
| | | | - promotion de la recherche et collaboration | comme bio indicateurs pour évaluer et protéger la biodiversité des écosystèmes d'eau douce, conduisant à des mesures ciblées de restauration de habitats (Desforges et al., 2022) |
| Directive Cadre sur l'Eau (DCE) | 2000 | Amélioration de l'état écologique des masses d'eau | <ul style="list-style-type: none"> - Système de surveillance écologique - Evaluations régulières et rapport à la commission européenne | En Martinique et Guadeloupe, un indice multimérique basé sur les macroinvertébrés a été développé pour évaluer l'état écologique des rivières, en conformité avec la DCE (Bouvier et Bargier, 2021) |
| Objectifs de Développement Durable (ODD) | 2015 | Protection de ressource en eau et Biodiversité | <ul style="list-style-type: none"> - Intégration des ODD dans les politiques nationales - Suivi volontaire - Collaboration internationale | Une revue au Kenya a examiné l'utilisation des macroinvertébrés pour la bio monitoring de la qualité de l'eau identifiant les défis liés à la standardisation des |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | | | | |
|-----------------------|--|--|--|---|
| | | | | méthodes et au renforcement des capacités (Mbaka, 2023) |
| Programme UICN | | Recherche, surveillance et conservation de la biodiversité d'eau douce | <ul style="list-style-type: none"> - Liste rouge - Projet de restauration - Partenariats entre gouvernements et les ONG | L'UICN a créé un groupe de travail dédié à la surveillance harmonisée des macroinvertébrés benthiques d'eau douce renforçant la collaboration internationale (IUCN, 2022) |

I.5.2. Statut National en Algérie

En Algérie, la reconnaissance de l'importance des macroinvertébrés pour l'équilibre écologique et la qualité des eaux douces progresse, grâce à des recherches locales et des inventaire ciblés. Par exemple, les travaux de Samraoui et Menai (1999), Samraoui et Corbet (2000) et Yalles Satha et Samraoui (2017) sur *Calopteryx exul*, un odonate endémique du Maghreb, ont montré que sa répartition se limite désormais à quelques rivières et zones humides de l'Est algériens. Cette raréfaction souligne l'urgence de protéger ses habitats. Bien qu'aucune mesure ciblée ne lui soit actuellement consacré *C. exul* est reconnu comme un élément patrimonial majeur, incitant les scientifiques à recommander des mesures pour préserver ces zones sensibles et la mise en place d'actions de conservation ciblées.

À l'heure actuelle, il n'existe pas en Algérie de cadre juridique spécifiquement dédié à la conservation des macroinvertébrés benthiques. Le Journal officiel de la République algérienne décret exécutif n° 12-235 du 24 mai 2012, a mentionné certaines espèces menacées, parmi lesquelles figurent quelques insectes aquatiques, mais cette liste ne reflète pas réellement l'état de ces groupes. Cette situation s'explique par le déficit de données approfondies sur les macroinvertébrés benthiques et leur faible visibilité dans les politiques de conservation. Leur préservation passe donc principalement par la valorisation des habitats où ils vivent, en particulier dans les zones déjà protégées.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les zones humides d'Algérie, en particulier les sites Ramsar, bénéficient de mesures de protection qui contribuent indirectement à la conservation des macroinvertébrés. Des études menées dans des sites comme le lac de Réghaïa, classé site Ramsar depuis 2003, ont montré, notamment grâce aux travaux de [Djitli et al. \(2021\)](#), que la pollution organique et industrielle affecte la diversité et la résilience des communautés benthiques. De même, le lac Tonga, situé dans le parc national d'EL Kala est classé Ramsar depuis 1983, met en évidence le potentiel de ces zones humides comme réservoir de biodiversité. L'étude de [Khedimallah et Tadjine \(2016\)](#), qui y ont recensé 42 familles de macroinvertébrés, confirme la richesse biologique et la valeur de ce site pour la conservation. Ces résultats soulignent l'importance de réduire les pressions anthropiques autour des zones humides protégées, véritables refuges pour les macroinvertébrés endémiques et sensibles aux perturbations.

La région de Kabylie, qui abrite des rivières de haute altitude, est un autre exemple d'importance pour la conservation. Les études de [Lounaci \(2005\)](#) ont révélé que les rivières kabyles abritent une forte diversité d'espèces sténothermes adaptées aux environnements de haute altitude. Cependant, l'absence de réglementation spécifique pour ces habitats rend ces espèces vulnérables face aux pressions anthropiques et aux modifications hydrologiques. Des recommandations ont été faites pour préserver les écosystèmes montagnards à travers des mesures de protection des bassins versants et une gestion durable des ressources hydriques.

En somme, bien que la protection des macrobenthos en Algérie repose essentiellement sur la conservation des habitats aquatiques, la prise de conscience de leur importance pour la santé des écosystèmes s'accroît. Les efforts de recherche et de sensibilisation commencent à influencer les politiques nationales, avec une tendance à intégrer les macroinvertébrés dans les initiatives de conservation des zones humides et des cours d'eau. Cependant, des mesures spécifiques sont encore nécessaires pour renforcer leur statut de conservation face aux menaces environnementales croissantes.

Chapitre II

Présentation De La Zone D'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Présentation de la région de Djurdjura

Le Djurdjura constitue l'un des massifs montagneux majeurs de l'Atlas tellien, s'étendant ses reliefs sur les wilayas de Bouira, Tizi Ouzou et Bejaia. Cette chaîne de montagnes culmine à une altitude supérieure à toutes les autres de l'Atlas tellien, avec plusieurs pics dépassant 2 000 m dont le point culminant, le mont Lalla Khadîdja, atteint 2 308 m. Situé à environ 120 km à l'Est d'Alger et à moins de 50 km de la côte méditerranéenne, le massif occupe une position stratégique, à la jonction des influences climatiques maritimes et continentales.

La configuration topographique du Djurdjura, décrite par Quézel (1957) comme un arc orienté vers le Nord, se divise en trois secteurs distincts :

- **Le Djurdjura occidental**, incluant le massif du Haizer, culmine à 2 164 m et se caractérise par un relief accidenté et des formations karstiques remarquables.
- **Le Djurdjura central**, dominé par l'Akouker et le Ras Timedouine (2 305 m), offre un paysage escarpé typique.
- **Le Djurdjura oriental**, qui abrite le point culminant, Lalla Khadîdja (2 308 m), connu pour sa formation calcaire datant du lias supérieur.

Au sein de ce massif, une partie significative du territoire bénéficie d'un statut de protection renforcé grâce à la création du Parc National du Djurdjura (PND), officialisée par le décret présidentiel n° 83-460 du 23 juillet 1983. Couvrant une superficie de 18 550 hectares, le PND constitue un refuge pour de nombreuses espèces endémiques et menacées, jouant un rôle fondamental dans la préservation de la faune et de la flore locales, tout en offrant un cadre privilégié pour l'étude des dynamiques écologiques en milieu montagnard. Cependant, face à l'étendue du massif et à la complexité d'étudier l'ensemble de ses cours, notre recherche s'est concentrée spécifiquement sur cette zone protégée.

II.2. Situation géographique de Parc National de Djurdjura

Situé dans le Nord de l'Algérie, le Parc National de Djurdjura (PND) se trouve à environ 140 km au Sud – Est de la capitale Alger et à 40 km du littoral méditerranéen (Derridj, 1985). Il s'étend entre les 36° 31'02'' et 36°25'42'' de latitude Nord et les 3°57' 23 '' à 4° 19' 43'' de longitude Est. Administrativement, il couvre une superficie partagée entre les wilayas de Tizi Ouzou qui englobe 10 340 ha au Nord, et de Bouira, qui en détient 8 210 ha au Sud. Ces deux zones sont séparées par une ligne de crête.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Le territoire du parc est délimité par la plaine de la Soummam au Nord, la vallée de l'Oued Sahel à l'est, les hauts plateaux de Bordj Bou Arreridj au Sud, et la wilaya de Tizi Ouzou à l'Ouest. Son relief en forme d'arc s'étend d'Est en Ouest sur 50 km de long, avec une largeur comprise entre 3 et 10 km (Figure 8 ; Loukkas, 2006).



Figure 8. Localisation Géographique du Parc National Djurdjura (PND).

II.3. Organisation territoriale et zonage du PND

II.3.1. Organisation territoriale

L'organisation territoriale du Parc National du Djurdjura (Figure 9) est structurée en cinq unités de gestion territoriale destinées à assurer une proximité dans le suivi et la protection du milieu. Deux de ces secteurs se trouvent dans la wilaya de Tizi Ouzou, à savoir Ait Ouabane et Tala Guilef. Deux autres relèvent de la wilaya de Bouira. A savoir Tala Rana et Tikjda. Enfin, le cinquième secteur, Tirourda présente la particularité de s'étendre à l'extrémité orientale du parc, sur une zone chevauchant les deux wilayas.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

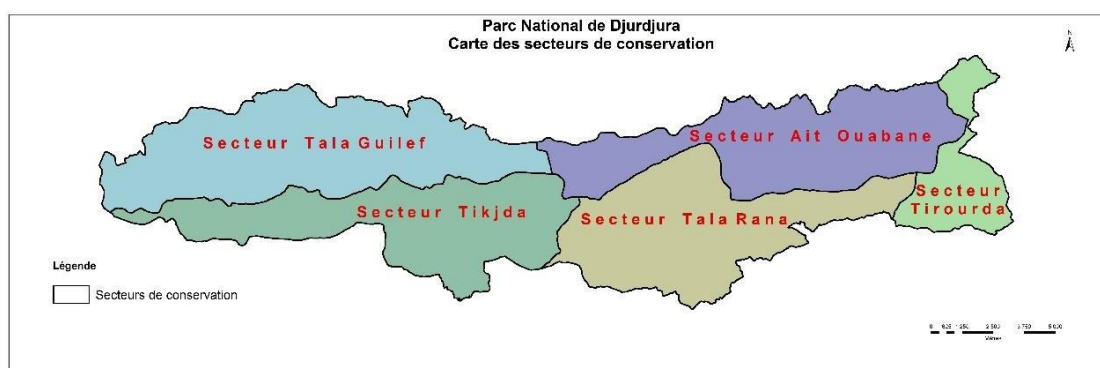


Figure 9. Carte représentant les secteurs de conservation du Parc National de Djurdjura (PND, 2019)

II.3.2. Zonage

Le zonage constitue un outil fondamental de gestion des aires protégées, permettant d'articuler conservation de la biodiversité avec des activités humaines compatibles. Selon les recommandations de l'Union International pour la Conservation de la Nature (UICN), cette approche repose sur la répartition d'un espace en plusieurs unités de la gestion différenciées, chacune définie par un niveau de protection et des usages autorisés spécifiques (Duley, 2008).

Dans la territoriale du Parc National de Djurdjura, une première structuration a été établie par l'arrêté ministériel n°57/SPM/DPPF/88 du 04 juillet 1988, instituant cinq zones distinctes répondant à des fonctions écologiques et socio-économiques complémentaires (Tableau 2).

Tableau 2. Les cinq zones du Parc National selon les catégories de gestion de l'UICN

| Zones | Superficie | Occupation |
|----------------------------------|------------|--|
| Zone de réserve intégrale | 2 635 Ha | Ressources Naturelles à caractères unique |
| Zone primitive | 11 424 Ha | Milieus naturels spécifiques |
| Zone à faible croissance | 2 682 Ha | Activité récréatives, sportives, touristiques et pâturage. |
| Zone tampon | 812 Ha | Camping |
| Zone périphérique | 976 Ha | Projets de développement socio-économique (Musée, expositions...etc) |

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Toutefois, cette organisation a connu une révision majeure après l'adoption de la loi n° 11-02 du 17 février 2011 relative aux aires protégées, a introduit un nouveau modèle de zonage simplifié en trois zones principales (PND, 2011 ; Figure 10) :

Zone Centrale (13 903 ha, soit 74,95 %) : véritable cœur écologique du parc, elle englobe les milieux les plus sensibles et assure la conservation intégrale de la biodiversité et les ressources unique. Seules les activités liées à la recherches scientifique y sont autorisées.

Zone Tampon (2 823 ha, soit 15,21 %) : zone qui entoure ou jouxte la zone centrale, destiné pour des pratiques écologiquement responsables, y compris l'éducation environnementales, l'écotourisme et la recherche appliquée et fondamentale. Elle est ouverte au public via des visites guidées de découverte de la nature. Mais toute action susceptible de perturber les équilibres écologiques y est proscrite.

Zone de transition (1 824 ha, soit 9,83 %) : elle comprend les espaces situés en périphérie du parc, elle protège les deux premières zones et sert de lieu à toutes les actions d'écodéveloppement ainsi que les activités de récréation, de détente, de loisirs et de tourisme.

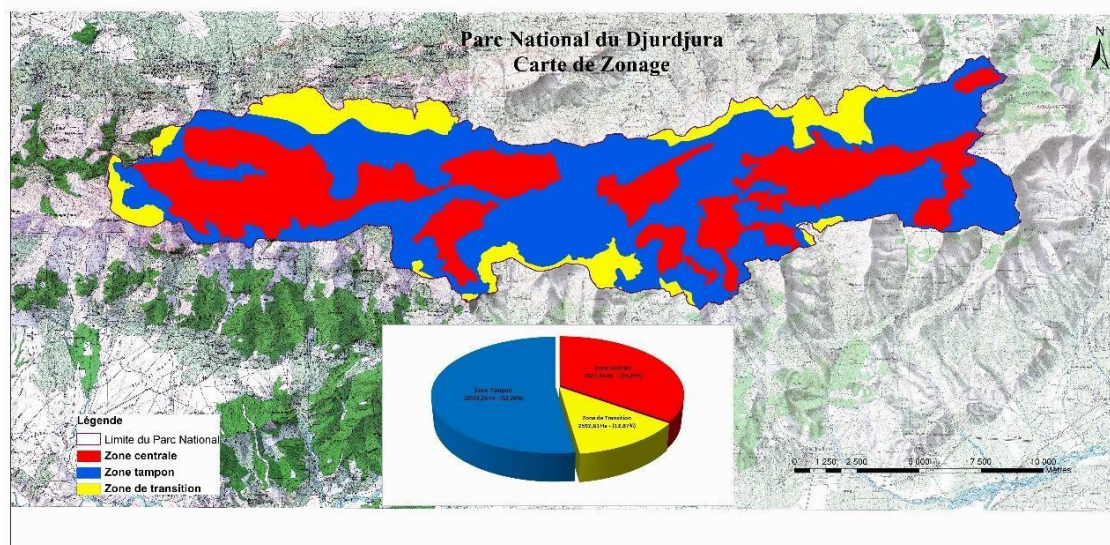


Figure 10. Carte de zonage du parc national du Djurdjura (PND, 2011).

II.4. Géologie et géomorphologie de Djurdjura

La géologie et géomorphologie d'une région constituent des facteurs fondamentaux dans la structuration des écosystèmes aquatiques. La nature des roches et leur composition minérale conditionnent la chimie des eaux de surface, en déterminant notamment les taux d'altération et la délibération d'ions majeurs (Hynek et al., 2022 ; Stewart et al., 2022). De même, la

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

géomorphologie du bassin façonne la morphologie des cours d'eau, influençant ainsi la diversité des habitats aquatiques (Buffington et Montgomery, 2021). Ces éléments abiotiques régissent la disponibilité des substrats et déterminent la composition et la distribution des communautés biologiques qui les colonisent, en particulier les macroinvertébrés (Maasri et al., 2019).

II.4.1. La géologie

Le Djurdjura (Adrar n'Jerjera en Kabylie) s'inscrit dans la chaîne de l'Atlas tellien et résulte d'une histoire géologique complexe, marqué par des événements tectoniques majeurs depuis le Mésozoïque. Durant cette période, d'importantes formations calcaire et dolomitiques se sont déposées, constituant aujourd'hui l'essentiel du paysage. La collision des plaques africaine et eurasienne au Cénozoïque a provoqué le plissement et le soulèvement de ces formations, donnant naissance à des unités allongées selon une orientation Est-Ouest. Ces structures, fortement redressées et basculées vers le sud, reposent au Nord sur un socle cristallin et cristallophyllien (Grande Kabylie) et au Sud sur des flyschs.

Cet ensemble sédimentaire, qui s'étend du Paléozoïque supérieur au Cénozoïque, est dominé par les calcaires massifs du Lias inférieur et de l'Eocène, fortement déformés par la néotectonique. Ces roches, associées à des grès, des argiles, des gypses triasiques et des marno-calcaires jurassico-crétacés, créent une diversité lithologique qui influence directement la géomorphologie du massif. En effet, les contrastes de résistance à l'érosion entre ces formations sculptent des reliefs variés, tout en jouant un rôle clé dans la structuration des habitats terrestres et aquatiques (Quinif, 1978 ; Abdesselam, 1995).

II.4.2 La géomorphologie

Sur le plan géomorphologique, le Djurdjura se caractérise par une alternance de massifs calcaires et de formations plus tendres (marnes, schistes, grès), ce qui a favorisé le Développement de reliefs contrastés, marqués par des vallées profondes et des paysages karstiques typiques (Nicod, 1983 ; Abdesslem, 1995). Le karst est notamment visible à travers la présence de nombreuses dolines, particulièrement concentrées autour du col de Tirourda et dans la région d'Asswel. De vaste étendue de lapiaz, formées par l'érosion des calcaires sous l'effet des précipitations et des variations climatiques, sont également présentes sur les crêtes du Djurdjura, notamment au niveau du col de Tizi n'Kouilal (Quinif, 1978 ; Collignon et al., 1982).

L'activité karstique intense qui caractérise le Djurdjura se manifeste également par la présence d'un important réseau de cavités souterraines formé par la dissolution progressive des

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

roches carbonatées sous l'action des eaux chargées en dioxyde de carbone (CO₂). Parmi les plus remarquables, Anou Ifflis ou Gouffre du Léopard (Figure 11), avec ses 1170 mètres de profondeur en lui a fait la cavité la plus profonde d'Afrique. Anou Boussouil (ou Anou Asswel) constitue une autre cavité majeure du massif, connue pour ses impressionnantes galeries souterraines (Figure 12 ; Collignon et al., 1982 ; Gunn, 2004). Dans la région de Tikjda la grotte de Macicotta présente un ensemble remarquable de stalactitiques et stalagmitiques spectaculaires, témoignant d'une karstification active (Nicod, 1983).

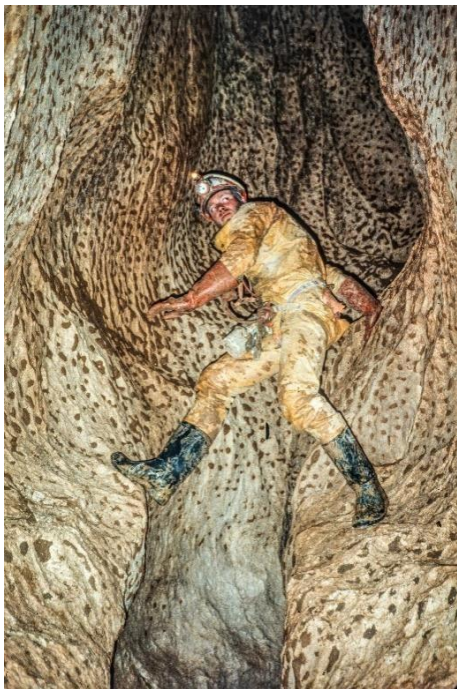


Figure 11. Gouffre du léopard ou Anou Ifflis (PND, 1983)



Figure 12. Anou Boussouil ou Anou Asswel (Bence, 2014)

II.5. Réseau hydrographique de Djurdjura

Le Djurdjura constitue un aquifère majeur en Algérie, caractérisé par un réseau hydrographique dense alimenté principalement par la précipitation en grande partie neigeuses en altitude et par les résurgences karstiques (Abdesselam, 1995). Ce système assure une relative stabilité des débits tout au long de l'année grâce à l'infiltration rapide dans les calcaires et au rôle régulateur du karst (Quinif, 1978). Le massif forme la ligne de partage des eaux entre trois bassins versant stratégiques : le Sébaou au Nord, la Soummam au Sud, et l'Isser à l'Ouest.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.5.1. Structure des bassins versants

L'Hydrologie du parc National du Djurdjura (PND) s'articule autour de deux systèmes principaux :

- ✚ **Le bassin de la Soummam** (sud du massif) se subdivise en quatre sous-bassins, dont trois dans le PND : Oued Edous, Sahel amont et Sahel aval. Son régime torrentiel collecte les eaux du versant septentrional avant leur confluence vers la Méditerranée.
- ✚ **Le bassin du Sébaou** (centre et Nord-Est) draine vers l'Oued Sébaou via neuf sous-bassins, dont deux inclus dans le PND. Ces cours d'eau présentent un régime pluvio-nival marqué par des crues printanières lors de la fonte des neiges.

II.5.2. Dynamique hydrologique et patrimoine aquatique

La combinaison d'une géologie karstique et d'un climat montagnard méditerranéen avec des précipitations atteignant 2 000 mm/an, dont 75 % de neige, en altitude favorise une infiltration rapide. Cette eau alimente un aquifère profond qui ressort en :

- 332 sources vaclusiennes (débits de 0,01 à 500 L/s), dont les majeures sont Tinzert (versant Nord) et Lainsar Abarkane (versant Sud) ;
- 13 cours d'eau permanents ;
- Le lac ougoulmim (1 700 m d'altitude), joyau des écosystèmes d'altitude ;

II. 6. Etude Climatique de Djurdjura

Le climat constitue un facteur déterminant dans l'organisation de la dynamique des écosystèmes, particulièrement en milieu montagnard. Les précipitations, les températures et les vents influencent directement les cycles hydrologiques, la répartition des espèces et l'évolution des paysages (Rogora et al., 2017). Dans les régions comme le Djurdjura, ces paramètres climatiques conditionnent la disponibilité en eau, la végétation et les interactions entre organismes, jouant ainsi un rôle dans l'équilibres écologiques.

En Algérie, la zone Nord est marquée par un climat méditerranéen aux saisons contrastées. D'octobre à mai, une période froide et humide apporte des pluies irrégulières, avec des hivers dont l'intensité varie d'une année à l'autre. A l'inverse, de juin à septembre une saison chaude et aride, marqué par une sécheresse persistante (Meddi et Hubert, 2003 ; Taïbi, 2019). Cette dualité est encore accentuée dans le massif du Djurdjura, décrit par Tihay (1972) comme

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

un milieu « Périglaciaire de montagne méditerranéenne », où se mêlent influences montagnardes et méditerranéennes. La topographie y crée des microclimats distincts : le versant Nord, exposé aux flux maritimes, bénéficie d'un climat plus doux, tandis que le versant Sud, soumis aux effets continentaux, connaît des écarts thermiques plus prononcés. La présence de l'atlas Tellien au Sud renforce cette différenciation en bloquant les remontées d'air saharien (Lespès, 1909).

L'étude des tendances climatique récentes dans cette région se heurte cependant à un manque de données locales, notamment en altitude. Pour contourner cette limite, les analyses d'appuient sur des données satellitaires issues de la plateforme NASA POWER (2010-2020), géoréférencées selon les coordonnées du Djurdjura. Les températures (maximale et minimales) et les précipitations ont été extrapolées à différentes altitudes (300 m, 500m, 1000m et 1500 m) en appliquant des gradients établis : - 0,6 °C et + 10 % de précipitations par palier de 100 m. cette approche permet de reconstituer une image cohérente malgré l'absence de stations météorologiques (Pepin et al., 2015 ; Barry et Blanken, 2016)

II.6.1. La synthèse climatique

II.6.1.1. La température

L'étude des profils thermiques du massif du Djurdjura met en évidence une décroissance marquée des températures avec l'altitude. A 300m d'altitude, le régime thermique annuel présente des extrêmes significatifs, avec des minimales hivernales de 5 °C et des maximales estivales pouvant atteindre 34,6 °C. Cette amplitude thermique se réduit progressivement avec l'élévation, pour atteindre à 1500 m des valeurs nettement plus basses, oscillant entre - 2 °C en hiver et 26 °C en été (Tableau 3).

Le mois de février, période la plus froide, illustre particulièrement cette variation altitudinale, avec des températures minimales moyennes chutant à - 9 °C à 1500 m d'altitude (Annexe). Contrairement à d'autres systèmes montagneux méditerranéens ou l'exposition nette de l'effet altitudinale sur le régime thermique, qui semble atténuer l'influence de l'orientation de pentes.

II.6.1.2. La précipitation

Le massif du Djurdjura présente un régime pluviométrique typiquement méditerranéen, caractérisée par une nette saisonnalité des précipitations. Les apports hydriques se concentrent principalement en hiver et au printemps, tandis que la période estivale se distingue par son aridité marquée. Les cumuls annuels, variant de 563,3 mm à 300 m d'altitude jusqu' a 1408,5 mm à

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1500 m, montrent une augmentation significative avec l'altitude (Tableau 3), reflétant l'influence orographique sur la distribution spatiale des pluies. Cette variabilité altitudinale souligne le rôle clé du relief dans la modulation du climat local.

Tableau 3. Données climatiques du Djurdjura extrapolées en fonction de l'altitude (2010-2020)

Paramètres calculés par Labdaoui (2025) source : [NASA POWER](#)

| Paramètre Altitude | P mm (Annuel) | M °C (Mois plus chaud) | m °C (Mois le plus froid) | M °C (Annuel) | m °C (Annuel) | Q2 |
|-----------------------|------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|--------|
| 300 m | 563,3 | 44,8 | - 1,5 | 34,61 | 5,75 | 41,72 |
| 500 m | 704,2 | 43,5 | -2,8 | 33,28 | 4,45 | 52,16 |
| 1 000 m | 1056,3 | 40,26 | -6,05 | 30,03 | 1,20 | 78,24 |
| 1 500 m | 1408,5 | 37,01 | -9,3 | 26,78 | -2,04 | 104,32 |

II.6.1.3. Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q2)

Le quotient pluviométrique d'Emberger est indice bioclimatique qui permet de classer les climats méditerranéens en fonction de leur aridité. Il prend en compte les précipitations annuelles (P), la Température moyenne du mois le plus chaud (M) et la Température moyenne du mois le plus froid (m).

$$Q2 = 3,43 \cdot P / (M - m)$$

Cet indice particulièrement utile pour étudier la relation entre le climat et la végétation, et pour déterminer les étages bioclimatiques d'une région ([Stewart, 1968](#)).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

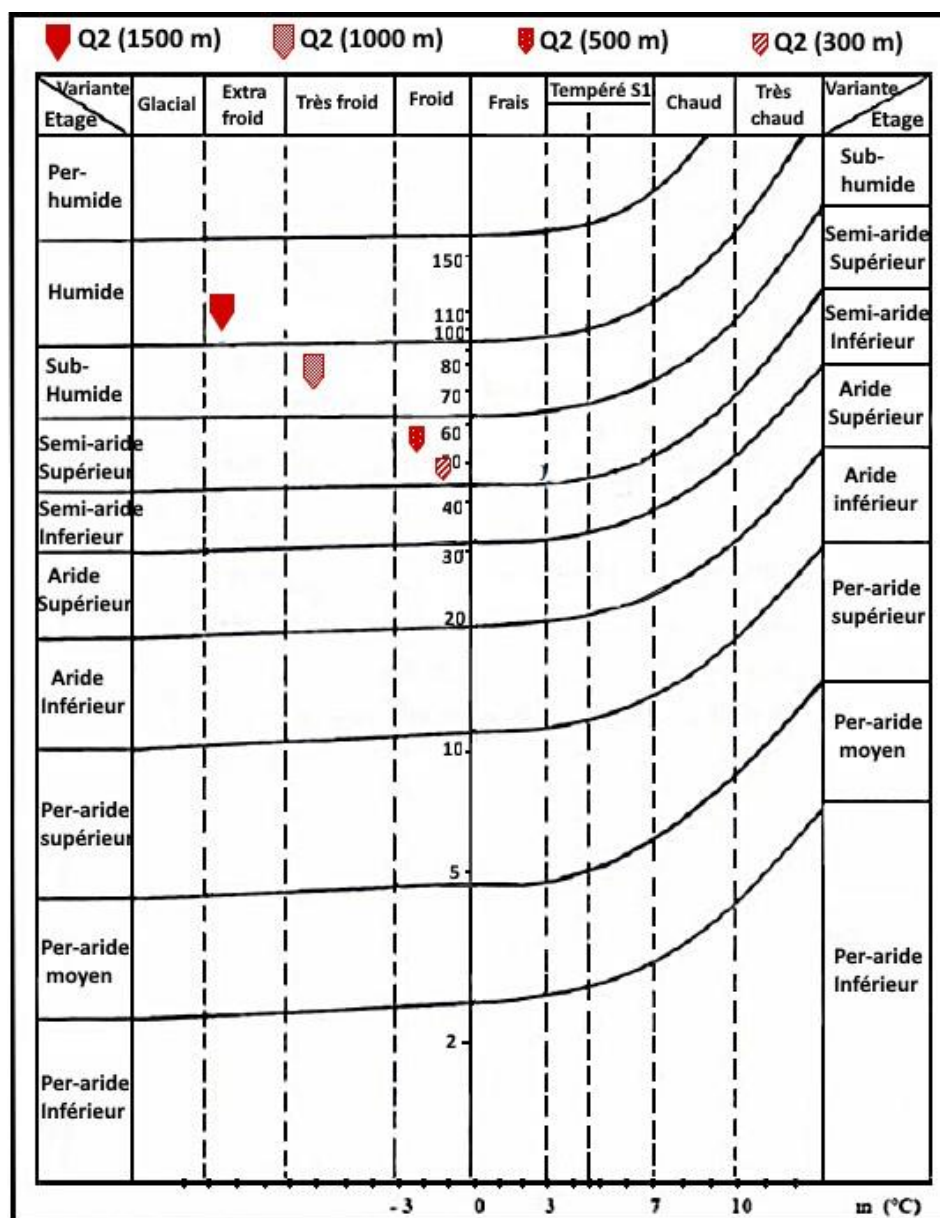


Figure 13. Classification climatique de la région du Djurdjura à différentes altitude calculé (300 m, 500 m, 1000 m, 1500 m) selon Climatogramme d'Emberger.

L'analyse du Climatogramme d'Emberger, établie à partir des données collectées, révèle une distribution altitudinale distincte dans le massif du Djurdjura, témoignant d'une stratification bioclimatique nette. Les différentes altitudes se répartissent en étages bien différencier, soulignant l'impact marqué de l'élévation sur les paramètres climatiques. Ainsi, les zones situées entre 300 et 500 m s'inscrivent dans l'étage semi-aride à hiver froid, avec de quotients pluviométriques (Q2) modérés de 41 et 52 respectivement. En revanche, à 1000 m d'altitude, le climat devient subhumide à hiver très froid, tandis qu'à 1500 m, on observe un étage humide à hiver extra-froid caractérisé par des précipitations abondantes atteignant 1400 mm/an et des

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

températures hivernales extrêmes descendant jusqu'à -9°C en février. Cette progression altitudinale illustre clairement comment l'augmentation de l'élévation entraîne une intensification des précipitations et une baisse drastique des Températures, mettant en évidence la forte variabilité climatique du Djurdjura gouvernée par l'altitude et la topographie.

II.7. Occupation des sols du massifs de Djurdjura

La carte d'occupation des sols (Figure 14) du parc national du Djurdjura révèle une dominance des terrains de parcours, qui occupent plus de la moitié de la superficie (51,44 %), suivis par les barres rocheuses (12,50 %) et les matorrals à *Quercus Ilex* (11,44 %). Les formations forestières, bien que moins étendu, présentent une diversité notable, avec des cédraies (*Cedrus atlantica*) représentant 10,30 % sous forme conservée et 2,06 % dégradée, ainsi que des chênaies à *Quercus Ilex* (3,36 %) et *Quercus suber* (0,12%). Les reboisements en cèdre (0,99%) et les rissylves (0,54 %) occupent des surfaces réduites, tout comme les faciès spécifiques à *Juniperus sabina*, *Paenia corallina*, ou *Acer monspeliensis* (moins de 0,1 % chacun).

Les activités anthropique, telles que les terrains de culture ne représentent que 0,81 % de la surface total, restent marginales. Cette répartition met en évidence une prépondérance des milieux ouverts (parcours, roche) sur les écosystèmes forestiers, soulignant à la fois des pressions pastorales et la fragmentation des habitats boisés, ainsi que l'importance des efforts de conservation pour les formations relictuelles comme les cédraies.

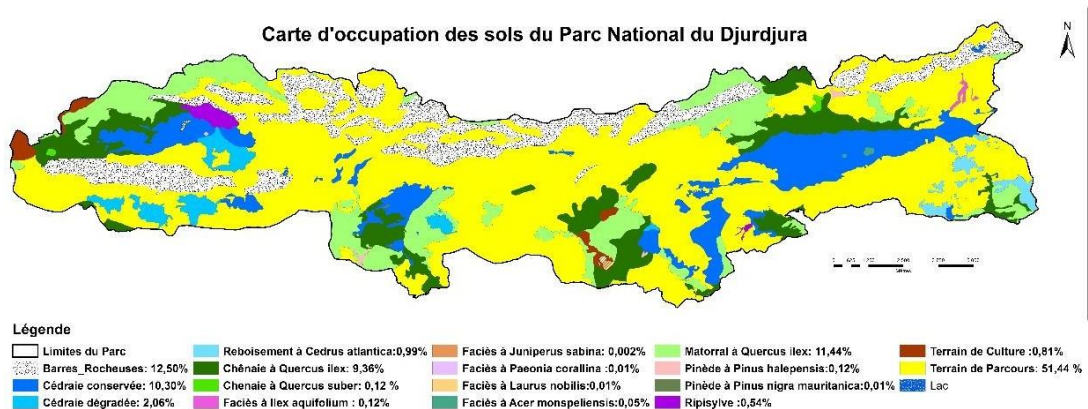


Figure 14. Carte d'occupation des sols du Parc National du massif de Djurdjura (PND, 2011).

II.8. Biodiversité du Djurdjura

Le Djurdjura constitue un haut lieu de biodiversité, façonné par sa position biogéographique et la diversité de ses conditions climatiques. Cette richesse environnementale

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

favorisant le développement de 1 675 espèces végétales et fongiques ainsi que 433 espèces animales, dont plusieurs sont endémiques ou protégées. Cette zone a été intégrée au 11^{-ème} point chaud régional de biodiversité et classée Réserve de Biosphère par l'UNESCO en 1997.

II.8.1. La richesse floristique

La flore du Djurdjura est particulièrement riche et variée et varie, selon la donnée du parc National du Djurdjura (PND) en 2019, le territoire recense environ 1 242 taxons végétaux, répartissent 84 familles botaniques. Parmi eux, 1 100 espèces de Spermaphytes, représentant près de 35 % de la flore du Nord de l'Algérie, ainsi que 90 taxons de charpinions et 52 taxons de lichens.

Cet héritage floristique comprend un nombre significatif d'espèces rares et protégées, témoignant de la valeur écologique du massif. On dénombre 35 espèces endémiques, 75 très rares, 145 rares et 33 protégées, soit 14,6 % des espèces végétales protégées en Algérie. En outre, 111 espèces possèdent des médicinales et aromatiques, renforçant l'intérêt scientifique et pharmaceutique de cette biodiversité (Meddour et Sahar, 2023).

II.8.2. La richesse faunistique

Le massif du Djurdjura abrite une remarquable diversité de mammifères. Les études récentes y recensent 37 espèces, se répartissant entre 25 espèces terrestres non volants et 12 espèces de chiroptères représentant respectivement 31 % et 41 % du nombre total d'espèces actuelles rencontrées en Algérie (Khides, 1998 ; PND, 2007). Cette richesse mammalogique s'accompagne cependant de disparitions emblématiques, avec l'extinction locale de trois grands mammifères caractéristiques : l'ours brun (*Ursus arctos*), le mouflon à manchettes (*Ammotragus lervia*) et le lion de l'Atlas (*Panthera leo leo*).

Parmi les espèces phares encore présentes, le *Macaca sylvanus* (singe magot ou singe de Barbarie) revêt une importance particulière en tant que seul primate sauvage d'Afrique du Nord (Fooden, 2007). Ce primate, étroitement inféodé aux cédraies du massif, subit toutefois un déclin préoccupant, avec une population estimée à seulement 4 545 individus lors du dernier recensement (PND, 2010). Son statut de conservation a motivé une protection internationale (Annexe II de la CITES) et nationale (décret Algérien N°83-509 du 20 Aout 1983) (Foulquier, 2008).

L'avifaune du Djurdjura présente une diversité exceptionnelle avec 130 espèces aviennes regroupées en 33 familles et 80 genres (Hamdine, 1987). Les communautés ornithologiques se

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

caractérisent par la prédominance de plusieurs familles : Turdidés (17 espèces), Sylviidés (14 espèces), Accipitridés (13 espèces), Fringillidés (9 espèces) et Motacillidés (7 espèces), reflétant la variété des habitats disponibles.

Les connaissances sur l'herpétofaune apparaissent plus fragmentaires, avec des inventaires recensant 19 espèces de reptiles et 7 espèces d'amphibiens (Mamou, 2016). La faune invertébrée, quant à elle, comprend au moins 251 taxons identifiées, dominés par les insectes (238 espèces), auxquels s'ajoutent 9 mollusques et 4 myriapodes, bien que ces groupes demeurent sous-étudiées).

Chapitre III

Matériels et Méthodes

III.1. Objectif d'étude

Cette étude vise à combler le manque de connaissances sur les macroinvertébrés benthiques de la région de Bouira, particulièrement en réseau hydrographique de Djurdjura, un des plus grandes réserves d'eau en Algérie dont. L'objectif principal est d'établir une check-list taxonomique exhaustive de ces organismes, tout en analysant leur distribution spatiale ainsi que l'influence de certains paramètres environnementaux sur présence. Les données recueillies permettront d'évaluer l'intégrité des cours d'eau et d'identifier les menaces principales pesant sur ces écosystèmes, afin de proposer des bases scientifiques pour leur conservation. Cette recherche contribuera. Ainsi à une meilleure gestion des ressources aquatiques dans un contexte climatique méditerranéen en mutation.

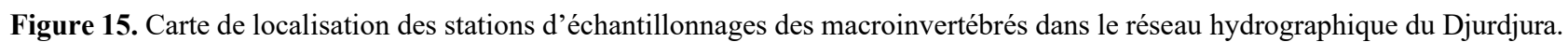
III.2. Plan d'échantillonnage

III.2.1. Choix des sites d'études

Dans le cadre de cette étude, un réseau de 49 stations a été sélectionné à travers le réseau hydrographique du massif du Djurdjura, couvrant ses versant Nord et Sud, principalement dans les limites du Parc National de Djurdjura. Ces stations, réparties sur cinq sous-bassin versants (Ed-Dous, Sahel Amont, Sahel Aval, Oued Aissi et Bougdoura) (Tableau 4), englobent une diversité d'habitats : des sources et petits ruisseaux aux oueds plus importants, incluant des cours d'eau permanents et temporaires (assèchement estival). Cette hétérogénéité permet d'étudier les dynamiques écologiques et biologiques sous l'influence de facteurs altitudinaux, hydrologiques et anthropiques.

Dans le cadre de notre travail on a sélectionné que quelques stations à exploiter (Figure 15). La sélection des stations a été guidée par des critères garantissant leur représentativité du massif :

- Paramètres physiques : altitude, exposition, nature de substrat ;
- Contexte spatial : localisation géographique, hétérogénéité des habitats riverains (occupation des sols), accessibilité ;
- Statut de protection : proximité des zones protégées du parc.



Chapitre III : Matériels et Méthodes

Ce dispositif vise à maximiser la collecte de données sur la distribution des macroinvertébrés benthiques, tout en intégrant les contraintes naturelles et anthropiques des milieux étudiées.

Tableau 4. Tableau récapitulatif des stations d'échantillonnage.

| Versant d'exposition | Sous bassin-versant | Nombre de station | Code de la station |
|----------------------|---------------------|-------------------|---|
| NORD | Bougdoura | 3 2 | TG1, TG12, TG2 TG4, TG3 |
| | Oued Aissi | 21 | TG5, TG6, TG7, TG8, TG9, TG10, TG11, TG13. A1, A2, A3, A4, A5, A6. OA1, OA2, OA3, OA4, OA5, OA6, OAx. |
| SUD | Sahel aval | 3 | T1, T2, T3. |
| | Sahel Amont | 14 | TR1, TR2, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14. |
| | Ed Dous | 6 | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TK5. |

III.2.2. La description des sites

III.2.2.1. Le versant Nord du Djurdjura

III.2.2.1.1. Sous-bassin Bougdoura

Intégré au bassin hydrographique de l'Oued Sébaou, le sous-bassin de Bougdoura couvre une superficie importante dans la région de Tizi Ouzou. Situé sur le versant Nord-Ouest du Djurdjura, il joue un rôle clé dans la gestion des ressources hydriques locales, assurant le drainage des eaux et régulant les flux hydrologiques. Cette fonction est renforcée par la présence du barrage de Souk Tleta, qui permet l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et d'autre usages.

Les stations d'étude sélectionnées dans ce sous-bassin se répartissent entre 800 et 1 500 m d'altitude et se caractérisent par une hydro-période permanente. La majorité d'entre elles correspondent à des forêts établis sur un substrat pierreux, à l'exception de la station TG12 (Tinzert), qui se distingue par un maquis développé sur un substrat en blocs (Tableau 5).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau 5. Caractéristiques des stations d'échantillonnages de sous-bassin versant Bougdoura

| Code | Nom de station | Secteur/Oued | Altitude (m) | Latitude | Longitude | Substrat | Occupation du sol | Hydroperiode |
|------|------------------|--------------|--------------|----------|-----------|----------|-------------------|--------------|
| TG1 | Djemaà Thercha | Tala Guilef | 1312 | 36.47100 | 3.99820 | Pierre | Foret | Permanent |
| TG2 | Ifri Ihamaden | Tala Guilef | 1574 | 36.47148 | 4.01818 | Pierre | Foret | Permanent |
| TG3 | Anser Ikharadhen | Tala Guilef | 1458 | 36.47417 | 4.01187 | Pierre | Foret | Permanent |
| TG4 | Anser Inadjaren | Tala Guilef | 1413 | 36.47625 | 4.00859 | Pierre | Foret | Permanent |
| TG12 | Tinzert | Tala Guilef | 887 | 36.47739 | 3.97178 | Block | Maquis | Permanent |

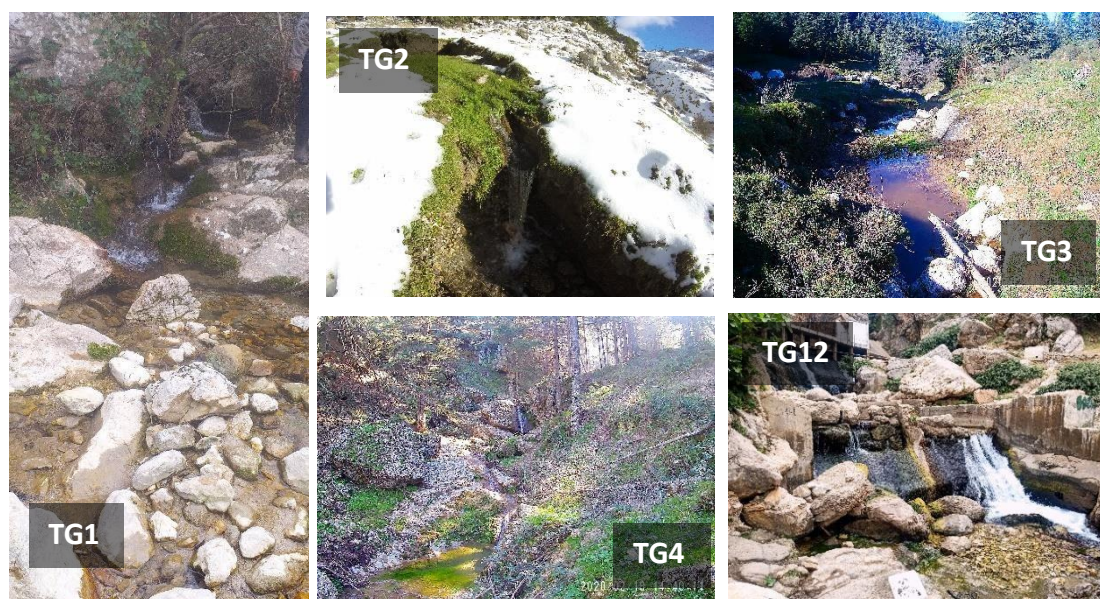


Figure16. Photo des sites de la station du sous-bassin Bougdoura (photo original)

III.2.2.1.2. Sous bassin Oued Aissi

Le sous bassin versant de l'Oued Aissi s'étend sur le versant Nord du Djurdjura, constituant le deuxième affluent majeur de l'Oued Sébaou après l'assif Messouya. Il draine les écoulements de la partie médiane du massif, couvrant les régions de Main de Juif et Ath Djemaà. Les formations géologiques peu perméables de ce secteur favorisent un ruissellement superficiel important, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 910 mm (données 1995-2005).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Les 21 stations d'étude, réparties de manière homogène dans les secteurs Est, Ouest et Central du sous-bassin, s'échelonnent entre 300 et 1 300m d'altitude (Tableau 6). Elles présentent toutes une hydro-période permanente et se répartissent entre différents types de couverts végétaux : forêts, maquis, canyons et zones rurales. Le substrat y est majoritairement à une installation électrique.

Tableau 6. Caractéristiques des stations d'échantillonnages de sous-bassin versant Oued Aissi

| Code | Nomination | Secteur/ Oued | Alt (m) | Latitude | Longitude | Substrat | Occupation du sol | Hydroperiode |
|-------------|--------------------|------------------|------------|---------------|-----------|------------------|----------------------|--------------|
| TG5 | Tamda Izerme 1 | Tala Guilef | 435 | 36,51614 | 4,09781 | Pierre | Maquis | Permanent |
| TG6 | Tamda izerme 2 | Tala Guilef | 435 | 36,5161 | 4,09784 | Pierre | Maquis | Permanent |
| TG7 | Tamda iselma | Tala Guilef | 425 | 36,51681 | 4,09838 | Pierre | Maquis | Permanent |
| TG8 | Tamda Ouserghi | Tala Guilef | 361 | 36,51931 | 4,10213 | Pierre, Block | Maquis | Permanent |
| TG9 | Tamdha Guahia | Tala Guilef | 1147 | 36,48773 | 4,06902 | Pierre | Canion | Permanent |
| TG10 | Tamdha Guahia 2 | Tala Guilef | 1013 | 36,48925 | 4,06791 | Pierre | Canion | Permanent |
| TG11 | Tamdha Guahia 3 | Tala Guilef | 947 | 36,49182 | 4,06713 | Pierre | Canion | Permanent |
| TG13 | Assif boukriche | Tala Guilef | 1004 | 36,49309 7 | 4,061236 | Pierre | Rural | Permanent |
| A1 | Assif larabaa 1 | Assif Larbaa | 553 | 36,49463 9 | 4,185639 | Block | Foret | Permanent |
| A2 | Assif larabaa 1 | Assif Larbaa | 463 | 36,50272 2 | 4,190806 | Block | Foret | Permanent |
| A3 | Assif larabaa 1 | Assif Larbaa | 355 | 36,52202 8 | 4,204083 | Pierre | Rural | Permanent |
| A4 | Assif larabaa 1 | Assif Larbaa | 316 | 36,538 | 4,198639 | Pierre | Rural | Permanent |

Chapitre III : Matériels et Méthodes

| | | | | | | | | |
|------------|-----------------------------|----------------|------|---------------|----------|--------|-----------------------|-----------|
| A5 | Assif larabaa 1 | Assif Larbaa | 289 | 36,55622 2 | 4,190556 | Pierre | Rural | Permanent |
| A6 | Assif larabaa 1 | Assif Larbaa | 249 | 36,56797 2 | 4,169861 | Pierre | Rural | Permanent |
| OAx | Amthiq negIghzar-2 | Ait Ouabane | 1299 | 36.47389 | 4.24591 | Pierre | Foret | Permanent |
| OA1 | Amthiq n-g- Ighzar-1 | Ait Ouabane | 1340 | 36.47314 | 4.2440 | Pierre | Foret | Permanent |
| OA2 | Ifri- Taghzout Bouart | Ait Ouabane | 1187 | 36.4746 | 4.25313 | Pierre | Foret | Permanent |
| OA3 | Afthis Oulili | Ait Ouabane | 1065 | 36.47754 | 4.26213 | Block | Foret | Permanent |
| OA4 | Alma n- Zegamouz | Ait Ouabane | 1182 | 36,47784 | 4,31307 | Pierre | Foret | Permanent |
| OA5 | Imghoul | Ait Ouabane | 1152 | 36,4775 | 4,31081 | Pierre | Foret | Permanent |
| OA6 | Assif hammam | Ait Ouabane | 764 | 36,49209 | 4,28359 | Pierre | Station électrique | Permanent |



Figure17. Photo des sites de sous-bassin Oued Aissi. (photo original)

III.2.2.2. Versant Sud de Djurdjura

III.2.2.2.1. Sous-bassin Sahel Aval

Intégré au bassin hydrographique de l'Oued Soummam, le sous-bassin du Sahel Aval draine les eaux du versant Sud-Est de Djurdjura. Ce secteur se distingue par un régime pluviométrique modéré et des conditions hydrologiques saisonnières contrastées. Son réseau hydrographique, composé de cours d'eau intermittents et permanents convergeant vers Oued Sahel, il est fortement influencé par la géologie locale, l'altitude et un climat plus aride.

Dans ce contexte, trois stations d'étude ont été sélectionnées entre 800 et 1 500 m d'altitude. Toutes présentent une hydro-période permanente et correspondent à des formations forestières établies sur substrat en bloc pour les stations T1 et T2 et en pierre pour la station T3, reflétant les caractéristiques dominantes de ce versant (Tableau 7)

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau 7. Caractéristiques de stations d'échantillonnages de sous-bassin Sahel Aval

| Code | Nom de station | Secteur | Alt (m) | Latitude | Longitude | Substrat | Occupation du sol | Hydro période |
|------|-------------------|----------|---------|----------|-----------|----------|-------------------|---------------|
| T1 | Assif Aghbalou- 1 | Tirourda | 877 | 36.43547 | 4.34703 | Block | Foret | Permanent |
| T2 | Assif Aghbalou-2 | Tirourda | 1132 | 36.45217 | 4.34903 | Block | Forest | Permanent |
| T3 | AssifTirourda | Tirourda | 1524 | 36.45570 | 4.36102 | Pierre | Foret | Permanent |



Figure 18. Photo des sites du sous-bassin Sahel Aval (photo original)

III.2.2.2.2. Sous-bassin Sahel Amont

Situé dans la wilaya de Bouira, le sous-bassin du Sahel Amont se distingue nettement du Sahel-Aval par ses caractéristiques géomorphologiques marquées. Son relief accidenté, avec des pentes abruptes et des altitudes élevées culminant à 2 308 mètres au sommet de Lalla Khadîdja, génère un régime hydrologique particulier. Ces conditions favorisent des écoulements rapides et concentrés, accentuant localement les phénomènes d'érosion.

Les 12 stations d'étude sélectionnées dans ce secteur s'échelonnent entre 600 et 1 300 m d'altitude. La majorité d'entre elles (8 stations) présentent une hydro-période permanente, tandis que les stations TR1 à TR4 se caractérisent par un régime temporaire. L'occupation du sol y est partagée entre formations forestières et zones rurales, avec des substrats variés alternant entre blocs et pierres.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau 8. Caractéristiques des stations d'échantillonnage de sous bassin Sahel Amont.

| Code | Nom de station | Secteur | Alt (m) | Latitude | Longitude | Substrat | Occupation du sol | Hydroperiode |
|------|-------------------|-----------|---------|----------|-----------|----------|-------------------|--------------|
| TR1 | Ighzer Iouakouren | Tala Rana | 948 | 36.44365 | 4.2783 | Block | Rural | Temporaire |
| TR2 | Boumehcen - 1 | Tala Rana | 1078 | 36,44900 | 4,28202 | Pierre | Foret | Temporaire |
| TR3 | Boumehcen - 2 | Tala Rana | 1087 | 36,44922 | 4,280783 | Block | Foret | Temporaire |
| TR4 | O. Selloum- 1 | Tala Rana | 747 | 36.42547 | 4.31403 | Block | Foret | Temporaire |
| TR5 | O. Selloum- 2 | Tala Rana | 1083 | 36.44837 | 4.31367 | Block | Foret | Permanent |
| TR6 | O. Selloum- 3 | Tala Rana | 1100 | 36.44924 | 4.31401 | Block | Foret | Permanent |
| TR7 | Illiten | Tala Rana | 614 | 36,41223 | 4,19084 | Pierre | Rural | Permanent |
| TR8 | Source Noire | Tala Rana | 886 | 36.43810 | 4.19139 | Block | Foret | Permanent |
| TR9 | Ain Hammam-2 | Tala Rana | 932 | 36.44167 | 4.19587 | Pierree | Foret | Permanent |
| TR10 | Ain Hammam-1 | Tala Rana | 927 | 36.44100 | 4.19519 | Block | Foret | Temporaire |
| TR11 | Djamae Oulhceyen | Tala Rana | 946 | 36.44181 | 4.19675 | Pierre | Rural | Temporaire |
| TR12 | Tizi Nkouilel-1 | Tala Rana | 1304 | 36.46250 | 4.21655 | Pierre | Rural | Permanent |
| TR13 | Tizi Nkouilel-2 | Tala Rana | 1276 | 36.46430 | 4.21655 | Pierre | Rural | Permanent |
| TR14 | Tizi Nkouilel-3 | Tala Rana | 1234 | 36.46430 | 4.21145 | Pierre | Rural | Permanent |



Figure19. Photo des sites du sous-bassin Sahel Amont (Photo original)

III.2.2.2.3. Sous-bassin Ed-Dous

Le sous-bassin d'Ed-Dous occupe une position stratégique de transition entre plusieurs unités géomorphologiques majeures, drainé par un réseau hydrographique structuré autour d'Oued Ed-Dous, qui rejoint Oued Zaiane former Oued Sahel. La présence du barrage de Tilesdit, infrastructure hydraulique majeure, renforce l'importance régionale de ce système en assurant l'alimentation en eau potable et l'irrigation des plaines agricoles adjacentes.

06 stations d'étude ont été sélectionnées pour ce sous-bassin, couvrant un gradient altitudinal de 400 à 1 500 m. trois stations (B1, TK4, TK5) présentent une hydro période temporaire, avec des occupations de sols distinctes : zone rurale pour B1 et forêts pour TK4 et TK5, toutes sur substrat pierreux/blocaillieux. A l'inverse, les stations TK1 et TK3 montrent un régime permanent avec des formations forestières établies sur des substrat différencié- gravier, pour TK2 et TK3 et pierres pour TK1. Cette configuration reflète la variabilité géométrique et hydrologique du bassin ou l'altitude, le substrat et l'exposition influencent les dynamiques écologiques et hydriques.

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Tableau 9. Caractéristiques des stations d'échantillonnage de sous-bassin Ed-Dous.

| Code | Nom de station | Secteur/ Régions | Alt (m) | Latitude | Longitude | Substrat | Occupation du sol | Hydroperiode |
|------------|-------------------|---------------------|------------|----------|-----------|----------|----------------------|--------------|
| B1 | Barbar | Adjiba | 446 | 36.36412 | 4.11463 | Block | Rural | Temporaire |
| TK1 | Ighzer Guirwil | Tikjda | 1461 | 36.45774 | 4.10682 | Gravier | Foret | Permanent |
| TK2 | Assif Laaziv-1 | Tikjda | 1457 | 36.45706 | 4.10664 | Gravier | Foret | Permanent |
| TK3 | Tiserguin | Tikjda | 1367 | 36.45223 | 4.08886 | Pierre | Foret | Permanent |
| TK4 | Assif Laaziv-2 | Tikjda | 1468 | 36.45824 | 4.10817 | Pierre | Foret | Temporaire |
| TK5 | Laanaq | Tikjda | 1510 | 36,45844 | 4,1355 | Pierre | Foret | Temporaire |



Figure 20. Photo des sites du sous-bassin Ed-Dous (photo original)

III.2.3. Analyse environnementale

Cette étude repose sur une méthodologie intégrée combinant des mesures in-situ et des analyses morphométriques pour caractériser les conditions des milieux aquatiques échantillonnés. Les paramètres physico-chimiques (conductivité, Température, pH, ORP, TDS) ont été relevés de manière saisonnière à l'aide d'un analyseur multiparamétriques (Hanna-HI 9829), suivant un protocole standardisé. Parallèlement, des facteurs morphométriques et

Chapitre III : Matériels et Méthodes

paysagers (altitude, coordonnées géographiques, occupation des sols, nature du substrat) ont été enregistrés mensuelle afin de contextualiser les variations spatio-temporelles des habitats.

Cette approche multidimensionnelle permet de corréler des dynamiques biologiques des macro invertébrés avec les gradients environnementaux, tout en intégrant les pressions anthropiques et naturelles exercées sur les écosystèmes.

III.2.3.1. Paramètres physico-chimiques

III.2.3.1.1. Protocole de mesure in-situ

L'évaluation des conditions physico-chimiques a été réalisée à l'aide d'une sonde multiparamétrique Hanna-HI 9892, suivant un protocole rigoureux. Avant chaque campagne de mesure, la sonde a été systématiquement calibrée avec des solutions étalonnées selon les l'indication du fabricant. Pour garantir la représentativité des données, les mesures ont été effectuées :

- Au milieu du lit des cours d'eau sélectionnées
- Après rinçage minutieux de la sonde à l'eau distillée
- A une profondeur permettant une immersion complète du dispositif

Les paramètres enregistrer comprenaient :

- **Température de l'eau (°C)** : l'un des principaux facteurs abiotiques influençant la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Comme l'ont souligné Bonacina et al. (2023).
- **Potentiel Hydrique (pH)** : dans les écosystèmes lotiques, les fluctuations du pH est influencée par multiples facteurs, notamment la composition géologique du bassin versant, les apports atmosphériques (pluie acide), les processus biologiques (photosynthèses et respiration), ainsi que des rejets anthropiques comme effluents industriels et domestiques (Wetzel, 2001 ; Omarjee et al., 2021 ; Xie et al., 2024)
- **Conductivité (µS/cm)** : elle est généralement influencée par géologie du bassin versant ainsi que par les apports anthropique (effluents urbains, agricole, minières). Des valeurs élevées sont souvent associées à une diminution de la diversité des macroinvertébrés sensible (kefford et al., 1998 ; Wetzel, 2001)
- **Potentiel d'oxydo-réduction (ORP, mv)** : il reflète la capacité du milieu aquatique à favoriser des réactions d'oxydation ou réduction. L'ORP dépend

Chapitre III : Matériels et Méthodes

principalement de la teneur en oxygène dissous (DO), comme le montre une relation positive non linéaire entre DO et ORP dans la rivière Diyala (Al-Samawi et Al-Hussaini, 2016). Il est également fortement influencé par la charge en agents réducteurs comme la matière organique ce qui a fait un indicateur de l'état d'oxygénation et la qualité biogéochimique des cours d'eau (Silva et al., 2022).

- **Concentration en solides dissous totaux (TDS, mg/L) :** ce paramètre représente la qualité totale de substances minérales et organiques dissoutes dans l'eau, et constitue un paramètre clé de la qualité des écosystèmes aquatiques. Ils influencent directement des propriétés telles que la conductivité, la turbidité et indirectement l'état d'oxygénation du milieu (Muigai et al., 2010).

Chaque mesure a été réalisée après stabilisation des valeurs affichées, assurant ainsi la fiabilité des données. Les opérations ont systématiquement précédé l'échantillonnage des macroinvertébrés afin de préserver l'intégrité des conditions environnementales initiales. Cette méthodologie standardisée permet d'obtenir des données comparables entre les différents sites et périodes d'échantillonnage, tout en minimisant les biais expérimentaux.

III.2.3.2. Paramètres hydro-morphométriques

III. 2.3.2.1. Profondeur de lit

La mesure de profondeur de l'eau a été faite in situ à chaque station à l'aide d'un ruban métrique gradué en centimètre (cm), positionné verticalement jusqu'au fond du cours d'eau, au centre du lit fluvial il influe directement sur les conditions d'écoulement, l'oxygénation de l'eau et la répartition des habitats aquatiques. Il conditionne ainsi la diversité et la structuration des communautés biologiques, notamment des macroinvertébrés benthiques, sensibles aux variations hydrodynamiques (Brysiewicz et al., 2022).

III.2.3.2.2. Largeur de lit

La largeur du lit a été mesurée au niveau de chaque station en tendant un ruban métrique gradué en mètre (m) perpendiculairement à l'écoulement de l'eau, entre les deux berges. Ce paramètre reflète la configuration spatiale du cours d'eau et influence directement les conditions hydrodynamiques et la disponibilité des habitats aquatiques (Orth et Maghan, 1983).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.2.3.2.3. Vitesse du courant

La vitesse du courant, exprimée en mètres par seconde (m/s), correspond à la rapidité d'écoulement de l'eau dans un cours d'eau. Ce paramètre hydrodynamique fondamental régule divers processus écologiques, notamment le transport des sédiments, la dispersion, des nutriments, l'oxygénation de l'eau et la répartition des organismes aquatiques (Gordon et al., 2004).

Les calculs de vitesse du courant ont été déterminés in situ en utilisant la méthode du flotteur. Cette technique consiste à mesurer le temps (en secondes) nécessaire à un objet flottant pour parcourir une distance connue (en mètres) à une distance prédéterminée. Le temps de parcours a été mesuré avec précision à l'aide d'un chronomètre. La vitesse du courant a ensuite été calculée en appliquant la formule suivante :

$$\text{Vitesse du courant (m/s)} = \text{Distance (m)} / \text{Temps (s)}$$

III.2.3.2.4. Coordonnées géographiques

Les coordonnées géographiques de chaque station ont été relevées à l'aide d'un récepteur GPS au multi paramètres Hanna HI9829, en degrés de latitude, de longitude et en altitude. Ces données permettent de localiser précisément chaque site d'échantillonnage et de cartographier leur distribution spatiale.

Les coordonnées géographiques apportent des informations essentielles pour l'analyse écologiques, en facilitant l'interprétation des gradients environnementaux. Elles sont également indispensables pour garantir la reproductibilité des études et assurer un suivi spatio-temporel précis des sites échantillonnés (Bloom, Flower et DeChaine, 2018)

III.2.3.2.5. L'occupation du sol

L'occupation des sols a été caractérisée à chaque station afin d'évaluer l'influence des dynamiques naturelles et des activités humaines sur l'écosystème aquatique. Ce paramètre influence des ressources pour les communautés biologiques en modifiant les flux de sédiments, de nutriments et de polluants (Allan, 2004). Les observations ont porté sur différentes catégories d'occupation des sols : les zones agricoles, source potentielle de nutriments et de pesticides pouvant altérer la composition chimique des milieux aquatiques ; les zones rurales, ou les ruissellements d'eaux pluviales contribuent à la pollution diffuse ; et les forêts environnantes, qui

Chapitre III : Matériels et Méthodes

jouent un rôle stabilisateur en limitant l'érosion des berges et en apportant de la matière organique essentielle aux réseaux trophiques.

III.2.3.2.6. Substrat

La nature du substrat a été caractérisée à chaque station afin d'évaluer son rôle dans structuration des habitats aquatiques. Ce paramètre influence directement la dynamique hydro sédimentaire, la stabilité du lit et la diversité des microhabitats disponibles pour la communauté biologique. L'identification des substrats a été réalisée par observation direct et par toucher, en les regroupant en trois catégories principales : roches, galets et graviers, correspondant aux fractions dominantes rencontrées dans le lit des cours d'eau étudiées. La composition du substrat est généralement déterminée par les conditions hydrologiques et géomorphologiques, mais elle peut être modifiée par des perturbations anthropiques, avec des conséquences directes sur la biodiversité benthiques (Duan, Wang et Tianet, 2008).

III.2.4. Technique de prélèvements des macroinvertébrés

Afin d'atteindre les objectifs de cette étude et d'acquérir une meilleure connaissance de la faune benthique de réseaux hydrographiques du Djurdjura et de sa diversité, une attention particulière a été portée aux méthodes d'échantillonnage, d'identification et d'analyse des macrobenthos.

III.2.4.1. L'échantillonnage des macroinvertébrés

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthique a été réalisé entre février 2020 et juin 2021 sur 49 sites, dont 32 ont fait objet d'un suivi mensuel. Au total 605 prélèvements ont été effectués afin de couvrir une large variabilité spatio-temporelle des habitats aquatiques du Djurdjura.

III.2.4.1.2. Prélèvement benthique

La stratégie d'échantillonnage adoptée repose sur la méthode du " Quick sampling " décrit par Rosenberg et Resh (1993), qui permet de collecter efficacement une diversité d'organismes en un temps limité. Comme souligne Barbour (1999), cette approche présente l'avantage d'être facilement adaptable aux conditions hydrologiques et topographiques variables des cours d'eau, un atout particulièrement pertinent pour les stations de montagne sélectionnées dans notre région d'étude, le Djurdjura.

Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une épuisette triangulaire (filet troubleau) d'un diamètre de 25 cm, munie d'un filet à mailles de 500 µm. L'échantillonnage s'est déroulé

Chapitre III : Matériels et Méthodes

en positionnant l'épuisette à contre-courant, de manière à ce que le flux d'eau facilite la capture des organismes déplacés, le substrat en amont de l'épuisette a été remué vigoureusement à l'aide du pied ou de la main, afin de déloger les macroinvertébrés cachés dans les interstices des graviers, pierres et d'autres matériaux présents sur le lit du cours d'eau. Cette agitation du substrat permet aux organismes benthiques de se détacher et d'être entraînés directement dans le filet par le courant. Les habitats spécifiques, tels que les troncs immergés, les mousses aquatiques et les amas de feuilles en décomposition, ont été secoués directement au-dessus de l'épuisette pour capturer les organismes qui y étaient fixés.

En période de basses eaux, lorsque la profondeur et le débit étaient réduits, des épuisettes rectangulaires plus petites ont été utilisées pour s'adapter aux conditions du milieu (Figure 21). Une pince souple a également été employée pour prélever délicatement certains spécimens vivants et fragiles, facilitant par la suite leur élevage et identification.

Après chaque prélèvement, le contenu du filet a été déversé dans un bac en plastique de couleur blanc clair afin d'éliminer les particules fines et faciliter la récupération des macroinvertébrés. Les échantillons ont ensuite été placés dans des flacons étiquetés et fixés dans une solution d'éthanol à 70 % pour assurer leur conservation en vue des analyses taxonomique et biomoléculaire ultérieures.



Figure 21. Echantillonnage et tri des macroinvertébrés benthiques sur terrain dans les cours d'eau du Djurdjura (photo original).

Chasse des adultes

Pour compléter les données issues de l'échantillonnage benthique, une collecte des adultes (imago) et sub-imago a été effectuée. Cette approche repose sur la capture des insectes

Chapitre III : Matériels et Méthodes

émergents à l'aide de filets entomologiques, principalement à proximité des berges ou en surface des cours d'eau, notamment durant les périodes de ponte et d'activité maximale.

Les spécimens collectés ont été placés dans des enveloppes entomologiques pour une conservation à sec ou selon les besoins, fixés dans des flacons étiquetés contenant de l'éthanol à 96 % afin de permettre leur identification taxonomique précise.

III.2.4.2. Tri et détermination en laboratoire

III.2.4.2.1. Identification des macroinvertébrés

Les macrobenthos collectés ont été triés et identifiés à l'aide d'une loupe binoculaire LEICA. L'identification taxonomique a été réalisée principalement au niveau familial à l'aide des clés de détermination de Tachet et al. (2000). L'identification spécifique des odonates a été réalisée par le Pr. Samraoui. Dans certains cas, les spécimens ont été comparés à des échantillons de référence issus de la collection du laboratoire (L.C.Z.H), déterminée par le Pr. Samraoui, afin d'affiner l'identification. L'identification initiale de tous les ordres a été réalisée sous la supervision du Pr. Samraoui et Dr Bouhala.

III.2.4.2.1.1. Identification de l'ordre des Ephéméroptères

La confirmation de l'identification des Ephéméroptères a été réalisée au laboratoire de zoologie du Muséum Natureum de Lausanne sous la supervision de Dr Gattolliat pour les taxons de Baetidae et Caenidae, Pr. Samraoui et Dr Vuatez (aspects moléculaires) pour les Heptageniidae et Pr Sartori pour la famille Leptophlebiidae en suivant plusieurs étapes méthodologiques :

➤ 1^{ère} étape : identification par observation morphologique

Les spécimens ont été examinés à l'aide d'un stéréo-microscope Leica M205C en se basant sur les clés taxonomiques de références (Eiseler, 2005 ; Gattolliat et al., 2023) afin d'assurer une identification précise. La collection du département de Zoologie du Muséum a été utilisée comme référence comparative pour affiner la détermination des espèces.

➤ 2^{ème} étape : identification par montage

Parfois l'identification de certains spécimens a nécessité une observation approfondie de leurs caractères morphologiques fins (pièces buccales, pilosité des pattes, branchiers, etc.), impliquant l'application de la technique de montage. Ce protocole repose sur une digestion contrôlée des tissus à l'hydroxyde de potassium (KOH) chauffée, suivie d'une neutralisation à l'acide acétique,

Chapitre III : Matériels et Méthodes

d'une déshydratation à l'alcool absolu et d'une inclusion dans de l'Euparal sur lame (Figure 22). Cette méthode, facilitant une analyse détaillée des structures morphologiques, a été mise en œuvre conformément au protocole du Musée de Zoologie de Lausanne (Benhadji, 2020).

➤ 3eme étape : identification moléculaire

Cette phase repose sur l'utilisation d'une approche d'analyse biomoléculaire, une étape comprenant plusieurs opérations successives visant à comparer les séquences d'ADN mitochondrial de spécimens sélectionnés. L'objectif principal était de confirmer l'identification des spécimens et de détecter d'éventuelles nouvelles espèces, notamment dans les cas où des doutes subsistaient. L'identification des spécimens et de détecter d'éventuelles nouvelles espèces, notamment dans les cas où des doutes subsistaient. L'identification moléculaire a été réalisée en ciblant le gène mitochondrial COI. Après extraction de l'ADN, une amplification par PCR et un séquençage Sanger ont été effectués, permettant d'obtenir les séquences nucléotidiques et de les comparer aux bases de données de référence. L'ensemble de ces analyses a été sous la supervision de laborantine Mlle Stoffel (Figure 23 ; Benhadji, 2020).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

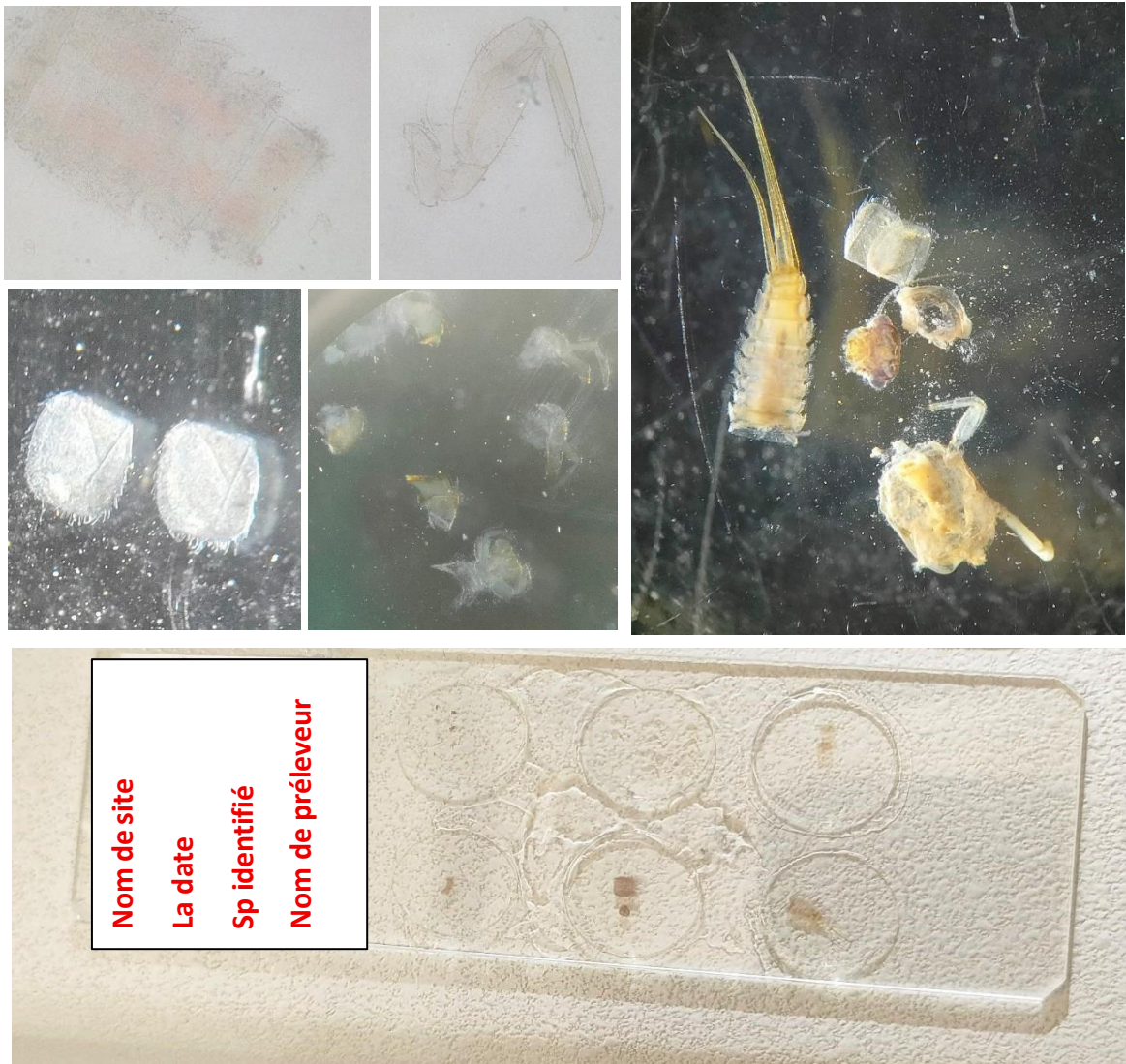


Figure 22. Echantillons de spécimens d'éphéméroptères (famille : Caenidae) préparés après montage pour identification (photo original).

Chapitre III : Matériels et Méthodes



Figure 23. Illustration des différentes étapes de l'analyse moléculaire d'éphéméroptère (photo original)

III.2.5. Analyse des indices écologiques

Dans cette étude, les indices écologiques ont été utilisés pour analyser la structure, la composition et la similitude des communautés de macroinvertébrés au sein des différents sites échantillonnés.

III.2.5.1. Abondance

L'abondance est un paramètre fondamental en écologie aquatique, puisqu'elle renseigne sur la taille et la densité des populations d'un taxon donné au sein d'une communauté. Elle correspond au nombre total d'individus recensés pour un taxon donnée et reflète son importance numérique dans l'échantillon (Magurran, 2013).

Chapitre III : Matériels et Méthodes

Dans le cadre de cette étude, le calcul de l'abondance repose sur le dénombrement direct des individus collectés dans les échantillons, au niveau de chaque site et pour chacune des familles étudiées.

II.2.5.2. Abondance Relative

Dans le cadre de cette étude, l'abondance relative correspond à la proportion d'individus appartenant à une famille donnée par rapport au nombre total d'individus recensés dans l'ordre. L'analyse de cet indice apporte des informations essentielles sur la structure des peuplements et leur équilibre écologique, en mettant en relation la présence dominante ou minoritaire de certains groupes

$$AR = ni/N \times 100$$

AR = abondance relative du taxon

ni = nombre d'individus du taxon

N = nombre total d'individus tous taxons confondus

III.2.5.3. Richesse taxonomique (S)

La richesse taxonomique (S) correspond au nombre total de taxons distincts (famille) recensé dans un site donné.

Constitue l'une des mesures les plus simples et les plus fondamentales de la biodiversité, puisqu'elle traduit directement le niveau de diversité présent dans un écosystème. Toutefois, cette mesure ne prend pas en compte l'abondance relative des taxons ni leur distribution au sein de la communauté, mais fournit une première approximation de la complexité écologique des peuplements (Magurran, 2013).

III.2.5.4. Distribution spatiale

Elle décrit la manière dont les taxons ou les individus se répartissent entre les différents sites d'échantillonnages. Elle permet d'identifier les variations locales de composition et de structure de communautés, souvent en lien avec des facteurs environnementaux.

Dans cette étude, l'analyse de la distribution spatiale a été réalisée à travers un tableau de distribution regroupant les familles recensées de chaque ordre dans chaque station.

III.2.5.5. Constance écologique

La constance écologique représente la fréquence de présence d'un taxon dans l'ensemble des stations étudiées. Elle est exprimée comme le pourcentage de station où le taxon apparaît par rapport au nombre total de stations échantillonnées (Dajoz, 2006).

Selon cette valeur, on distingue trois catégories :

- ✚ Taxons constants : présent dans plus de 50 % des stations ;
- ✚ Taxons accessoires : présent dans 25 à 50 % des stations ;
- ✚ Taxons accidentels : présent dans moins de 25 % des stations.

III.2.6. Analyse statistique

R représente un logiciel libre et un langage de programmation dédié aux analyses statistiques et à la visualisation des données. Il est largement utilisé en recherche scientifique grâce à ses nombreuses bibliothèques et packages spécialisés (R.Core Team, 2025). R Studio, désormais nommé Posit, est un environnement de développement intégré (IDE) conçu pour optimiser l'utilisation de R. Il propose une interface ergonomique regroupant un éditeur de script, une console interactive et divers outils de gestion des fichiers et des packages, optimisant ainsi l'analyse statistique et la modélisation des données (RStudio Team, 2025). L'association de R et RStudio permet d'effectuer des analyses avancées, d'automatiser les traitements et de produire des rapports reproductibles (Wickham et Grolemund, 2017).

III.2.6.1. Analyse descriptive

Afin d'analyser les caractéristiques physico-chimiques des sites échantillonnés, une analyse descriptive a été réalisée, une approche statistique fondamentale permettant de résumer et de visualiser les distributions de variable quantitatives.

Pour chaque paramètre physico-chimique des stations échantillonnées, nous avons calculé la moyenne et l'écart-type. Par ailleurs, des diagrammes en boîte à moustaches (boxplots) ont été utilisés pour visualiser la médiane, la dispersion interquartile et des valeurs extrêmes, facilitant la comparaison entre groupes ou conditions expérimentales (Tukey, 1977). Cette approche permet d'identifier visuellement les tendances générales en fonction de leur exposition de versant et de leur type d'occupation du sol à partir des valeurs calculées.

III.2.6.1. Analyse multivariée et inférentielle

En complément, des analyses multivariées et inférentielle ont été mobilisées afin d'explorer la structure des sites et les relations entre les communautés de macroinvertébrés recensé et les variables mesurées.

- **ANOVA**

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisé afin de comparer les moyennes de plusieurs groupes et de déterminer si des différences significatives existaient entre les stations en fonction des paramètres environnementaux. Par la suite, la normalité et l'homogénéité des variances des résidus ont été vérifiées respectivement à l'aide du test de Shapiro-Wilk et du test de Levene, afin de confirmer la validité de l'ANOVA en tant que test paramétrique.

- **Test Post hoc (Tukey)**

Par la suite, le test post hoc de Tukey a été appliqué afin de mettre en évidence les différences significatives entre les groupes et identifier précisément lesquels différaient ce qui a permis une interprétation plus fine des résultats.

- **L'analyse en composante principal (ACP)**

L'analyse en composantes Principales (ACP) est une méthode statistique descriptive multivariée, largement utilisée pour réduire la dimensionalité des données et identifier les principaux gradients environnementaux influençant la structure des communautés (Jackson, 1991). Elle consiste à transformer un ensemble de variable corrélées en un nouveau système de coordonnées, appelé composantes principales, qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales (Abdi et Williams, 2010). Ces composantes sont ordonnées de manière à ce que la première composante principale (CP1) explique la plus grande part de la variance totale suivi par la deuxième composante principale (CP2) et ainsi de suite. L'ACP permet ainsi de visualiser la distribution des échantillons et des variables dans un espace réduit, facilitant l'interprétation des relations complexes entre les communautés et les facteurs environnementaux (Jolliffe, 2002 ; Legendre et Legendre, 2012).

Dans le cadre de ce travail, un ACP a été réalisée sur les paramètres physico-chimiques mesurés dans les différentes stations, à l'aide du package FactoMineR sous R (Lê et al., 2008). Afin de mettre en évidence les gradients environnementaux majeurs structurant la variabilité observée.

- **L'analyse NMDS (Non-metric Multidimensional Scaling)**

Chapitre III : Matériels et Méthodes

C'est une technique d'ordination statistique utilisée pour visualiser les relations de similarité ou de dissimilarité entre des entités écologiques, telles que des communautés ou des sites, dans un espace de dimension réduite. Elle s'affranchit de l'hypothèse de linéarité des données (Legendre & Legendre, 2012). En utilisant des mesures de distance non métriques, telles que l'indice de Bray-Curtis, adapté aux données d'abondance d'espèce, la NMDS projette les entités dans un espace de faible dimensionnalité, généralement deux ou trois axes, de manière à ce que les distances entre les points reflètent au mieux les dissimilarités initiales (Borcard et al., 2018).

La qualité de l'ajustement de la NMDS est évaluée par le biais d'une mesure appelée « stress ». Un stress faible indique que la configuration spatiale obtenue reproduit les relations de dissimilarité d'origine, tandis qu'un stress élevé suggère une distorsion significative. L'interprétation des résultats de la NMDS repose sur l'examen de la disposition des points dans l'espace d'ordination, permettant d'identifier des groupements d'entités similaires et des gradients de variation (Legendre et Legendre, 2012).

Dans le cadre de ce travail, la NMDS a été réalisée à l'aide de la fonction *metaMDS()* du package *vegan* sous R (Oksanen et al., 2020), qui fournit des outils robustes pour l'analyse et la visualisation des communautés écologiques.

- **PERMANOVA**

L'analyse de la variance multivariée par permutation (PERMANOVA) est une méthode multivariée non paramétrique utilisée pour tester les différences entre groupes sur la base de matrices de distances. Elle permet d'évaluer si la composition des communautés ou les caractéristiques des sites diffèrent significativement selon des facteurs explicatifs, sans nécessiter l'hypothèse de normalité des données. Dans ce travail, la PERMANOVA a été réalisée à l'aide de la fonction *adonis()* du package *vegan* sous R (Oksanen et al., 2020).

- **Pairwise PERMANOVA**

C'est une extension de la PERMANOVA qui permet de réaliser des comparaisons par pair entre les groupes afin d'identifier précisément quelles paires de groupe présentent des différences significatives.

Dans ce travail, ces comparaisons post hoc ont été effectuées à l'aide de la fonction *pairwise.adonis()* du package *Pairwise Adonis* sous R (Martinez Arbizu, 2020).

Chapitre IV

Résultats et Discussion

IV.1. Paramètre environnemental

IV.1.1. Caractéristique Physico-chimique

Les écosystèmes aquatiques étudiés se caractérisent par plusieurs paramètres Physico-chimiques, dont les valeurs mesurées in situ lors des campagnes d'échantillonnage sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 10). Ce tableau récapitule les statistiques descriptives (moyenne \pm écart-type) de la conductivité électrique, la température, le pH, le potentiel d'oxydoréduction (ORP) et les solides dissous totaux (TDS). L'analyse des données met en lumière une variabilité significative entre les stations, ces différenciations traduisent des conditions environnementales contrastées au sein du réseau hydrographique de Djurdjura.

IV.1.1.1. La Conductivité électrique

La conductivité électrique présente une variabilité inter-station importante. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées aux stations B1 ($620,0 \pm 145,5 \mu\text{S/cm}$) et TG3 ($550,0 \pm 41,6 \mu\text{S/cm}$), tandis que les plus faibles ont été relevées aux stations OA1 ($210,0 \pm 34,9 \mu\text{S/cm}$) et OAx ($250,0 \pm 41,2 \mu\text{S/cm}$).

IV.1.1.2 La température de l'eau

Une forte variabilité thermique a été mise en évidence au sein des stations analysées, avec des températures comprises entre $6,8 \pm 0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ à la station T2 jusqu'à $23,2 \pm 7,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ à A4. De nombreux sites présentent des écarts-types élevés, ce qui reflète des fluctuations thermiques marquées, dans la majorité des cas influencées par l'exposition solaire, la profondeur ou les apports hydriques observés sur terrain.

IV.1.1.3. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est resté relativement stable dans l'ensemble des stations sans dérives acides ou basiques majeures, avec des valeurs légèrement alcalines comprises entre $7,8 \pm 0,2$ et $8,6 \pm 0,1$.

IV.1.1.4. Potentiel d'oxydo-réduction (ORP)

Le potentiel d'oxydoréduction, varie largement entre les stations. Des valeurs faibles comme à A3 ($33,3 \pm 22,6 \text{ mV}$) traduisent un environnement potentiellement réducteur et faiblement oxygéné. À l'inverse, des valeurs plus élevées comme à TR10 ($235,1 \pm 60,5 \text{ mV}$) montrent des conditions oxydantes associées à une bonne oxygénation. Les stations TG3 ($128,4 \pm 44,1 \text{ mV}$) et A2 ($137,8 \pm 26,4 \text{ mV}$) représentent des conditions intermédiaires.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.1.15 Solide dissous totaux (TDS)

La valeur de TDS varie entre $107,0 \pm 18,2$ mg/L à OA1 et $277,5 \pm 58,8$ mg/L à TG3. Les stations du secteurs Tala Guilef (TG1, TG3) présentent les concentrations les plus élevées, avec une charge minérale plus importante.

Tableau 10. Analyse des paramètres physico-chimique des stations à échantillonnage régulier (N = 32)

| Code | Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) | T ($^{\circ}\text{C}$) | pH | ORP (mV) | TDS (mg/l) |
|-------|--------------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| B 1 | 620,0 \pm 145,5 | 15,0 \pm 1,1 | 8,2 \pm 0,1 | 183,6 \pm 20,5 | 242,5 \pm 5,2 |
| TK 1 | 330,0 \pm 23,3 | 16,4 \pm 7,1 | 8,3 \pm 0,1 | 173,1 \pm 34,9 | 168,0 \pm 8,0 |
| TK 2 | 340,0 \pm 20,8 | 17,7 \pm 6,3 | 8,4 \pm 0,1 | 193,4 \pm 14,4 | 169,7 \pm 20,1 |
| TK 3 | 440,0 \pm 58,1 | 12,0 \pm 4,3 | 8,4 \pm 0,4 | 174,0 \pm 9,8 | 217,5 \pm 26,8 |
| TK 4 | 360,0 \pm 31,1 | 11,2 \pm 5,7 | 8,5 \pm 0,1 | 194,7 \pm 29,7 | 177,5 \pm 12,0 |
| TR 1 | 320,0 \pm 84,7 | 10,4 \pm 2,2 | 8,2 \pm 0,1 | 227,0 \pm 31,2 | 155,0 \pm 19,3 |
| TR 4 | 370,0 \pm 89,4 | 12,6 \pm 5,4 | 8,3 \pm 0,1 | 210,2 \pm 42,2 | 181,0 \pm 47,1 |
| TR 5 | 488,0 \pm 177,9 | 14,6 \pm 5,4 | 8,0 \pm 0,3 | 174,7 \pm 43,3 | 244,0 \pm 88,9 |
| TR 6 | 500,0 \pm 239,8 | 14,9 \pm 5,4 | 8,2 \pm 0,1 | 187,6 \pm 16,6 | 248,8 \pm 119,5 |
| TR 8 | 420,0 \pm 141,3 | 11,6 \pm 3,7 | 8,3 \pm 0,1 | 202,8 \pm 39,6 | 211,5 \pm 67,7 |
| TR 9 | 420,0 \pm 138,8 | 12,1 \pm 4,3 | 8,3 \pm 0,1 | 203,4 \pm 55,1 | 210,5 \pm 69,8 |
| TR 10 | 280,0 \pm 38,3 | 7,9 \pm 1,2 | 8,4 \pm 0,1 | 235,1 \pm 60,5 | 142,0 \pm 17,0 |
| TR 11 | 280,0 \pm 43,5 | 7,9 \pm 1,0 | 8,4 \pm 0,1 | 232,4 \pm 52,5 | 142,0 \pm 15,6 |
| TR 12 | 360,0 \pm 30,2 | 10,9 \pm 1,7 | 8,3 \pm 0,2 | 161,2 \pm 20,0 | 178,0 \pm 16,5 |
| TR 13 | 280,0 \pm 70 ,1 | 11,4 \pm 1,5 | 8,3 \pm 0,1 | 181,2 \pm 45,3 | 139,7 \pm 34,8 |
| TR 14 | 280,0 \pm 68,0 | 11,5 \pm 1,9 | 8,3 \pm 0,1 | 179,2 \pm 48,3 | 143,7 \pm 30,6 |
| T 1 | 315,0 \pm 41,7 | 8,7 \pm 0,8 | 8,4 \pm 0,1 | 215,8 \pm 42,3 | 158,0 \pm 29,7 |
| T 2 | 269,0 \pm 46,0 | 6,8 \pm 0,4 | 8,2 \pm 0,1 | 206,3 \pm 28,1 | 134,0 \pm 30,8 |
| T 3 | 265,0 \pm 33,3 | 6,9 \pm 0,3 | 8,0 \pm 0,1 | 155,7 \pm 56,4 | 132,0 \pm 43,8 |
| OA x | 250,0 \pm 41,2 | 11,3 \pm 3,5 | 8,4 \pm 0,2 | 207,0 \pm 31,8 | 127,3 \pm 22,5 |
| OA 1 | 210,0 \pm 34,9 | 10,4 \pm 2,9 | 8,3 \pm 0,2 | 157,4 \pm 108,2 | 107,0 \pm 18,2 |
| OA 2 | 310,0 \pm 63,6 | 12,2 \pm 4,3 | 8,4 \pm 0,2 | 181,3 \pm 42,8 | 157,3 \pm 28,5 |
| OA 3 | 340,0 \pm 50,1 | 13,7 \pm 4,7 | 8,3 \pm 0,1 | 188,4 \pm 44,6 | 202,0 \pm 69,5 |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | | | | | |
|-------------|-------------|----------|---------|------------|------------|
| TG 1 | 450,0±59,5 | 14,2±4,3 | 8,1±0,1 | 160,9±22,3 | 277,5±43,0 |
| TG 3 | 550,0±41,6 | 13,6±4,5 | 7,8±0,3 | 128,4±44,1 | 277,5±58,8 |
| TG 4 | 440,0±83,0 | 14,9±4,5 | 8,3±0,2 | 149,5±37,3 | 221,5±25,7 |
| A 1 | 240,0±54,0 | 12,2±2,9 | 8,5±0,1 | 172,6±35,9 | 120,0±34,1 |
| A 2 | 416,0±61,7 | 16,6±6,5 | 8,4±0,1 | 137,8±26,4 | 207,0±38,0 |
| A 3 | 394,0±102,8 | 16,6±3,7 | 8,6±0,1 | 33,3±22,6 | 197,0±42,2 |
| A 4 | 279,0±50,5 | 23,2±7,3 | 8,3±0,1 | 141,8±26,6 | 140,0±20,6 |
| A 5 | 385,0±68,1 | 19,2±7,4 | 8,2±0,2 | 148,0±32,2 | 193,0±49,8 |
| A 6 | 433,0±115,0 | 17,9±5,8 | 8,4±0,1 | 142,0±14,4 | 217,0±31,0 |

IV.12 Caractéristique hydro morphométrique

L'évaluation des paramètres Hydro morphométrique tels que l'altitude, la largeur et la profondeur du lit, la vitesse du courant, la nature de substrat, l'occupation du sol et l'exposition. Souligne une hétérogénéité importante entre les cours d'eau investiguées (Tableau 11)

IV.12.1. Altitude

Les altitudes des stations étudiées couvrent un large gradient, depuis 249 m au niveau de la station A6 jusqu'à 1574 m au niveau de site TG2. La majorité des stations se situent entre 900 m et 1500 m, correspondant à des zones de moyenne à haute altitude.

IV.12.2 Largeur, profondeur et vitesse du lit

Les caractéristiques morpho-hydraulique des stations révèlent une grande variabilité. La largeur du lit varie de petits torrents de montagne (0,4 m la station TK1) à des rivières plus larges (jusqu'à 12 m à TG8). La profondeur présente une tendance similaire, avec des valeurs comprises entre 5,6 cm (OA1) et 35,5 cm (T2). La vitesse d'écoulement est globalement faible à modérée avec une moyenne avoisinant 0,3 m/s.

IV.12.3. Substrat

Le substrat benthique des stations présente une composition diversifiée, dominé par des éléments grossiers. Les stations situées à haute altitude (plus 1200 m) sont majoritairement caractérisées par des substrats de type galets et graviers.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.124 Occupation du sol

L'analyse de l'occupation du sol dans les zones riveraines adjacentes aux stations d'échantillonnage révèle une prédominance des formations forestières dans la majorité des sites étudiés au sein du massif du Djurdjura

Tableau 11. Caractéristique des paramètres hydro-morphométrique des stations échantillonnées dans le massif de Djurdjura

| Code | Altitude (m) | Largeur (m) | Profondeur (cm) | Vitesse (m/s) | Substrat | Occupation du sol | Exposition |
|--------------|-----------------|----------------|--------------------|------------------|----------|----------------------|------------|
| B1 | 446 | 4,2±1,5 | 24,9±12,3 | 0,3±0,3 | Roche | Rural | Sud |
| TK 1 | 1461 | 0,4±0,2 | 16,6±11,8 | 0,3±0,3 | Gravier | Foret | Sud |
| TK2 | 1457 | 1,3±1,1 | 12,8±6,2 | 0,3±0,4 | Gravier | Foret | Sud |
| TK 3 | 1367 | 1,8±0,5 | 21,8±11,8 | 0,2±0,1 | Galet | Foret | Sud |
| TK 4 | 1468 | 2,5±0,4 | 15,0±5,2 | 0,3±0,1 | Galet | Foret | Sud |
| TK5 | 1510 | 17±NA | 8,0±NA | 0,1±NA | Gravier | Foret | Sud |
| TR 1 | 948 | 4,8±2,5 | 25,8±9,6 | 0,3±0,1 | Roche | Rural | Sud |
| TR2 | 1078 | 3,5±NA | 20,1±NA | 0,2±NA | Roche | Foret | Sud |
| TR3 | 1087 | NA | NA | NA | Roche | Foret | Sud |
| TR 4 | 747 | 3,2±1,3 | 24,0±12,1 | 0,5±0,3 | Roche | Foret | Sud |
| TR 5 | 1083 | 2,5±1,8 | 19,7±10,8 | 0,4±0,3 | Roche | Foret | Sud |
| TR 6 | 1100 | 3,2±1,7 | 20,5±9,9 | 0,4±0,3 | Roche | Foret | Sud |
| TR 7 | 614 | 1,4±NA | 10,3±NA | 0,2±NA | Galet | Rural | Sud |
| TR 8 | 886 | 5,1±1,1 | 23,8±15,2 | 0,3±0,2 | Roche | Foret | Sud |
| TR 9 | 932 | 7,0±3,0 | 12,3±7,2 | 0,3±0,1 | Galet | Foret | Sud |
| TR10 | 927 | 5,4±1,4 | 31,2±9,2 | 0,5±0,1 | Roche | Foret | Sud |
| TR 11 | 946 | 6,8±1,1 | 19,0±6,3 | 0,4±0,1 | Roche | Foret | Sud |
| TR 12 | 1304 | 1,4±0,5 | 19,0±7,8 | 0,4±0,2 | Galet | Foret | Sud |
| TR 13 | 1276 | 2,3±0,7 | 26,0±7,9 | 0,6±0,2 | Roche | Foret | Sud |
| TR14 | 1234 | 2,5±1,1 | 20,0±7,8 | 0,5±0,2 | Roche | Foret | Sud |
| T 1 | 877 | 5,2±1,6 | 26,0±10,2 | 0,6±0,3 | Roche | Foret | Sud |
| T 2 | 1132 | 7,3±1,7 | 35,5±8,9 | 0,5±0,3 | Roche | Foret | Sud |
| T 3 | 1524 | 0,7±0,2 | 8,9±4,4 | 0,3±0,1 | Galet | Foret | Sud |
| OA x | 1299 | 2,1±0,9 | 10,5±7,0 | 0,3±0,1 | Galet | Foret | Nord |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | | | | | | | |
|--------------|------|---------|-----------|---------|---------|-------|------|
| OA 1 | 1340 | 2,3±1,0 | 5,6±4,3 | 0,3±0,2 | Galet | Foret | Nord |
| OA 2 | 1187 | 2,7±1,3 | 15,9±6,5 | 0,3±0,2 | Galet | Foret | Nord |
| OA 3 | 1065 | 4,7±4,1 | 18,2±12,8 | 0,3±0,2 | Roche | Foret | Nord |
| OA 4 | 1182 | 1,4±NA | 8,0±NA | 0,2±NA | Galet | Foret | Nord |
| OA 5 | 1152 | 3,5±NA | 11,0±NA | 0,2±NA | Gravier | Foret | Nord |
| OA 6 | 764 | 1,9±NA | 10,0±NA | 0,3±NA | Galet | Foret | Nord |
| TG 1 | 1312 | 1,9±1,0 | 13,7±10,1 | 0,3±0,3 | Galet | Foret | Nord |
| TG 2 | 1574 | 1,8±NA | 12,0 ±NA | 0,2±NA | Gravier | Foret | Nord |
| TG 3 | 1458 | 0,8±0,2 | 11,3±8,1 | 0,3±0,1 | Galet | Foret | Nord |
| TG 4 | 1413 | 1,4±0,4 | 11,8±9,0 | 0,2±0,1 | Galet | Foret | Nord |
| TG5 | 435 | 1,5±NA | 7,0±NA | 0,1±NA | Roche | Foret | Nord |
| TG 6 | 435 | 1,8±NA | 9,0±NA | 0,1±NA | Galet | Foret | Nord |
| TG 7 | 425 | 2,4±NA | 7,0±NA | 0,2±NA | Gravier | Foret | Nord |
| TG8 | 361 | 12±NA | 8,0±NA | 0,2±NA | Galet | Foret | Nord |
| TG9 | 1147 | 1,8±NA | 13,0±NA | 0,3±NA | Galet | Foret | Nord |
| TG 10 | 1013 | 2,1±NA | 18,0±NA | 0,3±NA | Galet | Foret | Nord |
| TG 11 | 947 | 3,5±NA | 14,7±NA | 0,5±NA | Gravier | Foret | Nord |
| TG13 | 1004 | 2,8±NA | 13,5±NA | 0,2±NA | Galet | Rural | Nord |
| A1 | 553 | 6,9±33 | 21,5±12,0 | 0,4±0,3 | Roche | Foret | Nord |
| A 2 | 463 | 5,5±1,9 | 27,0±14,5 | 1,0±0,6 | Roche | Foret | Nord |
| A 3 | 355 | 4,6±1,2 | 22,5±4,1 | 0,3±0,1 | Galet | Rural | Nord |
| A 4 | 316 | 3,8±0,8 | 9,0±2,6 | 0,3±0,1 | Galet | Rural | Nord |
| A 5 | 289 | 3,3±0,7 | 12,0±5,3 | 0,3±0,1 | Galet | Rural | Nord |
| A 6 | 249 | 6,0±0,5 | 17,5±8,5 | 0,2±0,1 | Galet | Rural | Nord |

IV.13. Influence de l'exposition géographique sur les caractéristiques environnementales des sites étudiés

L'évaluation des résultats montrent que l'exposition géographique influence sensiblement les conditions physico-chimique et hydromorphologique des stations (Figure 24).

En fonction des données recueillies, les stations exposées au Sud présentent des altitudes généralement plus élevées avec un médiane et quartiles supérieurs de leurs distributions au nord. Les résultats indiquent que la température de l'eau est plus élevée dans les stations exposées au Nord ce qui pourrait être lié à un ensoleillement plus direct. La vitesse du courant et la profondeur tendent à être plus élevées dans les stations exposées au Sud. Avec une distribution de la vitesse du courant est plus variable pour les stations orientées au Sud. La largeur du lit ne présente pas de différence notable entre les stations exposées au Nord et Sud légèrement influencé cette variable. Les indicateurs de la charge ionique (conductivité, TDS et salinité) sont similaires et généralement faible pour les stations exposées au Nord et au Sud. Le pH apparaît très similaire entre les stations exposées au Nord et au Sud, avec des médianes et des distributions se chevauchant largement plus élevées pour les stations exposées au Sud, avec une médiane et des quartiles supérieurs plus importants.

IV.14. Effet de l'occupation du sol sur les paramètres environnementaux

L'occupation du sol riverain des stations échantillonnées exerce une influence significative sur plusieurs paramètres environnementaux d'eau (Figure 25).

Les stations en milieu forestier se caractérisent par des altitudes plus élevées avec une médiane avoisinant 1200 m, ce qui reflète leur implantation en zone montagneuse. Ces stations présentent également une vitesse du courant plus élevée, typique des rivières d'amont. La largeur du lit y est très variable, comme en témoigne un écart interquartile étendu. Tandis que le potentiel redox (ORP) y est plus élevé.

Les zones agricoles montrent des valeurs médianes significativement plus élevées pour plusieurs paramètres, notamment la température, la salinité, ainsi qu'une conductivité légèrement élevée. La température y est plus importante, avec un écart interquartile réduit liée à l'absence de couvert végétal dense ou à un ensoleillement plus direct. Enfin, les stations rurales avec localisation ont faible altitude présenté une médiane du pH plus élevée, suggérant une tendance à l'alcalinisation du milieu. Ces stations affichent aussi une augmentation des valeurs de pression atmosphérique et de profondeur de l'eau

Chapitre IV : Résultats et Discussion

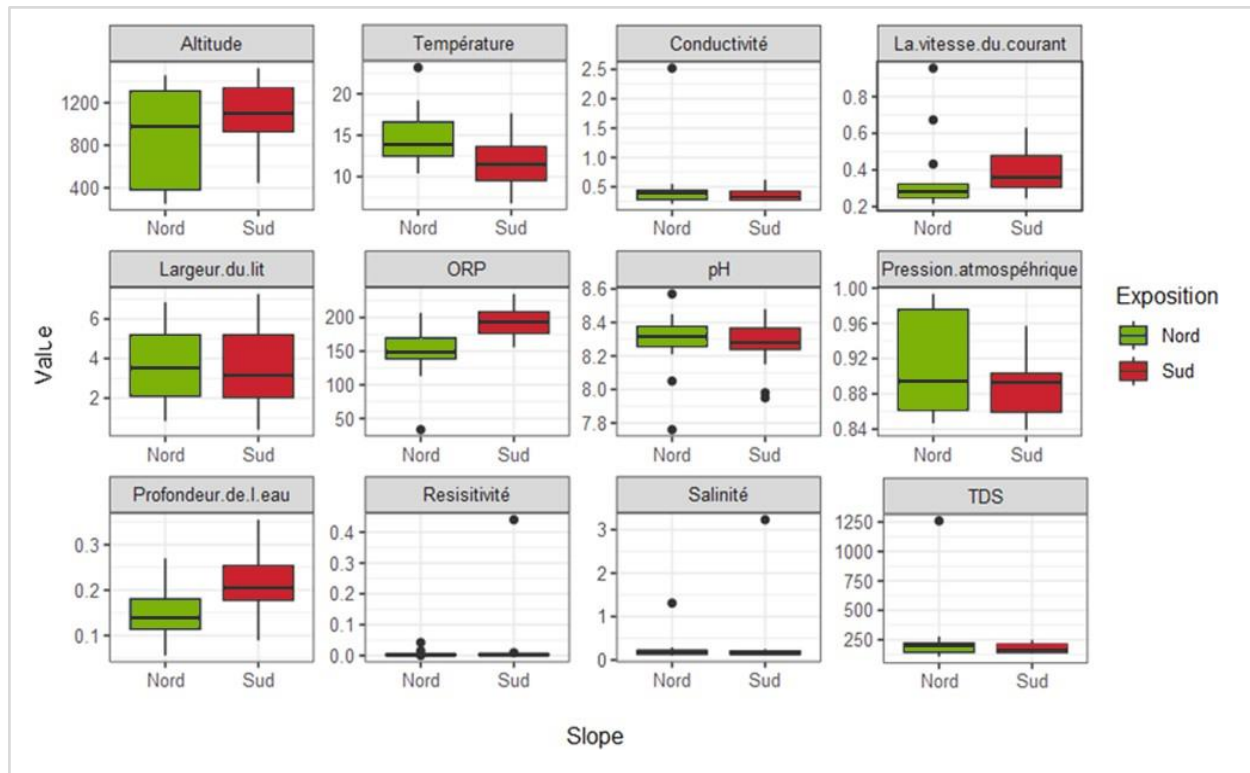


Figure 24. Distribution des paramètres physico-chimique et hydro-morphologique selon l'exposition géographique des stations de versant Nord et Sud

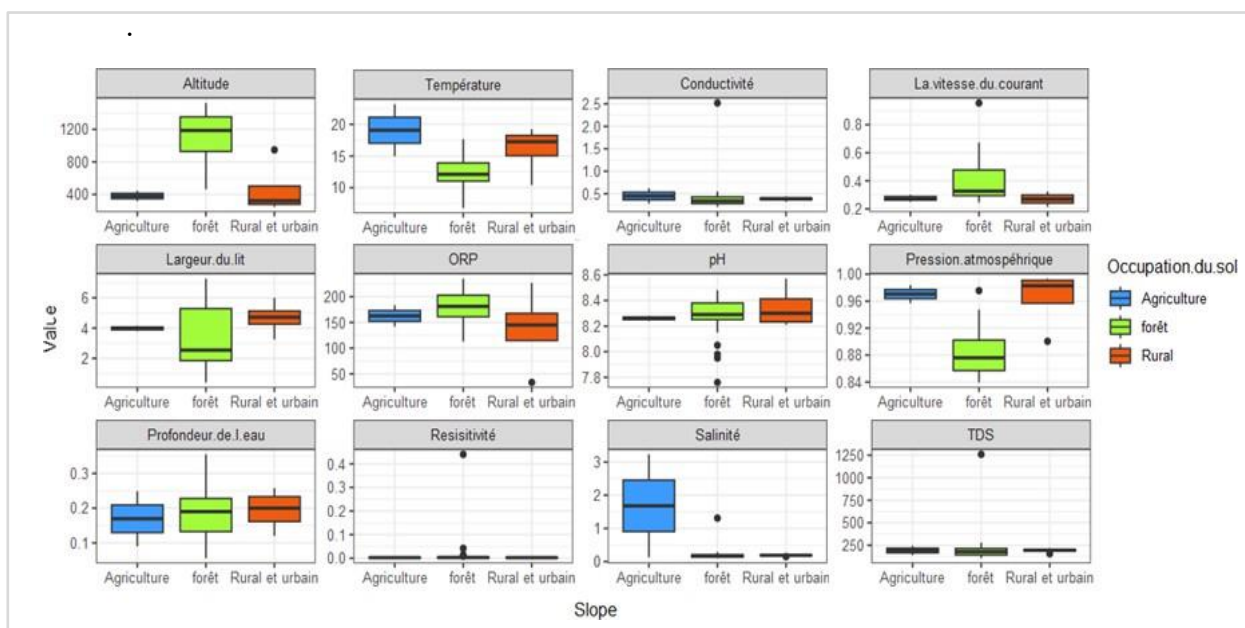


Figure 25. Distributions des paramètres environnementaux mesurés dans les stations échantillonnées en fonction de l'occupation du sol riverain.

Parmi l'ensemble des paramètres environnementaux analysés, seule la température, la salinité, la pression atmosphérique et l'altitude présente des différences significatives entre les groupes considéré avec $p < 0,05$ (Tableau 12), ces résultats soulignent que l'occupation du sol

Chapitre IV : Résultats et Discussion

influence principalement ces quatre variables tandis que les autres paramètres mesurés ne montrent pas de variation notable.

Tableau 12. Effet de l'occupation du sol sur les paramètres environnementaux (ANOVA)

| | Df | F value | P value |
|------------------------|----|---------|-----------------------|
| Température | 2 | 6.751 | 0,003 |
| Salinité | 2 | 9,974 | 0,0004 |
| Pression atmosphérique | 2 | 15,2 | 2,76 e ⁻⁰⁵ |
| Altitude | 2 | 14,85 | 3.29 e ⁻⁰⁵ |

Le test post hoc de Tukey a permis de préciser les différences significatives mises en évidence par l'ANOVA entre les types d'occupation du sol.

Pour la température, une différence significative a été observée entre les stations forestières et agricole ($p=0,01$), tandis qu'aucune tendance distinction nette n'a été relevée entre les autres milieux, bien qu'une tendance à la différenciation soit suggérée entre rural et forêt ($p = 0,065$). Concernant la salinité, des différences marquées apparaissent entre les stations forestières et agricoles ($p = 0,0003$) ainsi qu'entre rural et agricole ($p = 0,0017$), alors qu'aucune variation significative n'a été détectée entre rural et forêt. Pour la pression atmosphérique, les contrastes significatifs concernent les comparaisons forêt – agriculture ($p=0,003$) et rural-forêt ($p=0,0002$) tandis que la comparaison rural-agriculture ne relève pas de différences notables. Enfin, pour l'altitude, les stations forestières se distinguent significativement à la fois des stations agricoles ($p=0,003$) et des stations rurales par ($p=0,0003$), alors qu'aucune différence n'est observée entre rural et agriculture.

IV.15. Analyse en Composante Principale des facteurs environnementaux selon l'exposition géographique des stations

L'analyse en composante principale (ACP) effectuée sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques met en évidence des relations significatives entre les variables environnementales et les stations d'échantillonnages. Les deux premiers axes factoriels expliquent ensemble 43,7 % de la variance totale des données (Dim1 = 25,2 % ; Dim2= 18,5 %), ce qui reflète une interprétation pertinente de la distribution des stations et des variables sur ce plan (Figure 26).

Le graphique montre une séparation nette entre les stations des régions Nord et Sud, traduisant des différences marquées dans les conditions environnementales selon l'exposition géographique. Cette structuration spatiale suggère une forte influence du contexte régional sur

Chapitre IV : Résultats et Discussion

les caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau. Le premier axe (Dim1) est principalement déterminé par un gradient de température, de conductivité électrique, de solide dissous totaux (TDS), de pression atmosphérique, ainsi que par la largeur et la vitesse du courant. Ces variables sont fortement corrélées positivement avec les stations du Nord, indiquant des milieux plus chauds, plus minéralisés et à écoulement plus dynamique.

A l'opposé, plusieurs stations du Sud notamment TK3, TK4 et TR13, sont caractérisées par des valeurs plus élevées de potentiel d'oxydo-réduction (ORP), reflétant des conditions hydriques plus fraîches ou moins minéralisées. Le second axe (DIM2) met en évidence un autre gradient, structuré par la profondeur de l'eau, le Ph et l'altitude. Certaines stations telles que T1 et B1 y sont particulièrement associées.

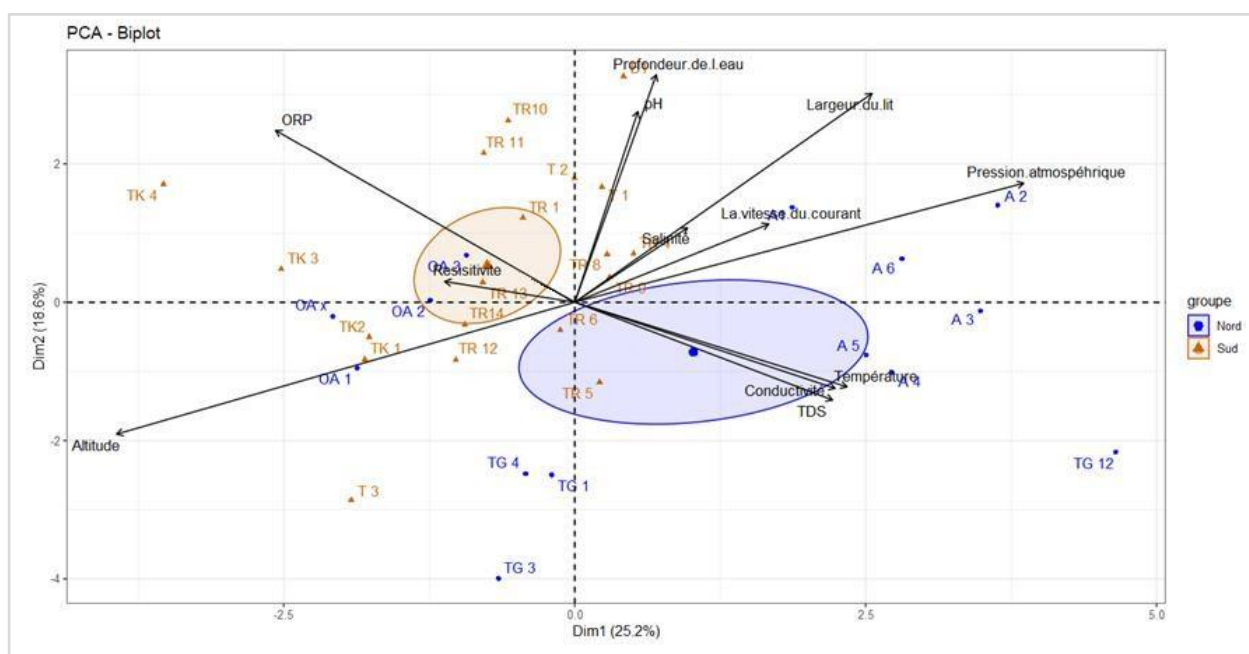


Figure 26. Analyse des Composantes Principales des paramètres étudiés des stations d'échantillonnages en fonction d'exposition.

IV.16 Analyse en Composantes principales des Facteurs Environnementaux selon l'occupation du sol

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) appliquée aux variables environnementales mesurées dans différentes stations révèle une structuration claire des sites selon leurs caractéristiques physico-chimiques (Figure 27).

Les deux premiers axes factoriels expliquent ensemble 43,7 % de la variance totale qu'il s'agit de 25,2 % pour l'axe 1 (Dim1) et 18,5 % pour l'axe 2 (Dim2). Le premier axe (Dim1)

Chapitre IV : Résultats et Discussion

exprime un gradient d'augmentation de la température, de la conductivité électrique, des solides dissous totaux (TDS), de la largeur du lit et de la vitesse du courant, toutes fortement corrélées positivement. Ces variables caractérisent les stations situées en plaines et à plus basse altitude, souvent soumises à une influence anthropique marquée, notamment celles localisées dans les zones rurales et urbaines, comme les stations A3, A5 et A6.

A l'opposé, l'altitude et le potentiel d'oxydo-réduction (ORP) sont corrélés négativement avec cet axe. Ces paramètres définissent des conditions plus naturelles, associées à des stations situées en altitude et en occupation du sol forestière (ex : TK1, TK3, OA1) où les eaux sont plus fraîches, plus oxygénées et faiblement minéralisées. Ces sites apparaissent globalement moins impactés par les activités humaines. Le second axe (Dim2), qui explique 18,5 % de la variance, est principalement influencé positivement par la profondeur de l'eau et le pH. Bien que moins structurant, cet axe permet néanmoins de différencier certaines stations, telles que TR10 et OA2, en lien avec des caractéristiques locales particulières. D'autres variables comme la largeur du lit ou la vitesse du courant, y contribuent faiblement. L'ACP met en évidence une séparation distinguée entre les groupes d'usage du sol.

Les stations forestières se regroupent sur la partie gauche du graphique, correspondant aux conditions les plus naturelles et les moins perturbées. À l'inverse, les stations rurales se situent dans la partie droite du plan, traduisant une influence anthropique marquée. Les stations agricoles, quant à elles, occupent une position intermédiaire, suggérant des conditions physico-chimiques mixtes, à la fois naturelles et perturbées.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

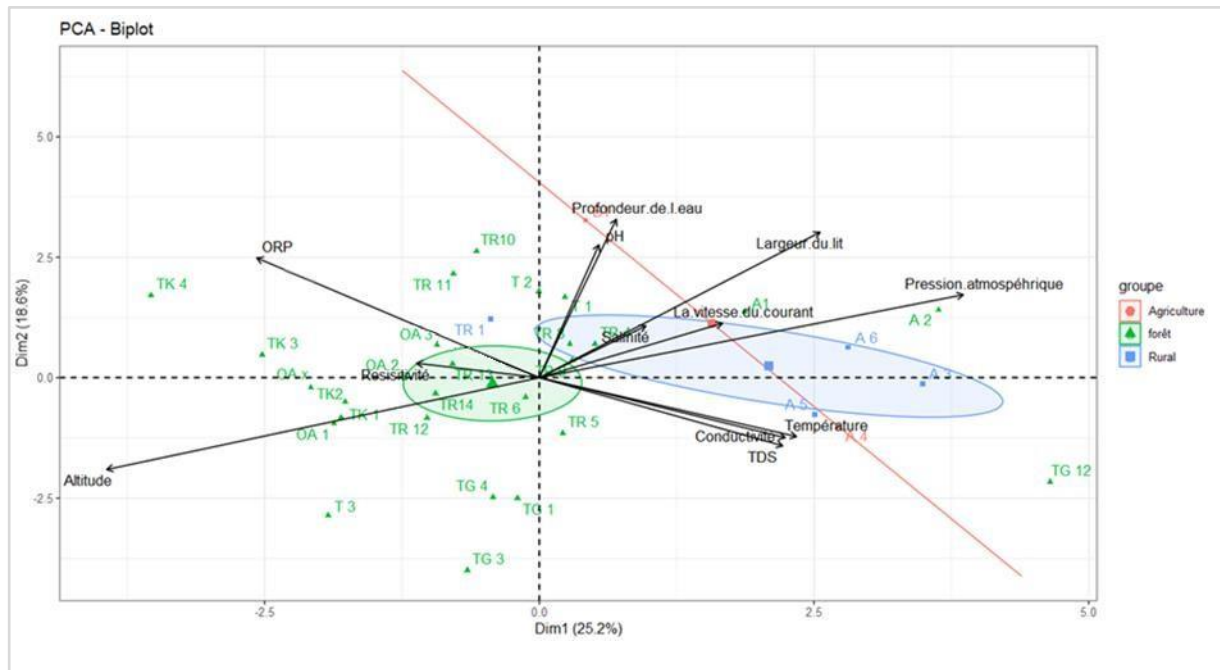


Figure 27. Analyse des Composantes Principales des paramètres étudiés des stations d'échantillonnage selon l'occupation du sol.

IV2. Analyse globale de la faune

Dans le cadre de cette étude portant sur la limnofaune du massif du Djurdjura, situé au centre-nord de l'Algérie, un effort particulier a été consacré à l'enrichissement des connaissances concernant la biodiversité aquatique de cette région montagneuse.

Bien que cet inventaire ne puisse être considéré comme entièrement exhaustif, il constitue néanmoins une base de données solide, susceptible d'être intégrée aux travaux antérieurs sur le macrobenthos du Djurdjura. Il pourra également servir de référence pour la caractérisation des futures recherches, contribuant ainsi à une meilleure compréhension des écosystèmes aquatiques à l'échelle nationale.

Au total, 50 075 individus ont été collectés répartis en deux phylum (Arthropode et Annélide) trois classes, neuf ordres et cinquante-huit familles.

Parmi l'ensemble des macroinvertébrés benthiques recensés la majorité appartient aux insectes avec 41 641 individus, suivi par les crustacés à 8 354 individus et les Clitellates 123 individus (Figure 28). L'ordre des Diptères se démarquent nettement par sa richesse en familles avec 14 familles identifiées. Suivi par les Coléoptères et les Trichoptères en 9 familles, tandis que les Hémiptères et les Odonates sont représentés par 7 familles. Les Plécoptères sont présents par 6 familles, et les Éphéméroptères en 4 familles (Tableaux 13).

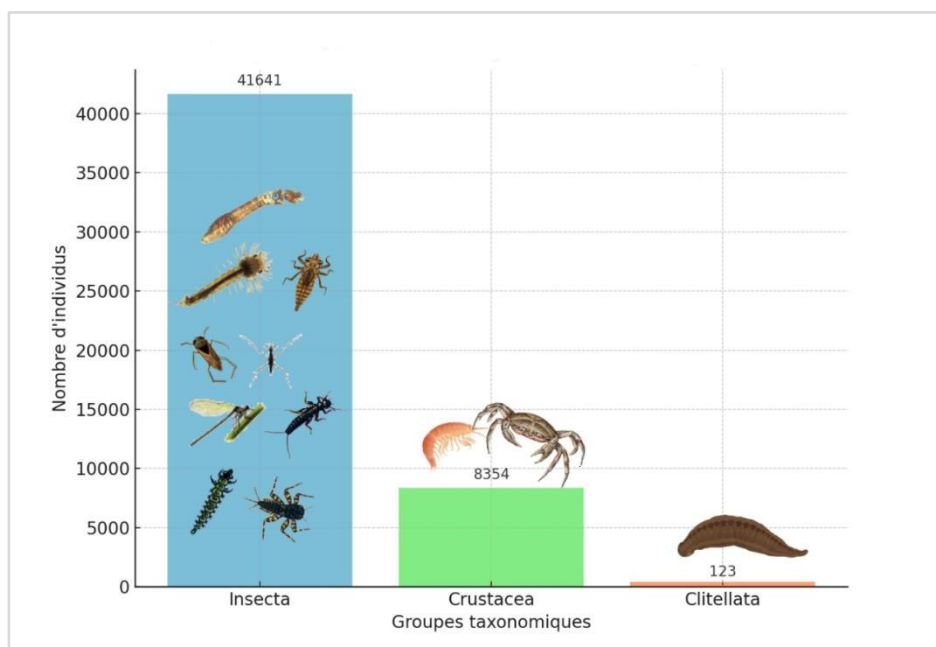


Figure 28. Abondance des principales classes de macroinvertébrés aquatiques échantillonnées.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Tableau 13. Inventaire taxonomique des macroinvertébrés benthiques du Djurdjura.

| Embranchement | Classe | Ordre | Famille |
|---------------|------------|---------------|-----------------|
| Annélide | Clitellate | / | / |
| Arthropode | Crustacé | Amphipode | / |
| | | Décapode | Potamonide |
| | Insectes | Coléoptère | Elmide |
| | | | Hydrophilide |
| | | | Dryopide |
| | | | Helophoride |
| | | | Gyrinide |
| | | | Noteride |
| | | | Hydroscahphide |
| | | | Curculionide |
| | | | Chrysomelide |
| | | | Dytiscide |
| | | Hémiptère | Veliide |
| | | | Corixide |
| | | | Hydrometride |
| | | | Nepide |
| | | | Mesolveiide |
| | | | Gerride |
| | | | Notonectide |
| | | Diptère | Tipulide |
| | | | Empidide |
| | | | Limoniide |
| | | | Simuliide |
| | | | Chironomide |
| | | | Ceratopogonide |
| | | | Thaumaleide |
| | | | Dixide |
| | | | Culicide |
| | | | Blephariceride |
| | | | Psychodide |
| | | | Ptychopteride |
| | | | Stratiomyide |
| | | | Anthomyide |
| | | Ephéméroptère | Baetide |
| | | | Heptageniide |
| | | | Caenide |
| | | | Leptophelbiide |
| | | Plécoptère | Perlode |
| | | | Perlode |
| | | | Taeniopterygide |
| | | | Nemouride |
| | | | Leuctride |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|-------------|------------------|
| Trichoptère | Capniide |
| | Rhyacophilide |
| | Hydropsychide |
| | Polycentropodide |
| | Philopotamide |
| | Glossosomatide |
| | Lepidostomatidae |
| | Psychomyiide |
| | Goeride |
| | Limnephilide |
| Odonate | Calopterygide |
| | Lestide |
| | Platycnemidide |
| | Coenagrionide |
| | Gomphide |
| | Aeshnide |
| | Libellulide |

IV21. Analyse des Crustacés

Les résultats révèlent une forte dominance des Amphipodes, qui constituent 96% des Crustacés identifiés, tandis que les Décapodes ne représentent que 4% de l'ensemble.

L'analyse de la distribution spatiale des Crustacés identifiés (Décapodes et Amphipodes) comme montre la Figure 29. Elle met en évidence une forte Hétérogénéité entre les stations échantillonnées avec une large répartition sur les 49 stations, 36 montrent une présence de ces deux groupes, avec une dominance marquée des Amphipodes dans plusieurs stations.

Les stations TG12, TK3, A1 et TK1 se démarquent nettement par leur forte abondance principalement aux amphipodes. La station Tinzert (TG12) qui présente la plus grande source de Djurdjura en particulier, enregistre le plus grand nombre d'Amphipode avec plus de 3100 individus, suivie de TK3 avec 1550 et TK1 554. Tandis qu'un autre groupe de stations OA2, OA3, OAx et TR13 montrent une présence exclusive des Décapodes

D'autres stations comme T1, TG1 et aussi TK1 et TK3 dont on a parlé présentent une coexistence des 2 groupes.

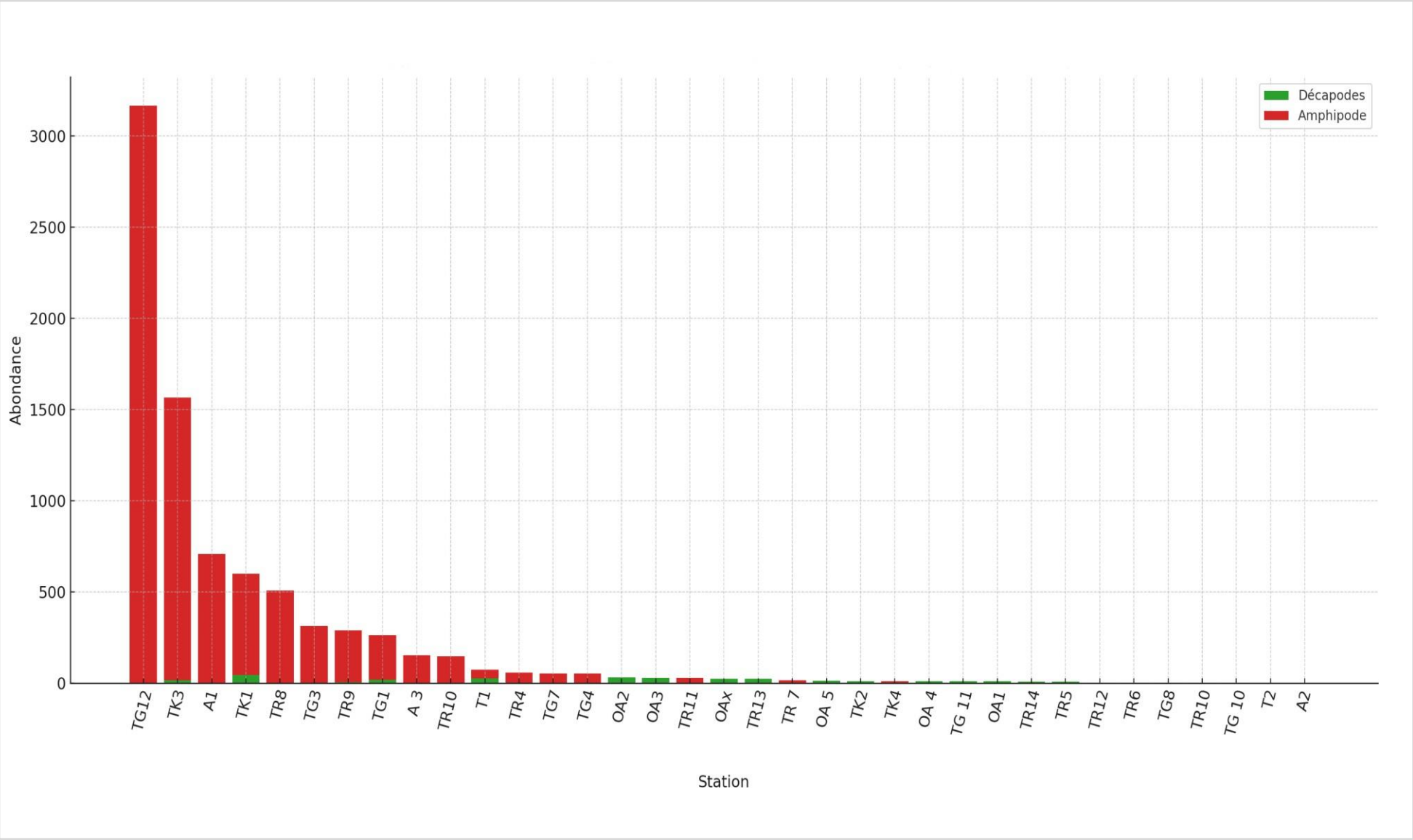


Figure 29. La distribution spatiale des Crustacés aquatique (O. Amphipode et O. Décapode) dans les stations étudiées au réseau hydrographique de Djurdjura.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV22 Analyse des insectes

La structure faunistique des insectes aquatique collectés montre une prédominance marquée par les Ephéméroptères, qui représentent 45,4 % de l'effectif total, soit 23183 individus. Les Plécoptères constituent le second groupe le plus abondant avec 21,7 % (11 091 individus), suivis des Diptères avec 14,1 % (7 183 individus). Les Trichoptères, indicateurs classiques de bonne qualité des eaux, représentent 9,8 % de l'ensemble (5 020 individus). Les Hémiptères et les Odonates présentent des abondances similaires, respectivement 3,4 % (1 723 individus) et 3,2 % (1 658 individus). Les Coléoptères constituent le groupe moins représenté, avec 2,3 % soit 1 164 individus (Figure 30).

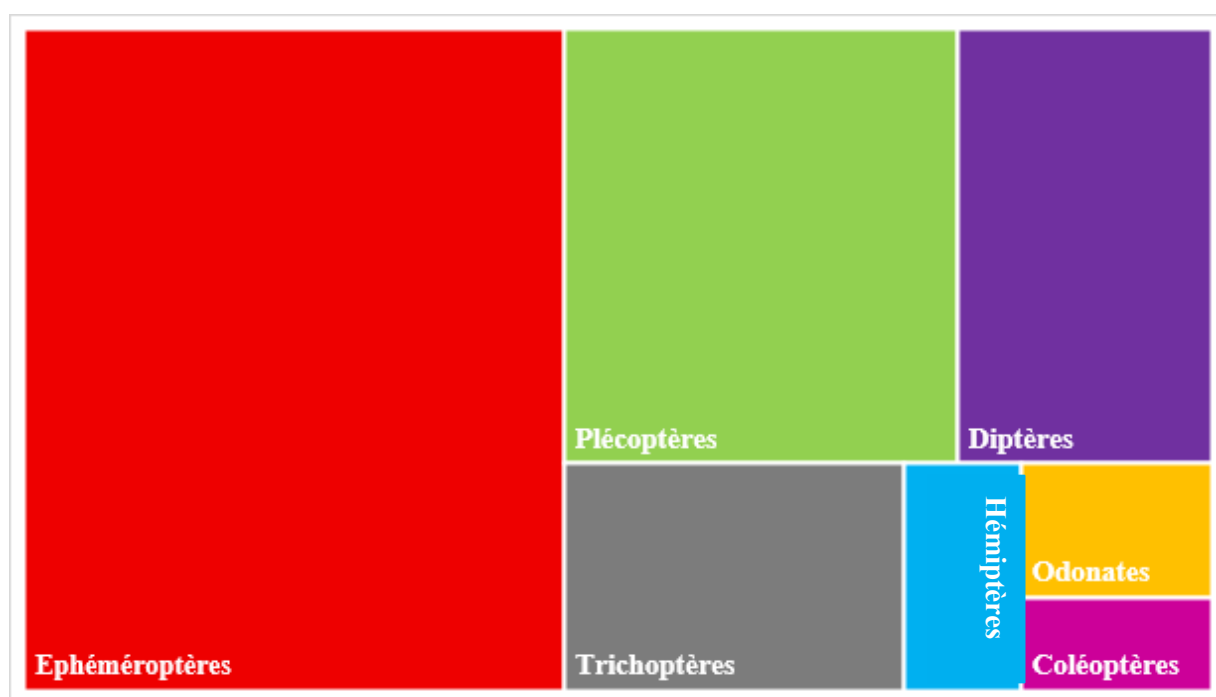
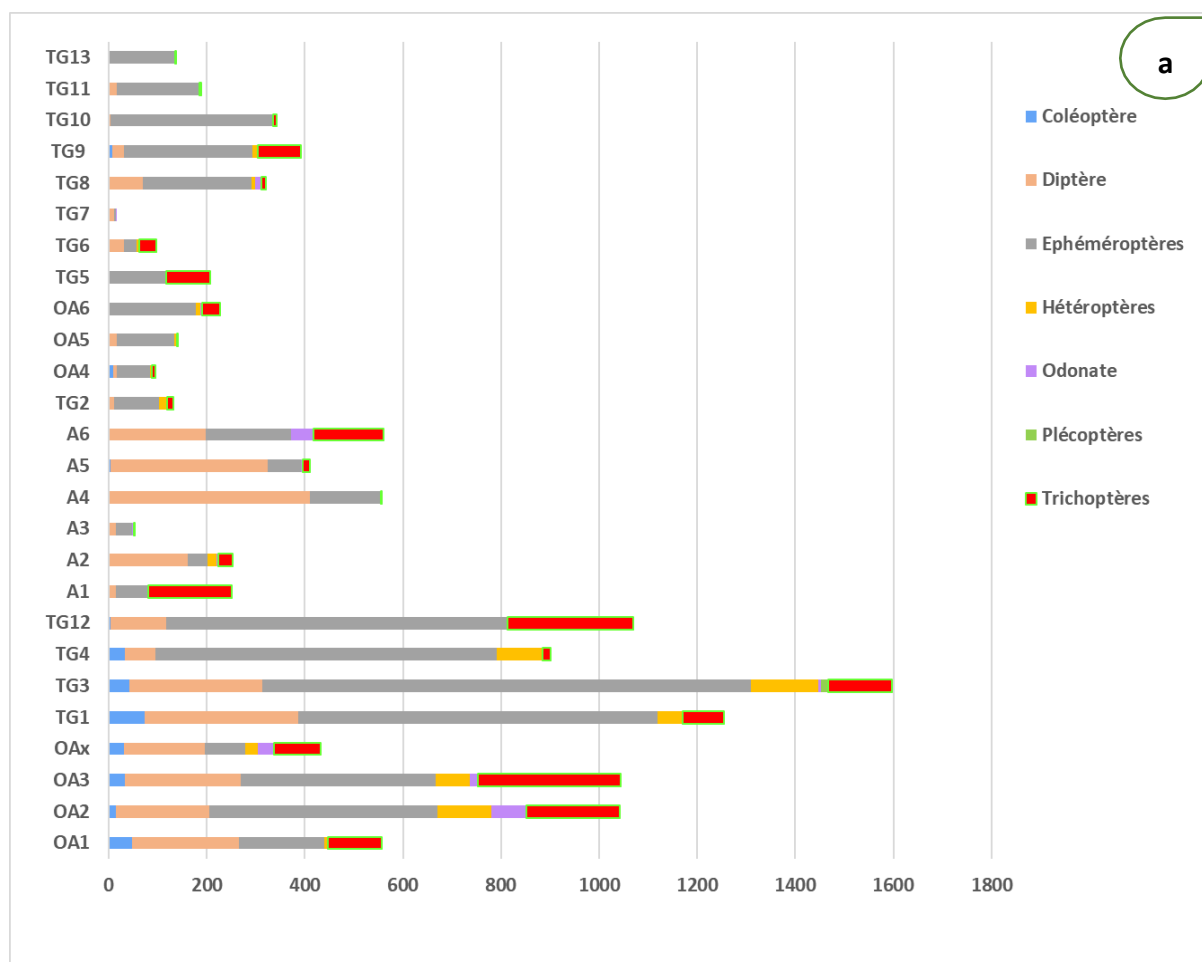


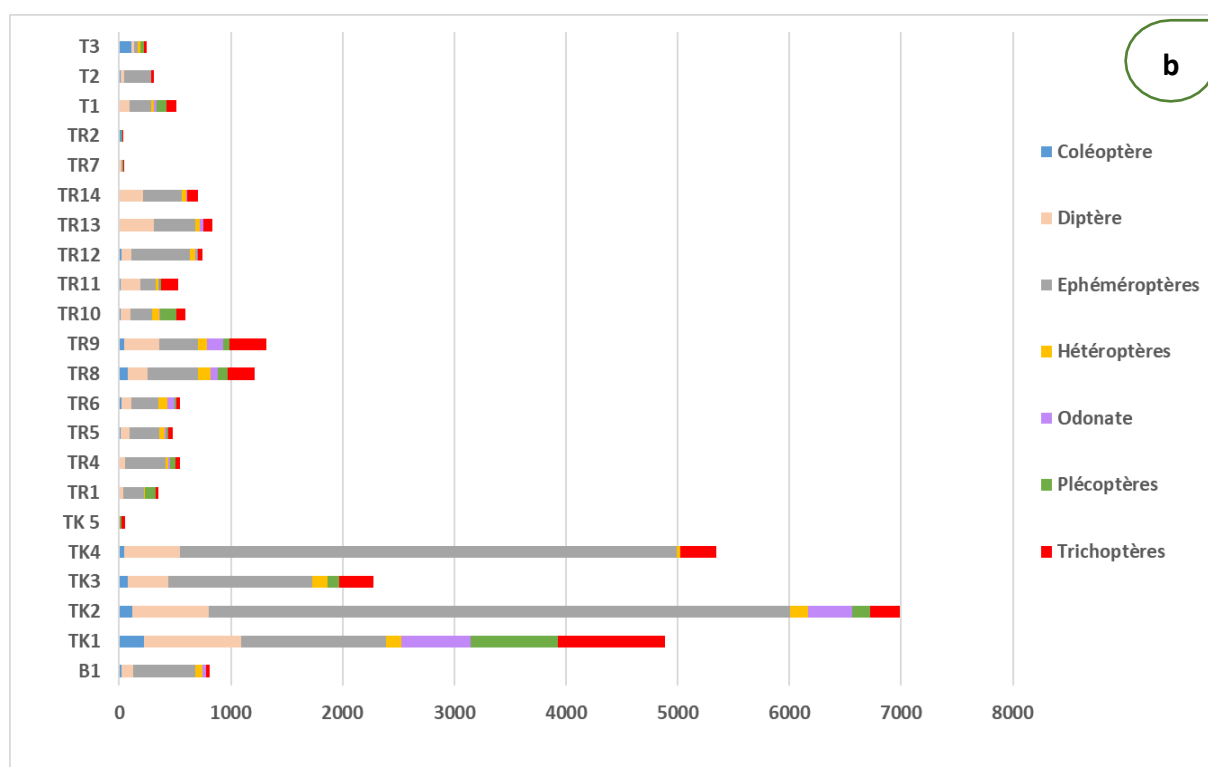
Figure 30. Abondance des ordres d'insectes aquatiques dans les sites échantillonnés au réseau hydrographique de Djurdjura.

L'analyse comparative de la structure des communautés d'insectes aquatiques entre les stations des versants Sud et Nord du massif du Djurdjura (Figure 31) révèle une hétérogénéité remarquable en termes d'abondance total qu'en composition taxonomique. La dominance des Ephéméroptères se manifeste sur les deux versants particulièrement sur versant Sud aux stations du sous-bassin versant Ed-Dous (stations TK1, TK2, TK3 et TK4) où se distingue par une abondance exceptionnelle, ces sites abritent également la quasi-totalité des ordres identifiés

Chapitre IV : Résultats et Discussion

surtout au station TK2 avec des effectifs arrive à 7000 individus. Les Trichoptères, quant à eux, sont représentés de manière significative dans plusieurs stations du versant Nord et Sud. Concernant les Plécoptères, indicateurs de très hautes qualité d'eau, ils marquent une présence plus forte dans les stations les plus riches du versant sud. A l'inverse les Hémiptère et Diptères sont plus abondants dans certaines stations du versant Nord respectivement à A6, A5, A4, TG1 et TG3, TG4, OA3, OA2.





IV221. Structure faunistique et composition taxonomique des Ephéméroptères

L'étude de l'abondance des familles d'Ephéméroptères révèle une nette prédominance des Baetidae qui représente 65 % des individus collectée avec 15 084 sur un total de 23 183. Les Leptophlebiidae occupent la deuxième position avec environ 22 % du total. En revanche, les Heptageniidae et Caenidae affichent une représentation nettement plus faible présente respectivement 9 % et les 4 % (Figure 32).

L'analyse de la structure taxonomique des Éphéméroptère (Figure 33) indique un déséquilibre marqué par l'abondance des deux espèces *Baetis gr. alpinus* (9257) et *Baetis (Rhodobaetis) gr. rhodani* (3513). Les données mettent également une présence importante des genres *Habrophlebia* et *Ecdyonorus* dans les milieux lotiques du Djurdjura. En revanche, d'autres espèce telles que *Similicloeon simile*, *Acentrella sinaica* et *Procloeon stagnicola* étaient nettement moins abondantes.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

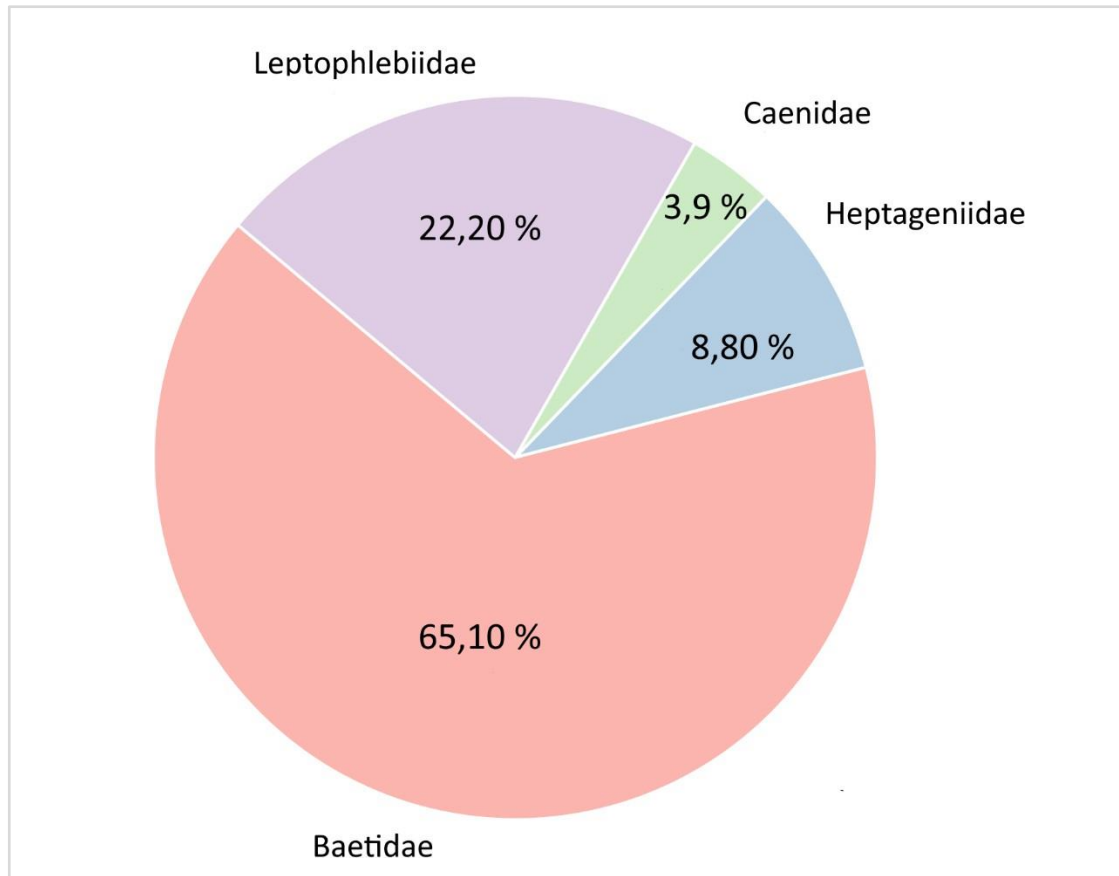


Figure 32. Répartition relative des familles d'Ephéméroptère dans l'ensemble des stations échantillonnées du réseau hydrographique de Djurdjura.

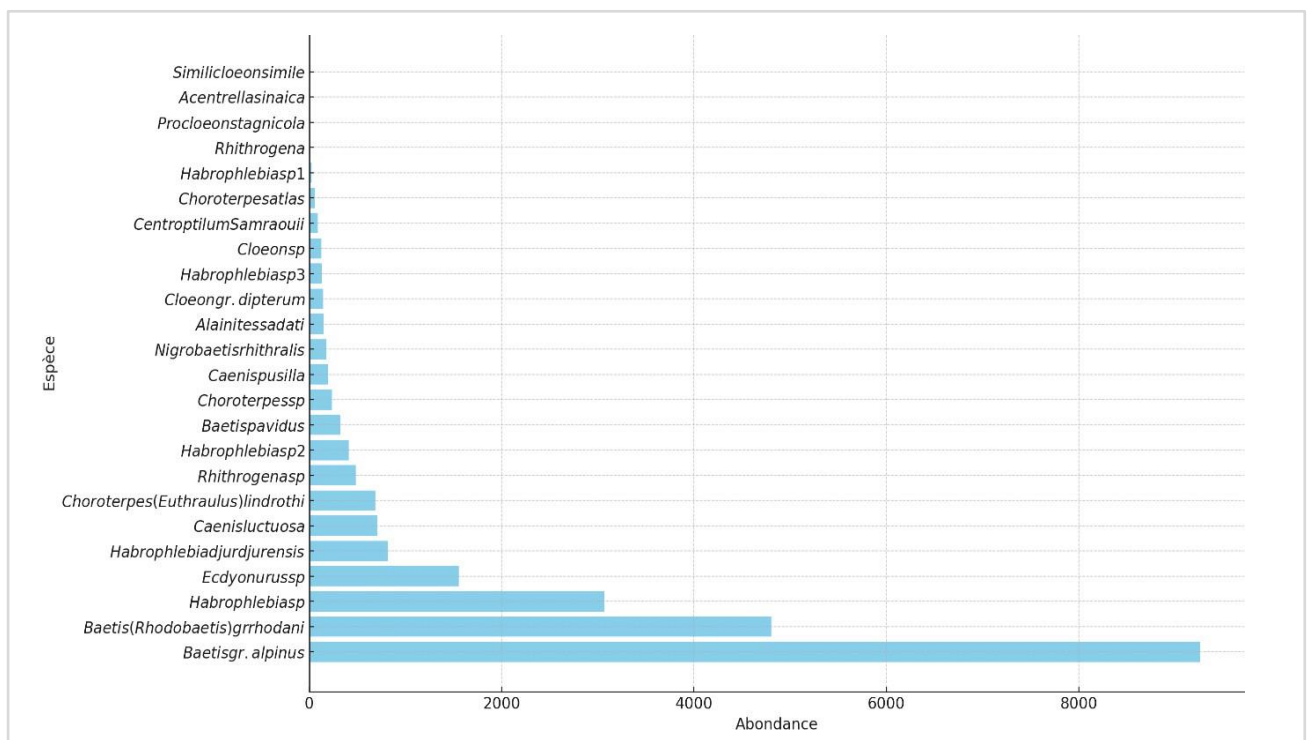


Figure 33. Répartition spécifique des d'Ephéméroptère collecté en fonction d'abondance.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

L'analyse de la richesse spécifique dans les stations échantillonnées montre une variabilité notable entre les sites, avec des valeurs allant 1 à 12 espèces. Les stations B1 et TK2, situées sur le versant Sud du Djurdjura, présentent la richesse la plus élevée, avec 12 espèces chacune, tandis que la station TG7 au versant Nord affiche la plus faible richesse.

Bien que les stations ont été classées selon un gradient altitudinal décroissant, nous avons constaté que ce facteur n'avez pas une influence évidente sur le nombre d'espèces observée dans chaque site. Certaines stations en Altitude montrent une richesse assez faible, tandis que d'autre située plus bas sont bien riche.

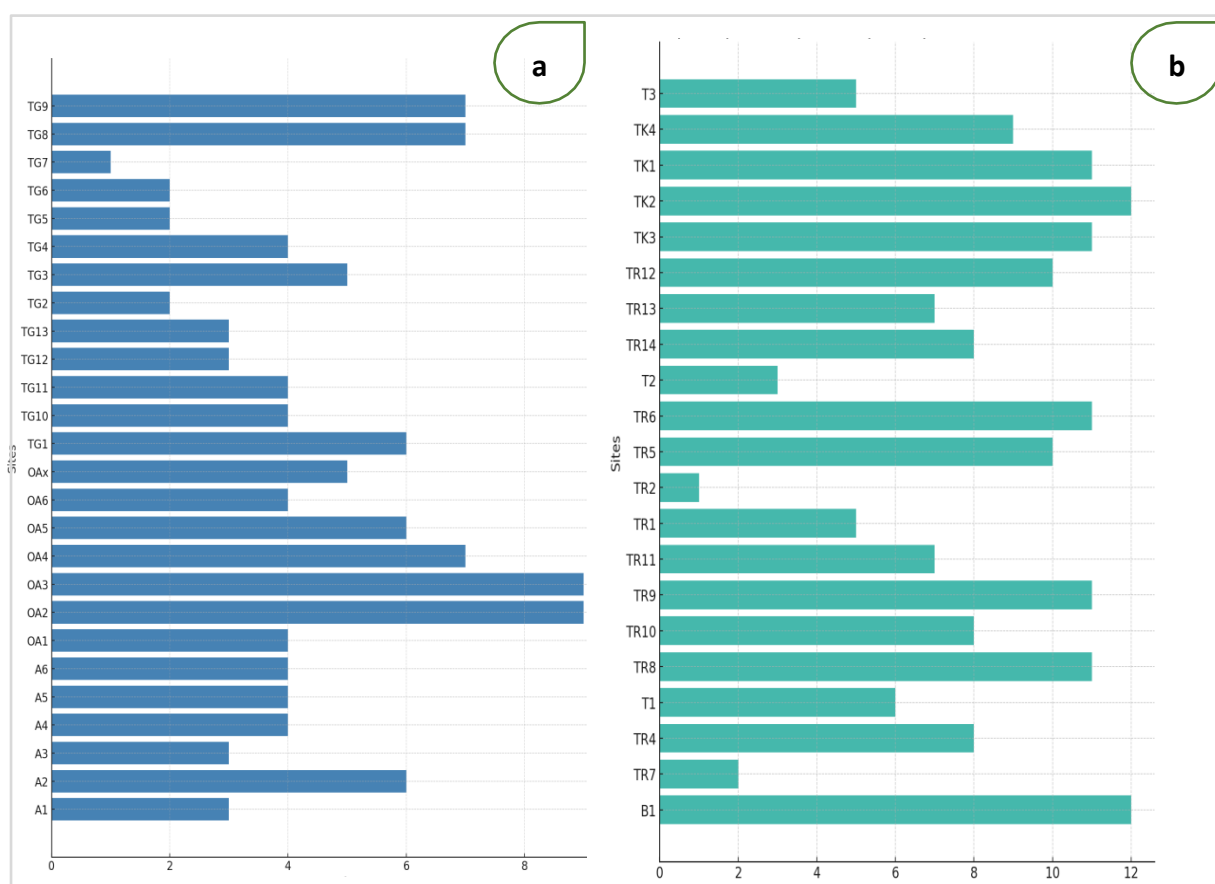


Figure 34. Richesse taxonomique des Ephéméroptère de Djurdjura selon l'exposition géographique (a) versant Nord ; (b) versant Sud.

L'analyse de la checklist des Ephéméroptères du réseau hydrographique du Djurdjura (Tableau 14) a permis de recenser 24 taxons, répartis entre 11 pour la famille des Baetidae, 3 pour les Heptageniidae, 2 pour Caenidae et 8 pour les Leptophlebiidae. La famille des Baetidae domine à la fois en richesse spécifique et en répartition spatiale.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

L'étude a également révélé la présence de trois espèces endémiques : *Rhithrogena sartorii*, *Habrophlebia djurdjurenensis* et *Centroptilum samraouii* une espèce qui a été récemment décrites, recensée pour la deuxième fois dans le pays. Plusieurs formes non pas été décrite scientifiquement ont été identifiées désignées provisoirement *Ecdyonoprus spA*, *Rhithrogena spA*, ainsi que *Habrophlebia spA*, *spB* et *spC*.

Tableau 14. Check liste des espèces d'Ephéméroptère recensés dans le réseau hydrographique de Djurdjura.

| FAMILLE | ESPECE | CODE | DISTRIBUTION |
|-----------------|--|------|---|
| Baetidae | <i>Baetis (Rhodobaetis) gr. Rhodani</i> | Brh | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OAx, OA1, OA2, OA3, OA4, OA5, OA6, TG1, TG2, TG3, TG4, TG5, TG8, TG9, TG10, TG11, TG12, TG13, A1, A2, A3, A5, A6 |
| | <i>Baetis pavidus</i> Grandi, 1949 | Bpa | B1, TR4, A4, A5, A6 |
| | <i>Baetis gr. alpinus</i> | Bal | TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR5, TR12, TR14, T1, T2, OAx, OA1, OA2, OA3, TG12, A2, A4 |
| | <i>Acentrella sinaica</i> (Bogoescu, 1931) | Asi | B1, TK3 |
| | <i>Alainites sadati</i> Thomas, 1994 | Asa | B1, TK1, TK2, TK4, TR6, TR12, TG9 |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | | | |
|----------------------|---|-----|---|
| | <i>Cloeon sp.</i> | Csp | TK1, TK2, TR8, TR9, TG1, TG3, TG8 |
| | <i>Cloeon gr. dipterum</i> | Cdi | TK1, TK2, TR2, TR6, TR8, TR9, TR12, TR13, OA3, TG1, TG3, TG8, A5 |
| | <i>Centroptilum samraouii</i> Kaltenbach, Vuataz & Gattolliat, 2022 | Csa | B1, TK1, TK3, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR13, TR14, OA2, OA3, OA4, TG1, TG3 |
| | <i>Nigrobaetis rhithralis</i> (Soldán & Thomas, 1983) | Nrh | B1, TK1, TK2, TK3, TR5, TR8, TR9, TR10, T1, OA _x , OA1, OA2, OA3, OA4, TG1, TG9 |
| | <i>Similicloeon simile</i> (Eaton, 1870) | Ssi | B1 |
| | <i>Procloeon stagnicola</i> Soldán & Thomas, 1983 | Pst | TR6, TR8, TG4 |
| Heptageniidae | <i>Ecdyonurus spA</i> | Esp | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T3, OA2, OA3, OA4, OA5, TG4, TG8, TG9, TG10, TG11, TG12, A1, A2 |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | | | |
|------------------------|---|-----|--|
| | <i>Rhithrogena spA</i> | Rsp | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, OAx, OA2, OA3, TG1, TG3, A1, A2 |
| | <i>Rhithrogena sartorii</i> Zrelli and Boumaiza, 2011 | Rsa | TR4, OA2 |
| Caenidae | <i>Caenis luctuosa</i> (Burmeister, 1839) | Clu | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR12, TR13, TR14, OA4, OA5, OA6, TG3, TG5, TG7, TG8, TG9, A2, A3, A4, A5, A6 |
| | <i>Caenis pusilla</i> Navás, 1913 | Cpu | B1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR14, T3, OA5, TG6, A4, A6 |
| Leptophlebiidae | <i>Habrophlebia sp.</i> | Hsp | TK1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, T2, OAx, OA1, OA3, OA4, OA5, TG4, TG8, TG10, TG11, TG13, A2 |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | | |
|---|------|--|
| <i>Habrophlebia djurdjurenensis</i> Kechemir, Sartori & Lounaci, 2020 | Hdj | TR12, TG1, TG2, TG3, TG6 |
| <i>Habrophlebia spA</i> | HspA | TR1, T1, T3 |
| <i>Habrophlebia spB</i> | HspB | TR5, TG9 |
| <i>Habrophlebia spC</i> | HspC | OA2, OA6 |
| <i>Choroterpes sp.</i> | CspA | TK3, TR12, TR13, TR14 |
| <i>Choroterpes (Euthraulus) lindrothi</i> (Peters, 1980) | Cli | B1, TK2, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR9, TR10, TR11, T3 |
| <i>Choroterpes atlas</i> Soldán & Thomas, 1983 | Cat | OA2, OA3 |

IV222 Répartitions spatiales des Ephéméroptères du Djurdjura

Le croisement de la distribution spatiale des espèces d'Ephéméroptères à travers les sites d'échantillonnage (Tableau 15), cartographié selon les zones de protection UICN du Parc National du Djurdjura (zone centrale, zone Tampon et zone Transitions), permet d'évaluer l'influence Complexe de ces zonages sur leur répartition.

Plusieurs espèces d'éphéméroptère montrent une très large répartition, étant présentes dans des sites couvrant l'ensemble de trois catégories de zone tracé par l'IUCN comme *Baetis (Rhodobaetis) gr. Rhodani*, *Baetis gr. alpinus*, *Cloeon gr. dipterum*, *Ecdyonorus spA*, *Caenis pusilla*. Par ailleurs, les zones centrale et Tampon se distinguent par une plus grande fréquence de détection pour des espèces qui apparaît plus exigeantes comme *Alainites sadati* (Baetidae), *Centroptilum samraouii* (Baetidae), et *Nigrobaetis rhithralis* (Baetidae), *Rhithrogena spA*, et *Choroterpes (Euthraulus) lindrothi*.

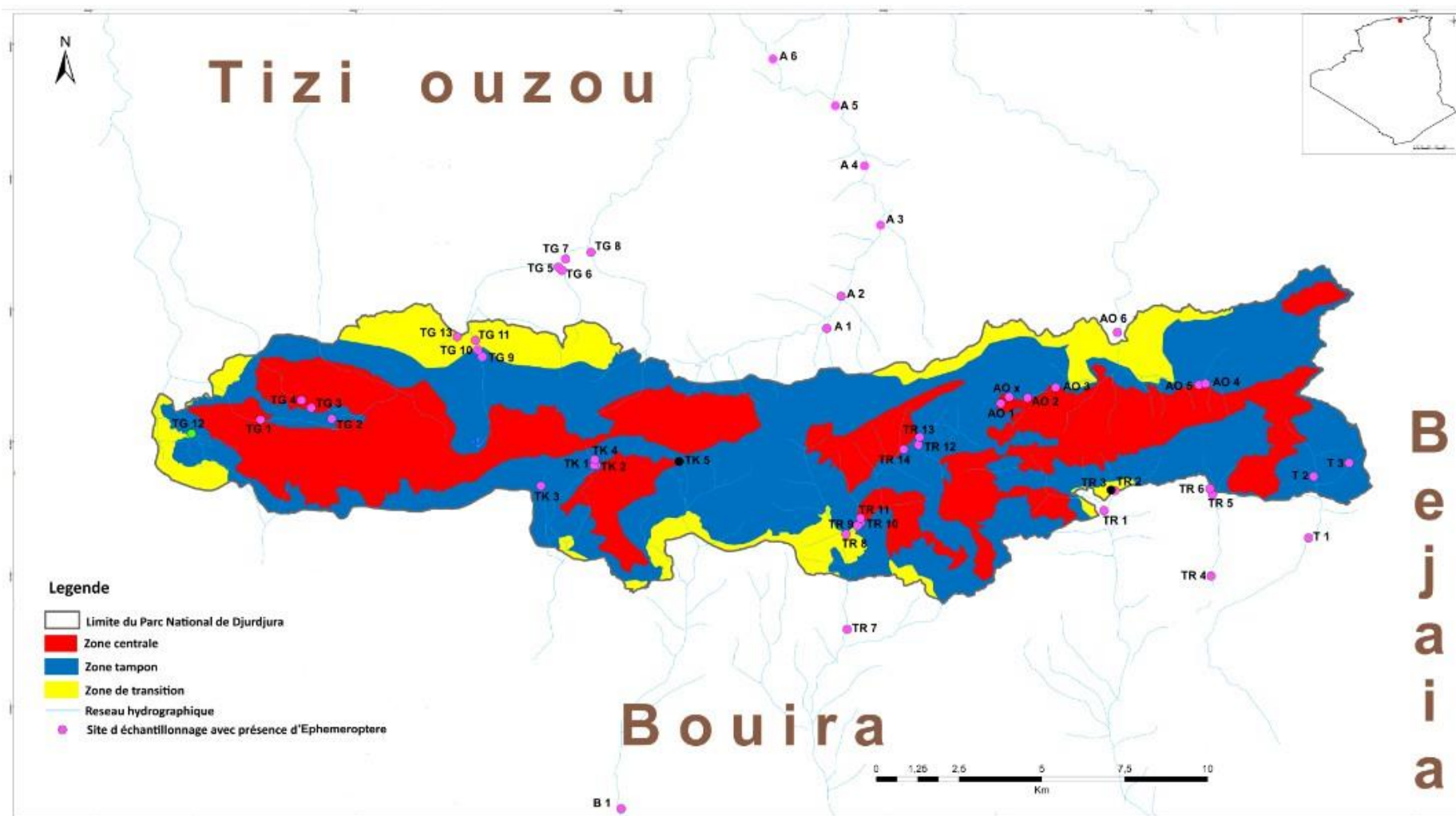


Figure 35. Carte des distributions des sites d'échantillonnage d'Ephéméroptère en fonction de zonage d'IUCN.

IV223. Analyse multivariée des assemblages Ephéméroptères

L'analyse ordinale effectuée par la méthode NMDS (non-metric multidimensional scaling) a produit une structuration satisfaisante des données, avec un stress faible (0,12) et un coefficient de corrélation élevé ($R^2 = 0,99$). Les résultats indiquant une nette distinction des assemblages d'Ephéméroptères selon le niveau de perturbation anthropique des sites (Figure 36).

Ordination basée sur l'indice de Bray-Curtis montre que les stations rurales notamment B1, A2 à A6, situé hors des limites du Parc National, caractérisées par une activité humaine plus marquée, sont dominées par des espèces euryèces comme *Baetis pavidus* et *Caenis luctuosa*. A l'inverse, les stations préservées montrent une plus grande affinité pour des espèces sensibles et endémiques telles que *Rhithrogena sartorii*, *Rhithrogena spA* et *Habrophelbia spB* (Figure 37 a, b).

L'analyse NMDS (Figure 38) également permis de distinguer les assemblages selon l'orientation des versants. Les sites situés sur le versant Nord (A1, A3, A4, A5, A6, TG1, TG3, TG4, OA2, OA3) présentent des compositions spécifiques différentes de celles observées sur l versant Sud (T1, T2, TK2, TK4, TR1, TR5, TR12, TR14), indiquant un effet potentiel de l'exposition topographique sur la distribution des Ephéméroptères.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

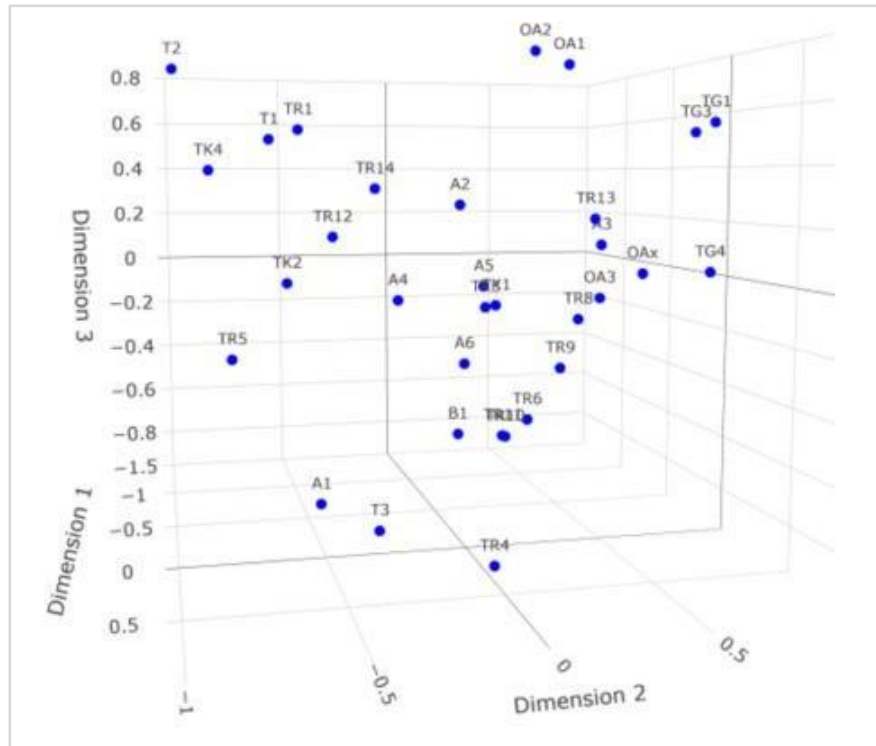


Figure 36. Analyse NMDS en trois dimensions des sites étudiés basée sur les assemblages d'Ephéméroptères (indice de Bray-Curtis).

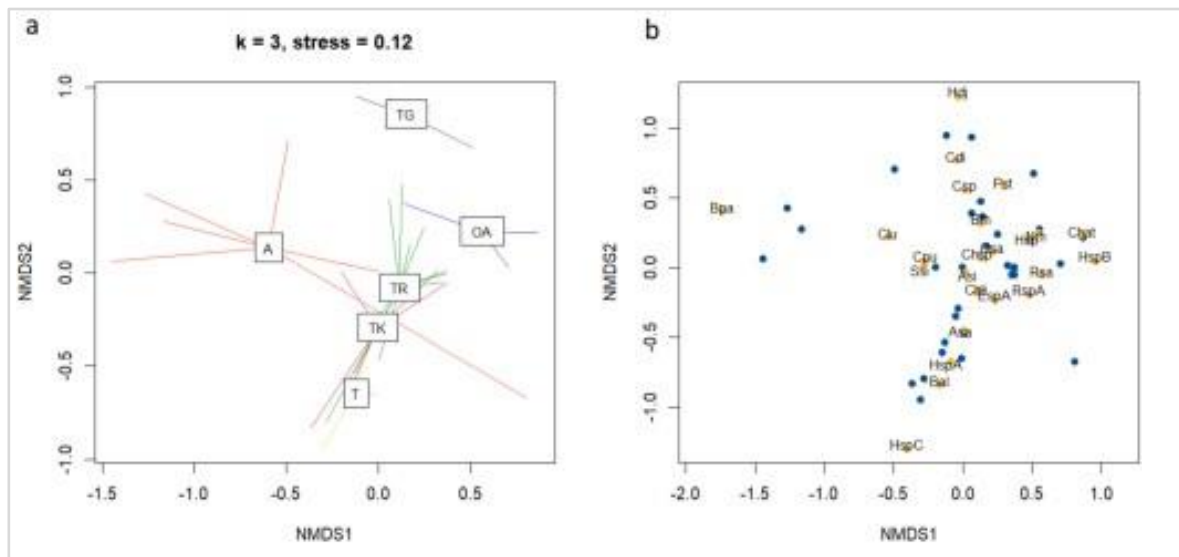


Figure 37. Ordination NMDS basée sur l'indice de Bray-Curtis

(a) différenciation des bassins versant du massif du Djurdjura selon les assemblages d'Ephéméroptère ; (b) projection conjointe a la distribution des espèces d'Ephéméroptère et des sites d'étude.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

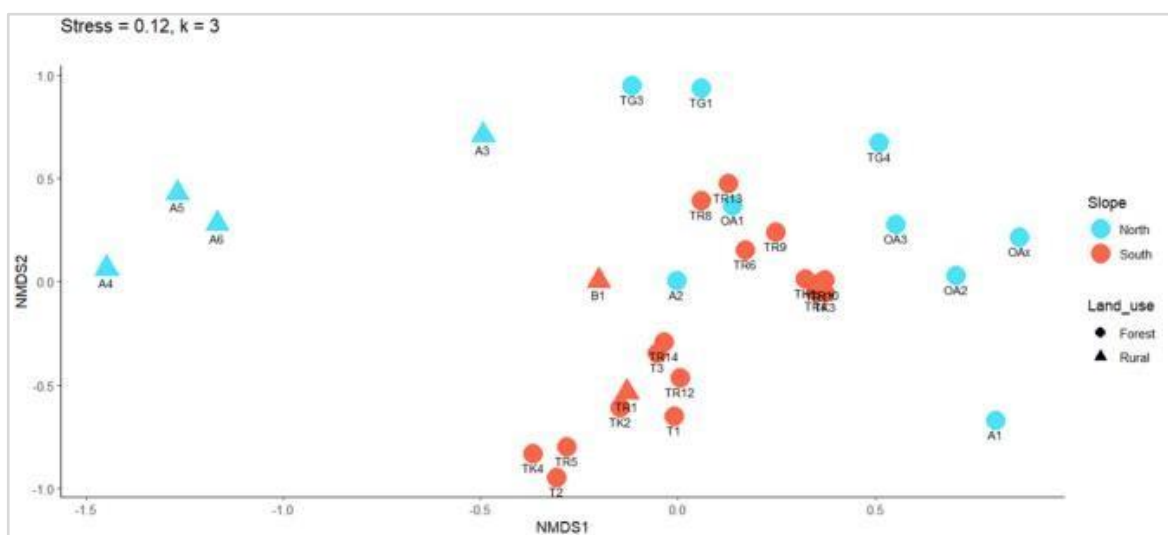


Figure 38. Ordination NMDS (Bray-Curtis) des stations d'échantillonnages en fonction des facteurs occupation du sol et l'exposition topographique.

L'altitude apparaît également comme un facteur structurant des assemblages d'éphéméroptère. L'analyse NMDS ($k = 3$, stress = 0,12) révèle une différenciation progressive des communautés le long du gradient altitudinal. Les sites situés à plus basse altitude, généralement en dehors des zones protégées, sont souvent soumis à des pressions anthropiques, ce qui influence la composition spécifique observée. À l'inverse, les stations situées en altitude, notamment en amont et à l'intérieur des limites du parc national du Djurdjura, présentent une faune mieux préservée et caractérisée par la présence d'espèces sensibles (Figure 39).

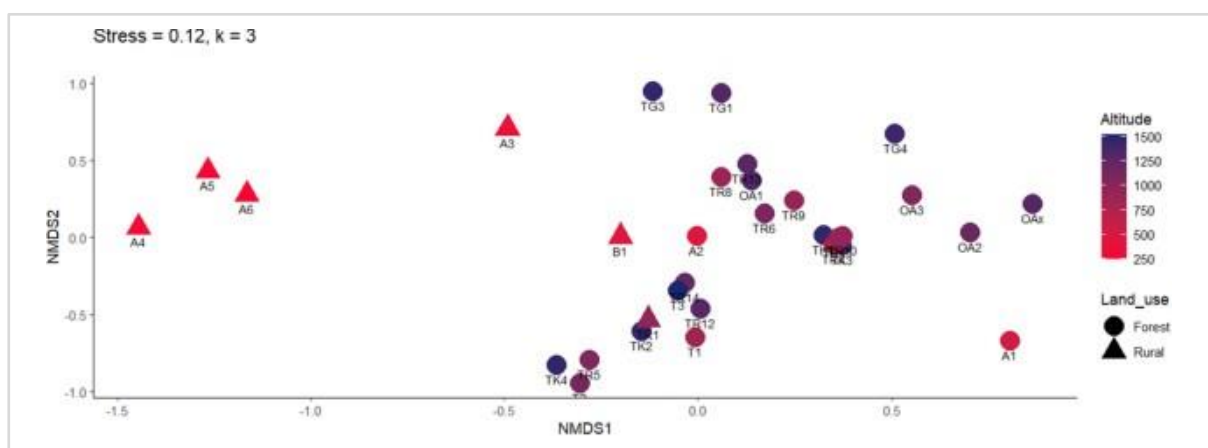


Figure 39. Ordination NMDS (Bray-Curtis) des stations d'échantillonnages en fonction des facteurs occupation du sol et l'altitude.

La fonction envfit a permis de superposer les vecteurs environnementaux aux mesures aux assemblages d'Ephéméroptères. Les résultats de 1000 permutations ont montré que 3 des 6 variables testées (occupation du sol, altitude, vitesse d'écoulement, conductivité, nature du substrat et exposition topographique des versants) étaient significativement corrélées à l'ordination NMDS

Chapitre IV : Résultats et Discussion

distinguait les différents bassins versants. L'occupation du sol ($R^2 = 0,21$; $p = 0,001$) et l'exposition des versant ($R^2 = 0,41$; $p = 0,004$) et l'exposition des versant ($R^2 = 0,14$; $p = 0,002$) ont montré une corrélation linéaire significative avec l'ordination, tandis que la conductivité, la vitesse de courant et la conductivité, la vitesse de courant et le substrat n'étaient pas significativement liées ($p > 0,05$).

Une analyse PERMANOVA restreinte appliquée à la composition des Ephéméroptères dans la zone d'étude a confirmé que l'occupation du sol ($R^2 = 0,09$; $p = 0,002$) l'altitude ($R^2 = 0,06$; $p = 0,013$), et l'exposition des versant Nord - Sud ($R^2 = 0,08$; $p = 0,004$) étaient des variables significatives (Tableau 15).

Tableau 15. Corrélations des variables environnementales sur la structure des communautés d'Ephéméroptère (envfit et PERMANOVA)

| Variable environnementale | R^2 (envfit) | p-value (envfit) | R^2 (PERMA- NOVA) | p-value (PERMA- NOVA) |
|-------------------------------|----------------|------------------|------------------------|-----------------------------|
| Occupation du sol | 0,21 | 0,001 | 0,09 | 0,002 |
| Altitude | 0,41 | 0,004 | 0,06 | 0,013 |
| L'exposition topographique | 0,14 | 0,002 | 0,08 | 0,004 |

IV224 Structure faunistique et composition taxonomique des Plécoptère

Au total 11 128 individus de Plécoptères appartenant à six familles ont été identifiés à travers l'ensemble des sites étudiés : Nemouridae, Perlodidae, Leuctridae, Perliidae, Taeniopterygidae et Capniidae. La famille Nemouridae est la plus abondante avec 3 239 individus, soit 29,1 % de la population totale de Plécoptère. Elle est suivie par Taeniopterygidae avec 2 915 individus (26,2 %) et Perliidae avec 2 590 individus (23,3 %), montrent également une représentation importante. Leuctridae compte 1 665 individus (15 %). Tandis que Perlodidae est moins fréquente avec 702 individus (6,3 %). En revanche Capniidae sont très faiblement représentées avec seulement 17 individus soit 0,2 % de l'abondance relative (Figure 40).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

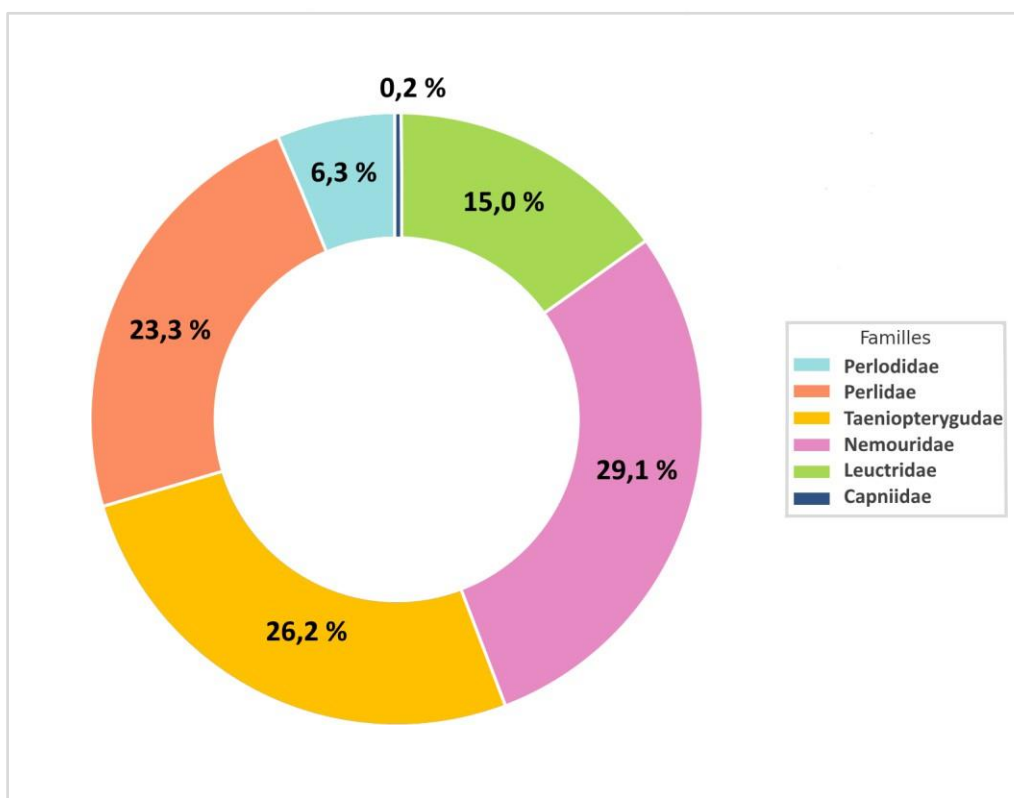


Figure 40. Abondance relative des Plécoptères de Djurdjura.

Le diagramme à bulle (Figure 41), basé sur les abondances des familles dans l'ensemble des stations, fait ressortir une hétérogénéité marquée dans la distribution des Plécoptères avec une forte dominance de la famille des Nemouridae, qui atteint des effectifs supérieurs à 750 individus dans certaines stations, notamment B1 et TK1 et se maintient abondante dans plusieurs autres sites, cette famille constitue aussi le groupe le plus représenté de l'ensemble des stations. La famille Perlidae montre également des abondances notables dépassant 500 individus dans les stations OA3 et OA1, traduisant une forte présence locale et une certaine capacité d'adaptations à ces milieux. En ce qui concerne les Taeniopterygidae, des effectifs intermédiaires sont observés dans plusieurs stations où ils atteignent environ 250 à 500 individus. Quant aux Leuctridae, bien que peu fréquents dans la majorité des stations, ils sont nettement dominants localement dans la station TR8, TR9 où ils dépassent les 500 individus, les Perlodidae et Capniidae restent peu abondants et localisés, voire absents dans la majorité des stations échantillonnées.

Chapitre IV : Résultats et Discussion



Figure 41. Variabilité stationnelle de l'abondance des Plécoptères au niveau de famille.

L'analyse comparative de la richesse taxonomique des Plécoptères, selon un gradient altitudinal Croissant entre les deux versants du massif de Djurdjura met en évidence une variabilité spatiale. Sur l versant Sud, la richesse taxonomique se montre plus élevée et mieux répartie. Un grand nombre de stations présentent une diversité comprise entre 4 et 6 familles, atteignant les valeurs maximale (TK3). A l'inverse, plusieurs stations de haute altitude comme TG2, TG3, TG4, TG5, TG7, TG11, TG13, A2 sur le versant Nord affiche une richesse plus réduite, limitée de 1 à 3 familles avec quelques exceptions telles que la station OA1 et OA3 présentent une richesse plus élevée, atteignant le pic avec 5 familles (Figure 42 a, b).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

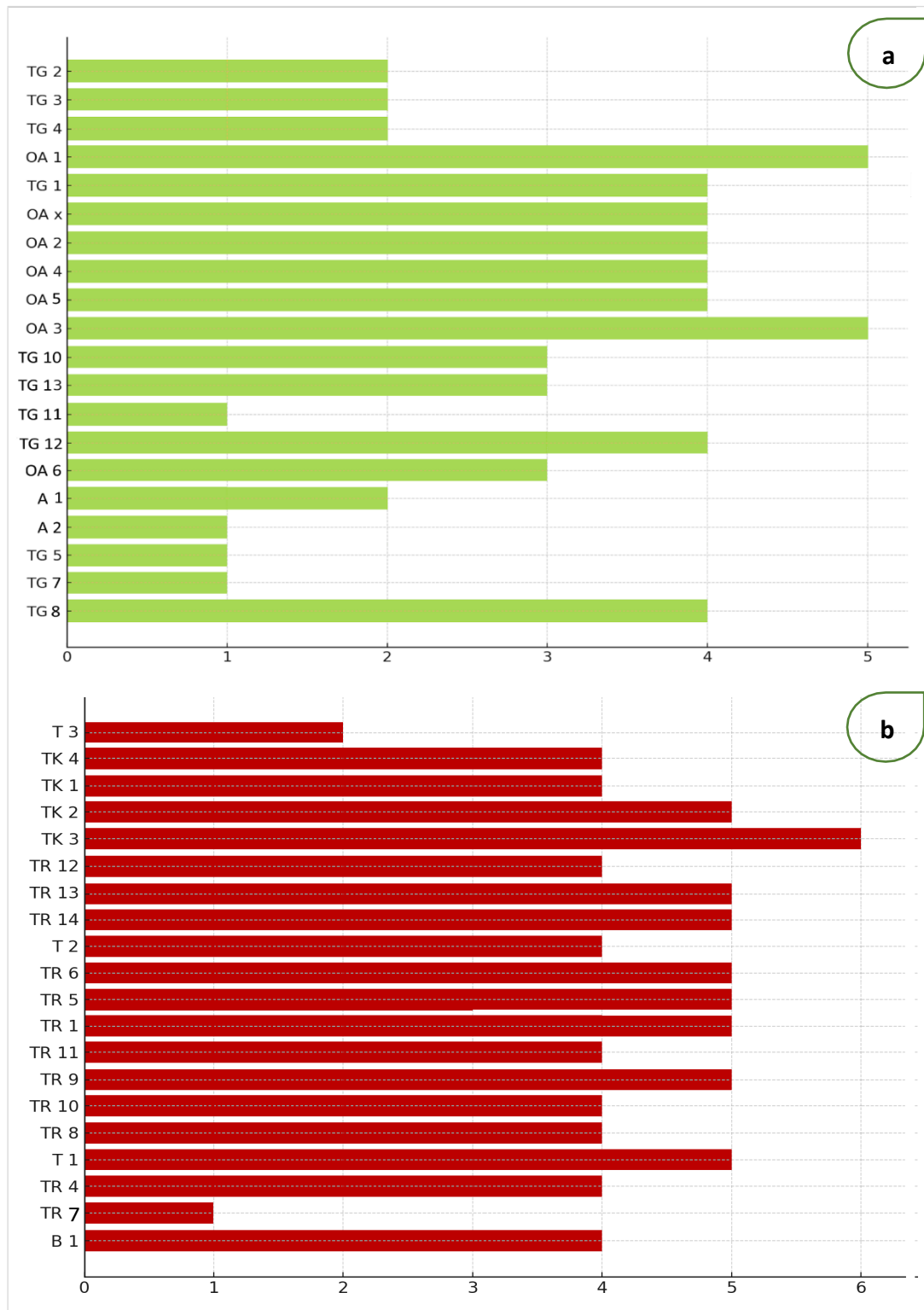


Figure 42. Richesse taxonomique des Plécoptère de Djurdjura selon l'exposition géographique
(a) versant Nord ; (b) versant Sud.

Les plécoptères de Djurdjura présentent une structure marquée par bonne constance écologique (Tableau 16), les Nemouridae avec 85 %, Taeniopterygidae (82,5 %), Leuctridae (75 %) et Perlodidae (62,5 %) ce qui explique leur présence dans la majorité des sites (Figure 41),

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Perlidae catégoriquement appartient aux familles accessoires, tandis que Capniidae se classe comme un groupe taxonomiques rares à une tendance accidentelle, avec une présence marginale (< 10 %).

Tableau 16. Analyse de la constance écologique des Famille de Plécoptère des familles dans les sites étudiés.

| Famille | Constance | Catégorie écologique |
|------------------|-----------|----------------------|
| Nemouridae | 85 % | Constant |
| Perlodidae | 62,5 % | Constant |
| Leuctridae | 75 % | Constant |
| Perlidae | 45 % | Accessoire |
| Taeniopterygidae | 82,5 % | Constant |
| Capniidae | 7,5 % | Accidente (rare) |

IV225 Répartitions spatiales des Plécoptère de Djurdjura

L'intégration des zones de gestions définies par a classification d'IUCN dans la carte d'analyse Spatiale en croisant avec le tableau de distribution des famille (Figure 43 et Tableau 17) démontre que la plupart des sites présentant une richesse élevée et une forte abondance en Plécoptère se trouvent au sein ou à proximité des zones centrales et Tampon, Bénéficiant du plus haut niveau de protection. Par contre, les zones périphériques souvent plus exposées aux pressions anthropiques, montrent une présence de richesse spécifiques nettement plus faible, voire une absence totale de Plécoptères.

Tableau 47. Distribution spatiale des familles de Plécoptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura.

| Famille | Distribution |
|------------|---|
| Nemouridae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OA _x , OA4, OA5, TG1, TG2, TG3, TG4, TG8, TG10, TG12, TG13, A1. |
| Perlodidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, OA1, OA3, OA _x , TG1, TG12, A1, A2. |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|-------------------------|---|
| Leuctridae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, OA1, OA2, OA3, TG1, TG5, TG7, TG8, TG10, OA4, OA5, OA6. |
| Perlidae | TK3, TR5, TR6, TR9, TR13, TR14, T1, OA1, OA2, OA3, OAx, OA4, OA5, OA6, TG8, TG10, TG12, TG13. |
| Taeniopterygidae | TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OAx, OA4, OA5, OA6, TG1, TG2, TG3, TG4, TG8, TG11, TG12, TG13. |
| Capniidae | TK2, TK3, TR1 |

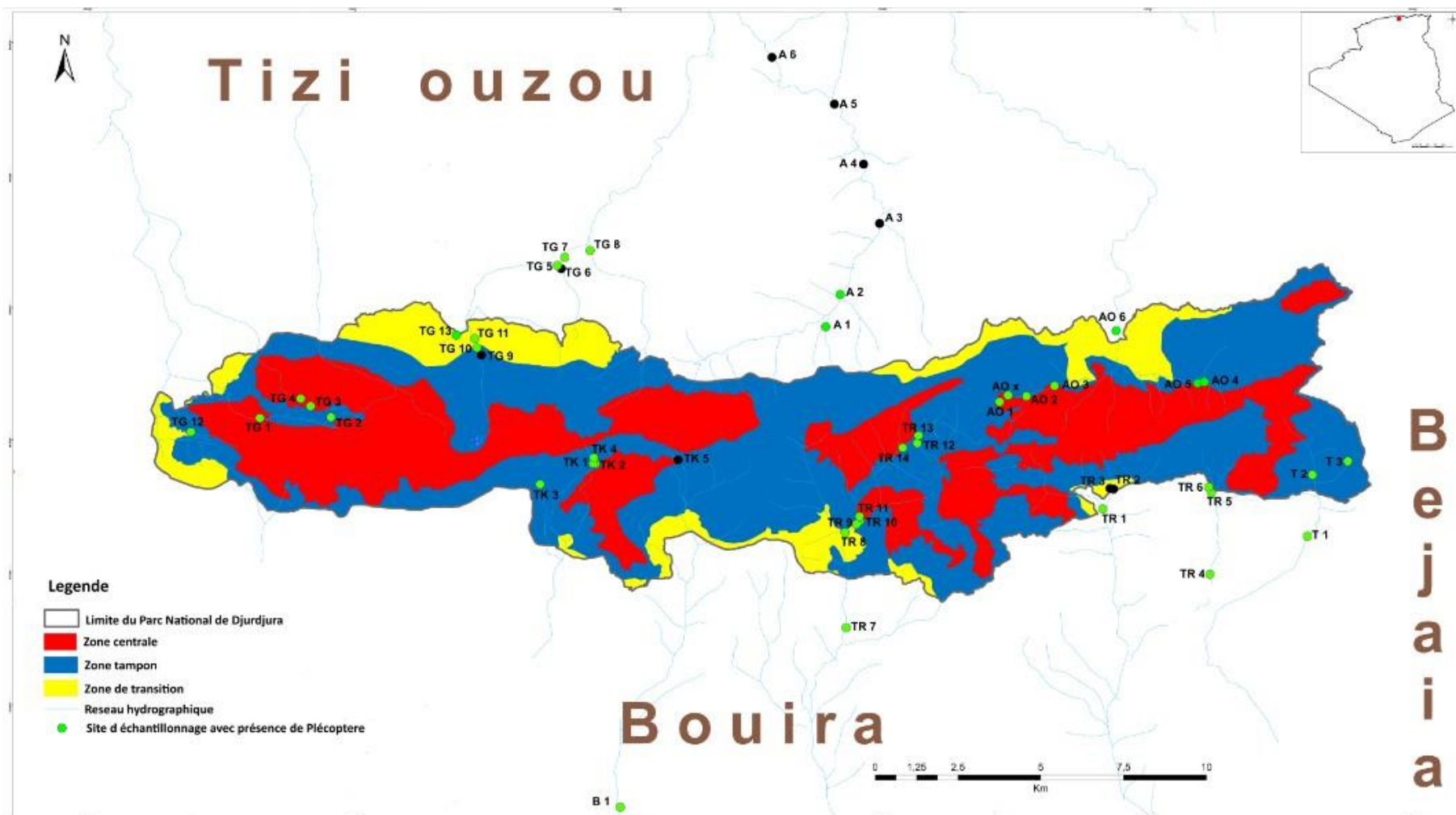


Figure 43. Cartographie de la présence des Plécoptères de Djurdjura selon les zones de conservation de l'IUCN.

IV226 Structure faunistique et composition taxonomique des Trichoptère

L'analyse de la composition faunistique des Trichoptères à travers les sites échantillonnés de l'écosystème montagnard du Djurdjura met en évidence 9 familles identifiées sur un total de 5 019 larve récoltée au cours de 18 mois.

Le taxon des Hydropsychidae, représente la communauté la plus dominante de l'ensemble des individus capturés avec 62,5 %. Suivi par les familles Polycentropodidae avec 14 % et Limnephilidae (12%). La famille des Rhyacophilidae marque aussi une présence notable avec 10,3 %. Néanmoins, les familles Philopotamidae (0,6 %), Glossomatidae (0,5 %) ainsi que Psychomyiidae, Lepidostomatidae et Goeridae (chacune < 0,05 %) apparaissent très faiblement représentées (Figure 44).

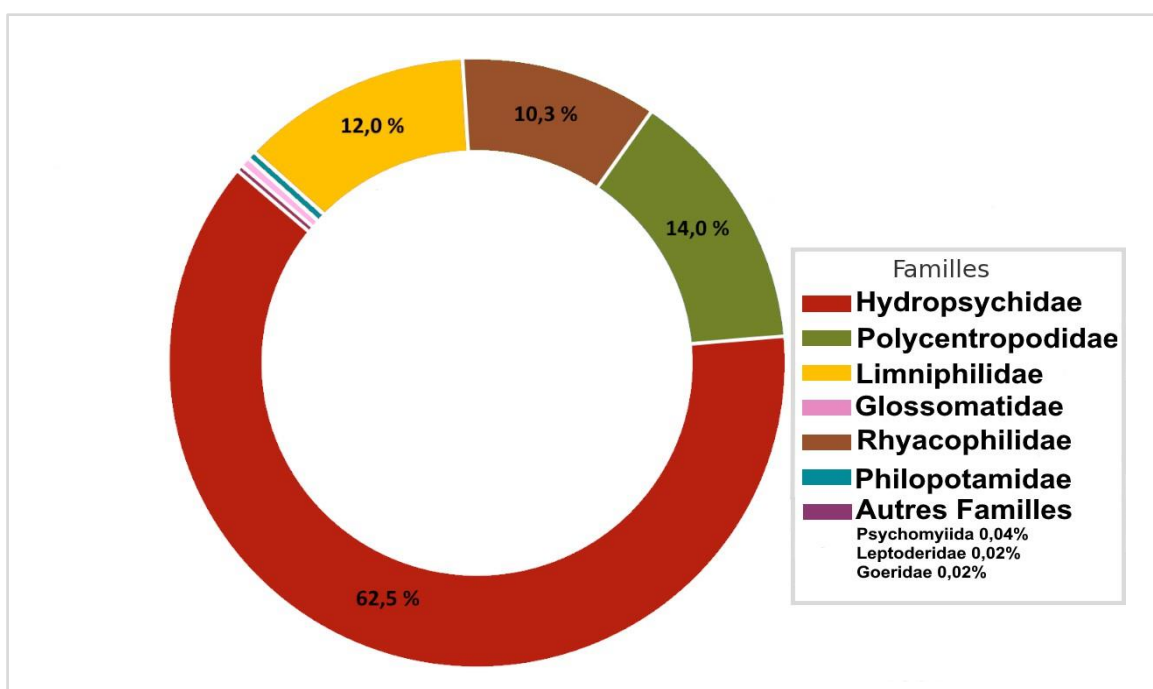


Figure 44. Abondance relative des familles de Trichoptère de Djurdjura.

Les Trichoptères à travers les différents sites échantillonnés du massif du Djurdjura relevé une distribution étendue sur la quasi-totalité des stations étudiées. Parmi les familles recensées, les Hydropsychidae dominent nettement en termes d'abondance dont le site TK1 présente un volume de cercle exceptionnel avec une valeur dépassant les 800 individus, suivi de OA3 et TG12, où les effectifs sont également élevés (arrive à 400 individus). Des abondances notables, quoique moindres, sont visibles dans plusieurs autres sites tels que TK3, TR9, OA2, TG9 et A6 avec des effectifs variants entre 100 et 300 individus. La famille Polycentropodidae affiche une présence modérée mais spatialement concentrée dans plusieurs sites du massif du Djurdjura. Des

Chapitre IV : Résultats et Discussion

abondances remarquables sont observées à TR8 et TR9 avec des effectifs estimés entre 100 et 200 individus, d'autres présences moins élevées mais significatives apparaissent aux sites TK2, TK3, TG12 et OA1. Rhyacophilidae est faiblement représentée, sa présence est marquée par de petites occurrences dispersées. Limnephilidae présente une légère abondance localisée au site TK4 (Figure 45).

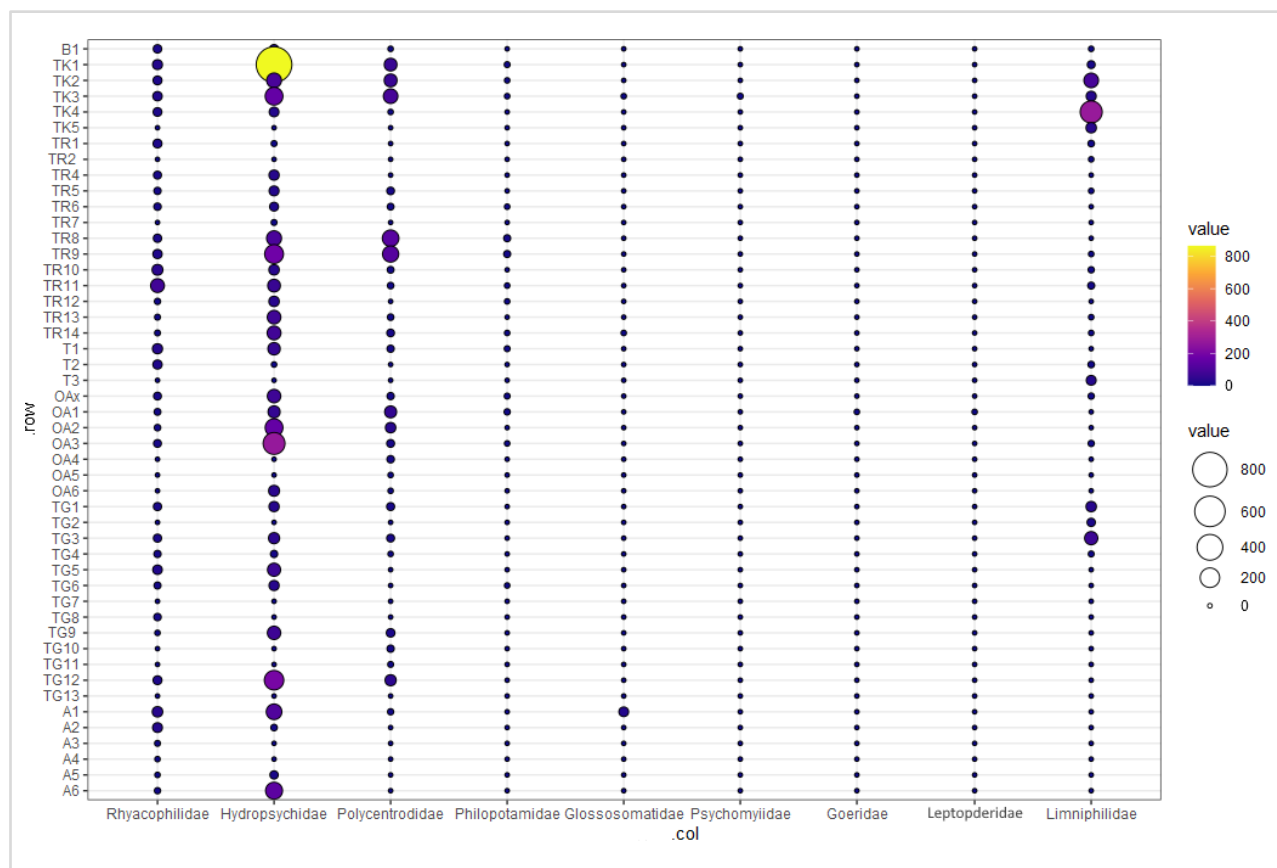


Figure 45. Variabilité stationnelle de l'abondance des Trichoptères au niveau de famille.

La richesse taxonomique présente un contraste marqué entre les deux versants du Djurdjura (Figure 46 a et b). Sur le versant Sud, la diversité est globalement plus élevée atteignant 7 à 8 familles dans certaines stations comme TK3, TR14 et TK1. La majorité des autres sites maintiennent une richesse comprise entre 4 et 6 familles. À l'inverse, le versant Nord affiche une richesse ne dépasse pas 6 taxons (familles) avec des pics localisés à OA3, TG4 et TG1.

La répartition des taxons selon gradient altitudinal décroissant, montre que certaines stations situées à basse altitude telles que A3 ou TG8 se distinguent par une diversité plus faible (1 à 2 taxons). D'autres sites d'altitude élevée TK3 et OA1 présentent une richesse élevée respectivement 7 et 6 familles.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

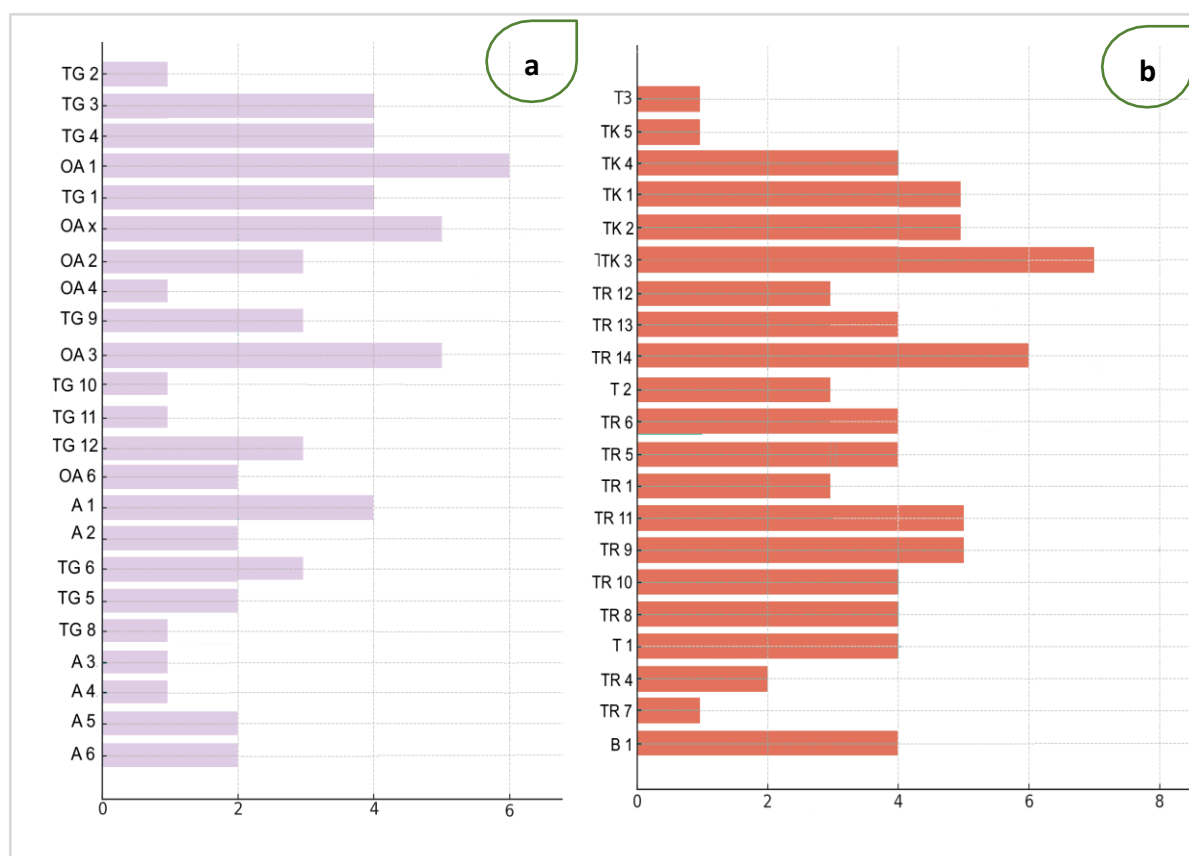


Figure 46. Richesse taxonomique des Trichoptères de Djurdjura selon l'exposition géographique (a) versant Nord ; (b) versant Sud.

L'analyse de la constance écologique selon tableau dessous (Tableau 18), nous a permis de distinguer trois groupes. Les familles Rhyacophilidae (81,8 %), Hydropsychidae (79,5 %) et Polycentropodidae (63,6 %) leur présence été marqué dans plus de 50 % des sites avec ce qui permet de les classer parmi les taxons constants. Les Limnephilidae (45,4 %) et les Philopotamidae (31,8 %) sont considérées comme accessoires. Les Glossomatidae, Psychomyiidae, Lepidostomatidae et Goeridae, toutes caractérisées par une constance très faible ($\leq 6,8$ %) sont qualifiées de rares ou accidentelles.

Tableau 18. La constance écologique des familles de Trichoptères recensées.

| Famille | Constance | Catégorie écologique |
|-------------------|-----------|----------------------|
| Hydropsychidae | 79,5 % | Constant |
| Polycentropodidae | 63,6 % | Constant |
| Limnephilidae | 45,4 % | Accessoire |
| Rhyacophilidae | 81,8 % | Constant |
| Philopotamidae | 31,8 % | Accessoire |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | | |
|------------------|-------|------------------|
| Glossosomatidae | 6,8 % | Accidente (rare) |
| Psychomyiidae | 2,2 % | Accidente (rare) |
| Lepidostomatidae | 2,2 % | Accidente (rare) |
| Goeridae | 2,2 % | Accidente (rare) |

IV227. Répartitions spatiales Trichoptère de Djurdjura

L'examen de tableau de la distribution spatiale des familles (Tableau 19) mets en évidence que les Hydropsychidae et Rhyacophilidae sont ubiquiste en Djurdjura avec une forte répartition présentent respectivement dans 35 et 36 sites. Ces deux familles colonisent une large marge altitudinale allant de TG2, TK1 jusqu'à des altitudes plus basses a A6. Les Polycentropodidae montrent ainsi une bonne présence a travers 28 sites, tandis que les Limnephilidae, se distingue par une préférence marquée aux sites montagnards à haute altitude. Les Glossomatidae, Psychomyiidae, Lepidostomatidae et Goeridae reste familles très peu observées.

Le croisement des de tableau de répartitions (Tableau 19) avec la carte (Figure 47) montre clairement que les zones tampon et centrale accueillent une plus grande diversité et abondance au familles de Trichoptères, en comparaison avec la zone de transition ou certaines familles sont absentes.

Tableau 19. Distribution spatiale des familles de Trichoptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura.

| Famille | Distribution |
|--------------------------|--|
| Hydropsychidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, OAx, OA1, OA2, OA3, OA6, TG1, TG3, TG4, TG12, TG5, TG6, TG9, A1, A2, A5, A6. |
| Polycentropodidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR13, TR14, T1, OAx, OA1, OA2, OA3, OA4, OA6, TG1, TG3, TG4, G9, TG10, TG11, TG12, A1. |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|-------------------------|---|
| Limnephilidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TK5, TR1, TR5, TR9, TR10, TR11, TR13, TR14, T2, T3, OAx, OA3, TG1, TG2, TG3, TG4 |
| Rhyacophilidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, OA1, OA2, OA3, OAx, TG1, TG3, TG4, TG5, TG6, TG8, TG9, TG12, A1, A2, A3, A4, A5, A6 |
| Philopotamidae | TK1, TK2, TK3, TR6, TR8, TR9, TR11, TR12, TR14, T1, OAx, OA1, OA3, TG6. |
| Glossomatidae | TK3, TR14, A1 |
| Psychomyiidae | TK3 |
| Lepidostomatidae | OA1 |
| Goeridae | OA1 |

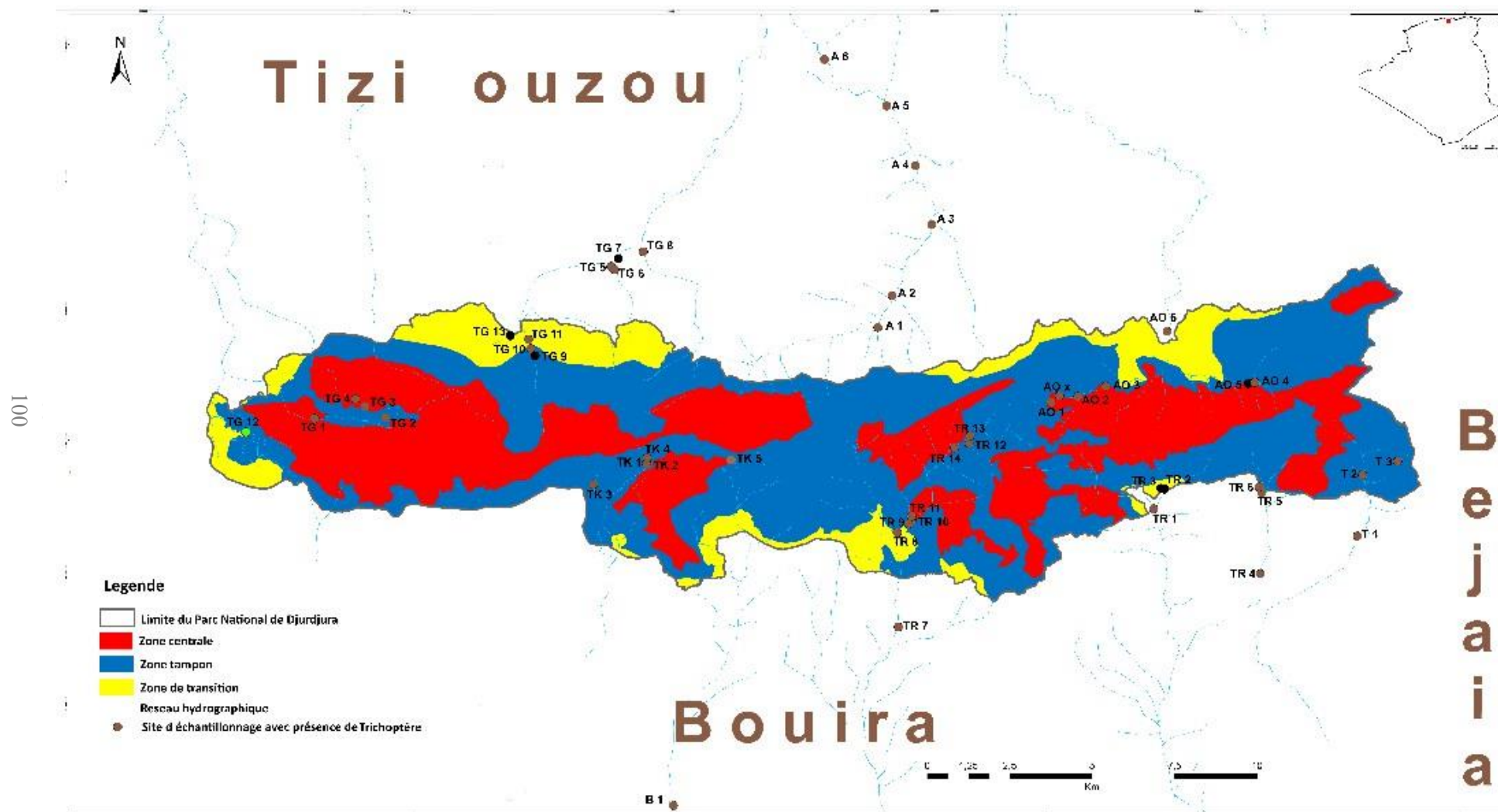


Figure 47. Cartographie de la présence des Trichoptères de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN.

IV228 Structure faunistique et composition taxonomique des Odonate

L'étude de l'abondance relative des Odonates issus des sites échantillonnés, totalisant 1 658 individus répartis en 7 familles, révèle une nette dominance des Coenagrionidae à 34,5 % suivis des Calopterygidae en 29 % et des Aeshnidae avec 24,1 %. A l'inverse, les familles Lestidae (3,5 %) Platynemididae (0,2 %) et Libellulidae (0,2 %) affichent une présence très réduite (Figure 48).

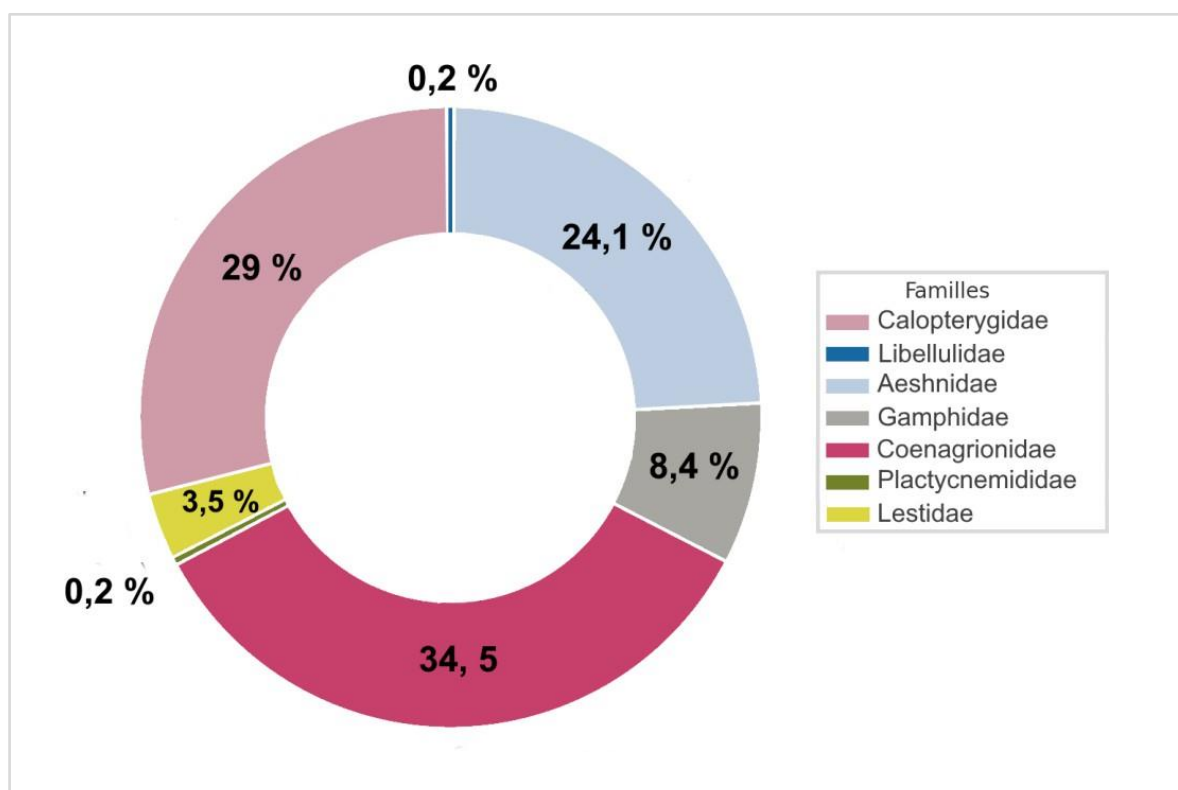


Figure 48. Abondance relative des familles d'Odonates de Djurdjura.

Parmi les familles d'Odonates recensées dans les sites du massif du Djurdjura, les Calopterygidae enregistre les effectifs les plus élevés, en particulier au site B1 où l'abondance dépasse les 300 individus. Des valeurs également importantes apparaissent pour Coenagrionidae aux sites TK2 et TK1. Aeshnidae présente une distribution plus large avec une abondance modérée dans les sites TR8, TR9, TK2, TR13 ainsi que OA2, où les effectifs sont estimés entre 50 et 200 individus. Les autres familles sont très faiblement représentées avec seulement

Chapitre IV : Résultats et Discussion

quelques occurrences à très faiblement représentée avec seulement quelques occurrences à très faible abondance dans quelques sites (Figure 49).

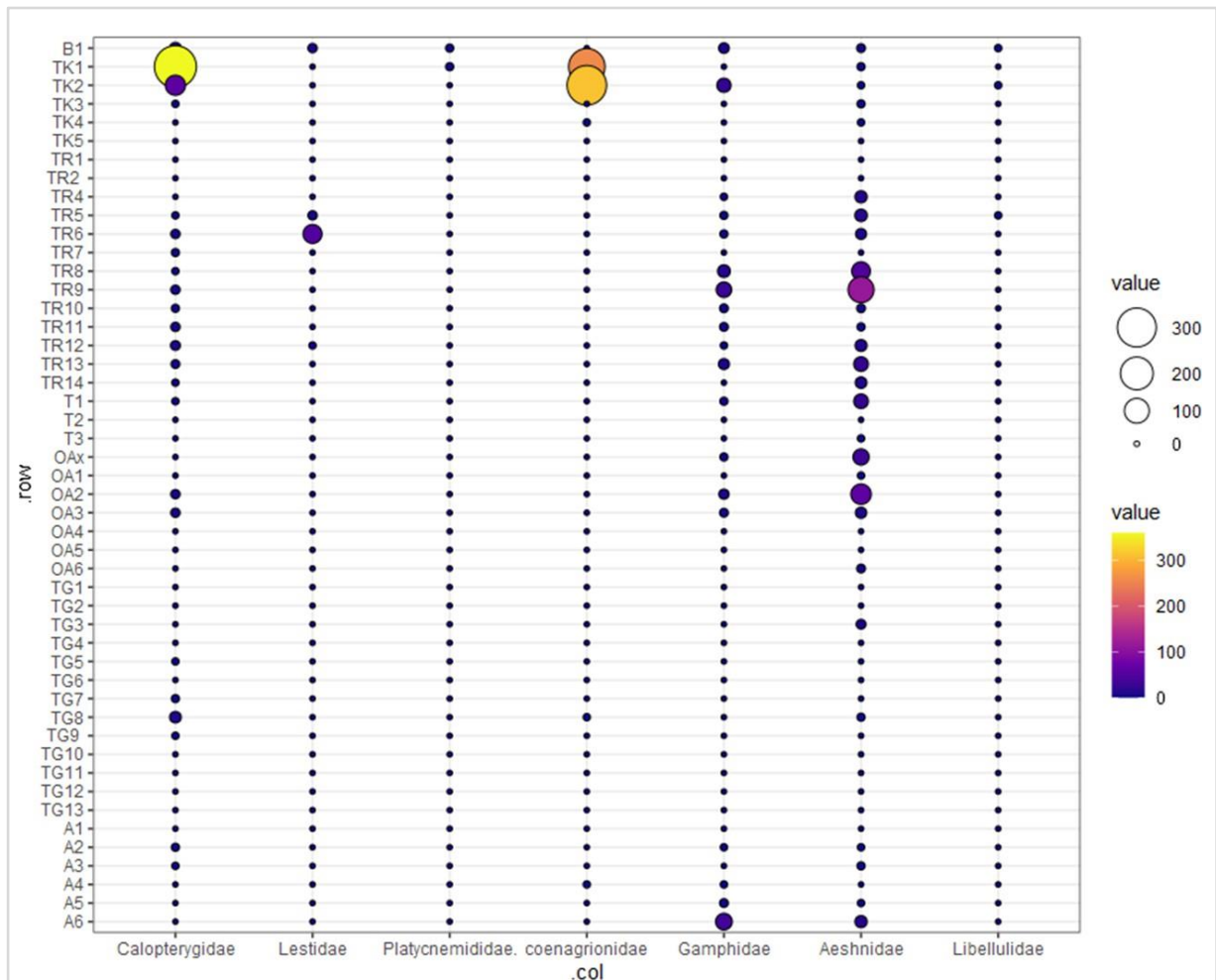


Figure 49. Variabilité stationnelle de l'abondance des Odonates au niveau de famille.

La comparaison de la richesse taxonomique des Odonates entre les deux versant du massif du Djurdjura, selon u classement croissant des stations, révèle des profils nettement différenciés. Sur le versant Nord, la richesse présente une amplitude restreinte (1à 3 familles), traduisant une diversité globalement faible et homogène. A l'inverse, le versant Sud montre une plage de variation plus large avec une diversité plus contrastée, atteignant un maximum de 6 familles a la station B1 qui se distingue nettement des autres (Figure 50).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

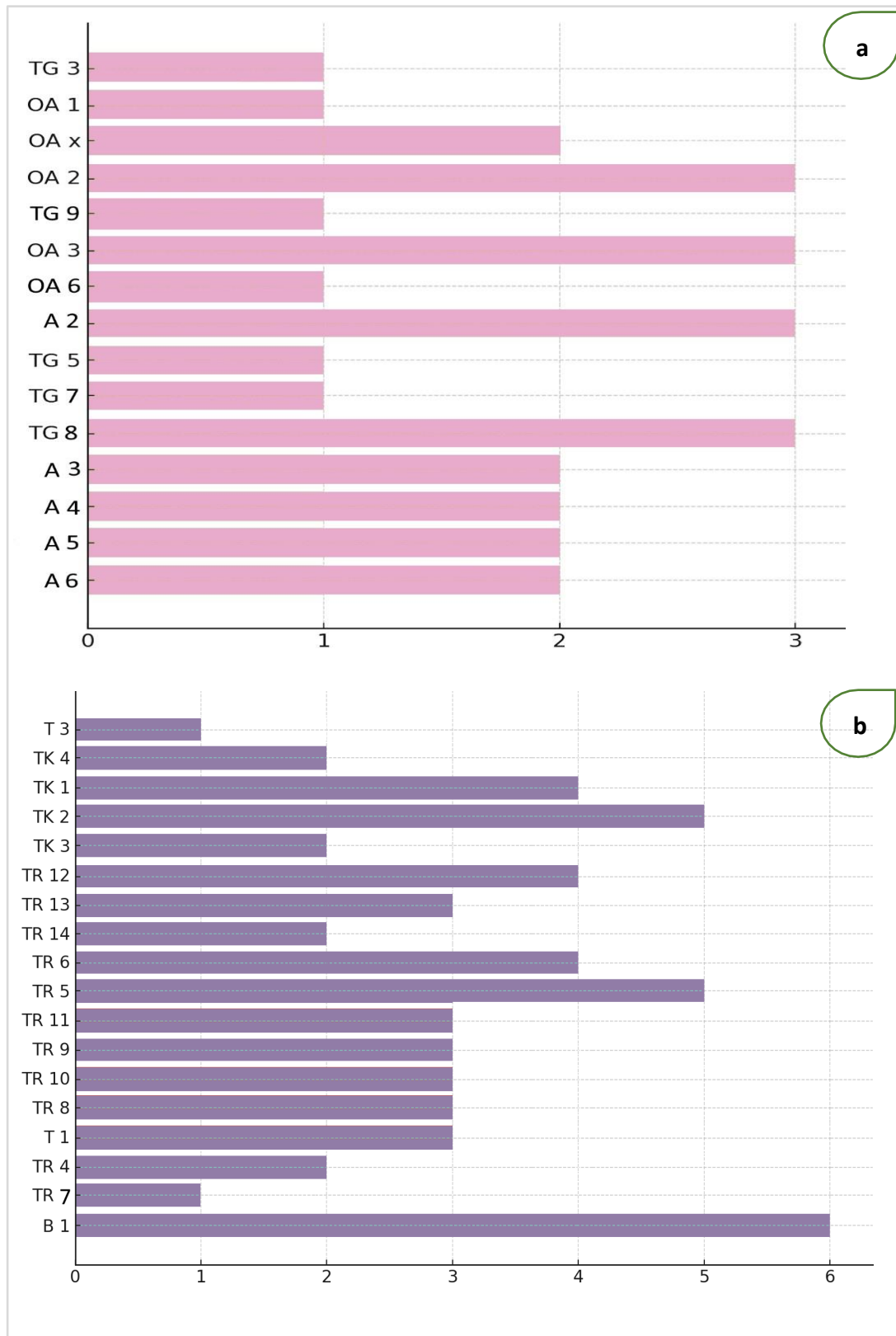


Figure 50. Richesse taxonomique des Odonate de Djurdjura selon l'exposition géographique :
(a) versant Sud ; (b) versant Nord.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

L'analyse de la constance montre que les familles Lestidae, Platycnemididae Coenagrionidae et Libellulidae se distinguent par une faible constance ce qui les classe parmi les taxons accidentels contrairement aux autres familles considérées comme constante (Tableau 20).

Tableau 20. Evaluation de la constance écologique des familles d'Odonates échantillonnées

| Famille | Constance | Catégorie écologique |
|-----------------|-----------|----------------------|
| Calopterygidae | 66 % | Constant |
| Lestidae | 9 % | Accidente (rare) |
| Platycnemididae | 6 % | Accidente (rare) |
| Coenagrionidae | 15,1 % | Accidente (rare) |
| Gomphidae | 57,5 % | Constant |
| Libellulidae | 9 % | Accidente (rare) |
| Aeshnidae | 84,8 % | Constant |

IV229. Répartitions spatiales d'Odonate de Djurdjura

L'analyse croisée entre la carte de localisation des stations d'échantillonnages en fonction de zone de conservation du Parc National du Djurdjura (Figure 51) et le Tableau de distribution spatial des familles (Tableau 21) révèle une large dispersion des taxons sans influence marquée des niveaux de protection définis par classification IUCN.

Tableau 21. Distribution spatiale des familles d'Odonate recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura.

| Famille | Distribution |
|-----------------|---|
| Calopterygidae | B1, TK1, TK2, TK3, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, OA2, OA3, A2, A3, TG5, TG7, TG8, TG9. |
| Lestidae | B1, TR5, TR6, TR12. |
| Platycnemididae | B1, TK1. |
| Coenagrionidae | TK1, TK2, TK4, TG8. |
| Gomphidae | B1, TK2, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, T1, OA2, OA3, OA _x , A2, A4, A5, A6. |
| Libellulidae | B1, TK2, TR5. |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Aeshnidae

B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR5, TR6,
TR8, TR9, TR10, TR11.

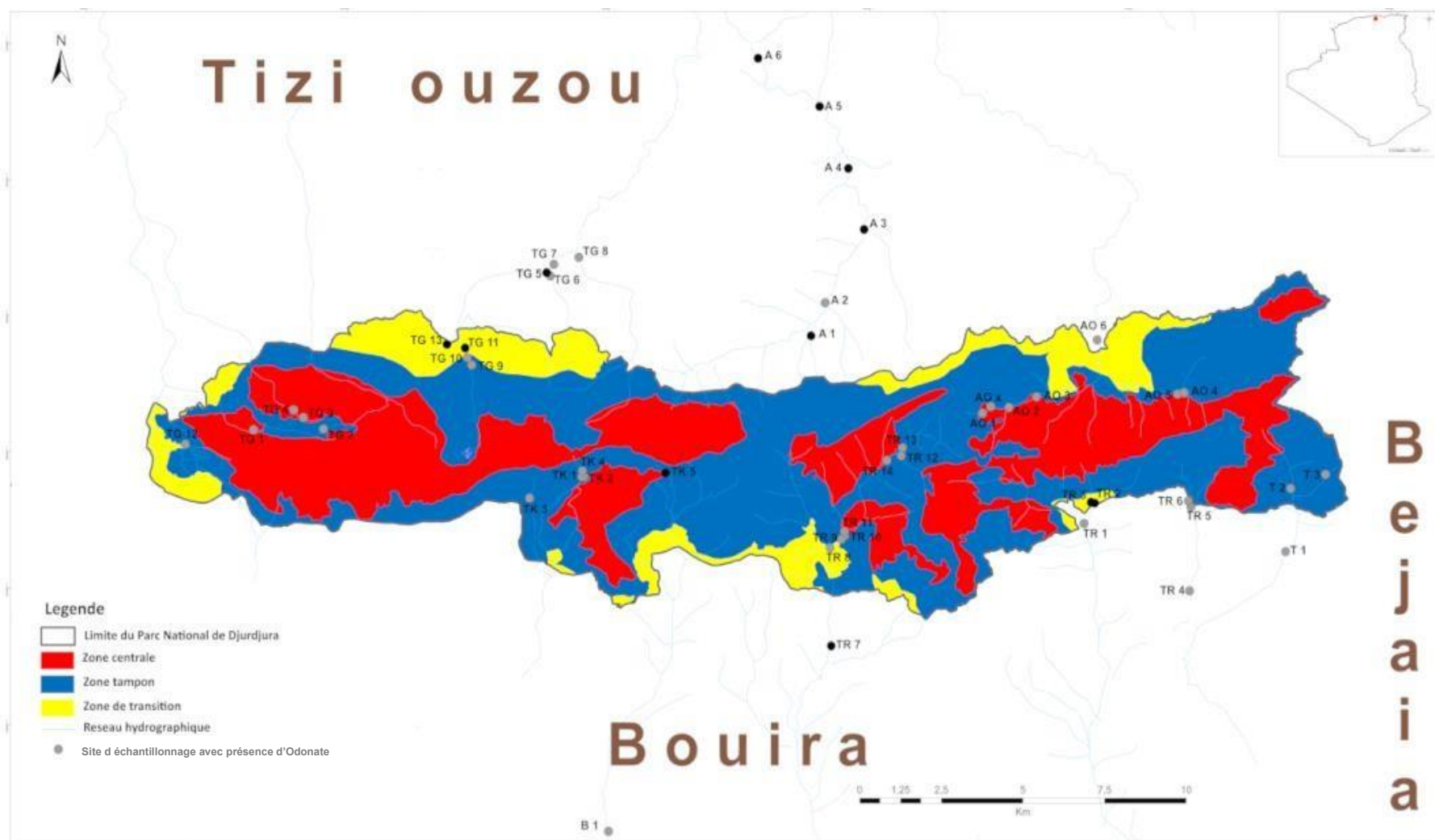


Figure 51. Cartographie de la présence des Odonate de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN.

IV2210. Analyse multivariée des assemblages Plécoptères, Trichoptères et Odonates (P, T, O)

L'analyse NMDS a montré un ajustement satisfaisant avec un stress de 0,127 traduisant une bonne représentation des assemblages de Plécoptère, Trichoptères et Odonates. La forte concordance entre les dissimilarités observées et les stances d'ordination ($R^2 = 0,984$ en ajustement non métrique ; $R = 0,932$ en ajustement linéaire) confirme la robuste de l'analyse (Figure 52).

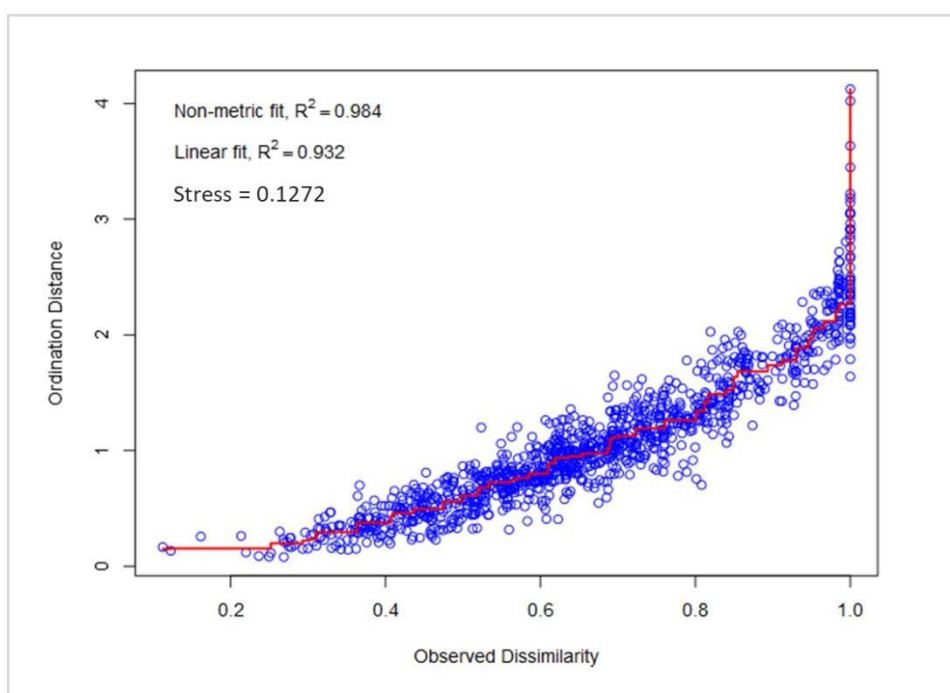


Figure 52. Diagramme de Shepard pour les résultats de l'analyse NMDS

L'ordination NMDS met en évidence une structuration claire des stations selon leur composition faunistique et les gradients environnementaux (Figure 53). Les plécoptères (Nemouridae, Perlidae, Perlodidae, Taeniopterygidae) sont associés à des valeurs élevées d'oxygène dissous et de saturation, mais à de faible niveau de conductivité, de TDS, de résistivité et d'ORP. Cette association est renforcée par la présence de Trichoptères sensibles tels que les Psychomyiidae, qui partagent des exigences écologiques similaires. Confirmant leur affinité pour les eaux fraîches, bien oxygénées et peu minéralisées, comme observé aux stations TK1 et TG3.

A l'inverse, les Trichoptères (Hydropsychidae, Philopotamidae, Limnephilidae, Polycentropodidae, etc.) montrent une corrélation positive avec la conductivité, le TDS, la

Chapitre IV : Résultats et Discussion

résistivité et l'ORP, traduisant une préférence pour les eaux plus minéralisées, souvent influencées par des apports naturels ou anthropiques, comme aux stations T1, stations de TR et OA.

Enfin, les Odonates (Coenagrionidae, Platynemididae, Calopterygidae, Gomphidae...) occupent une position distincte, davantage liés à la profondeur et à la température avec une relation négligeable au pH. Ce regroupement, illustré par les stations B1, T2 et la majorité des stations de A, traduit une tolérance chimique plus large mais une dépendance marquée aux caractéristiques morpho-habitat.

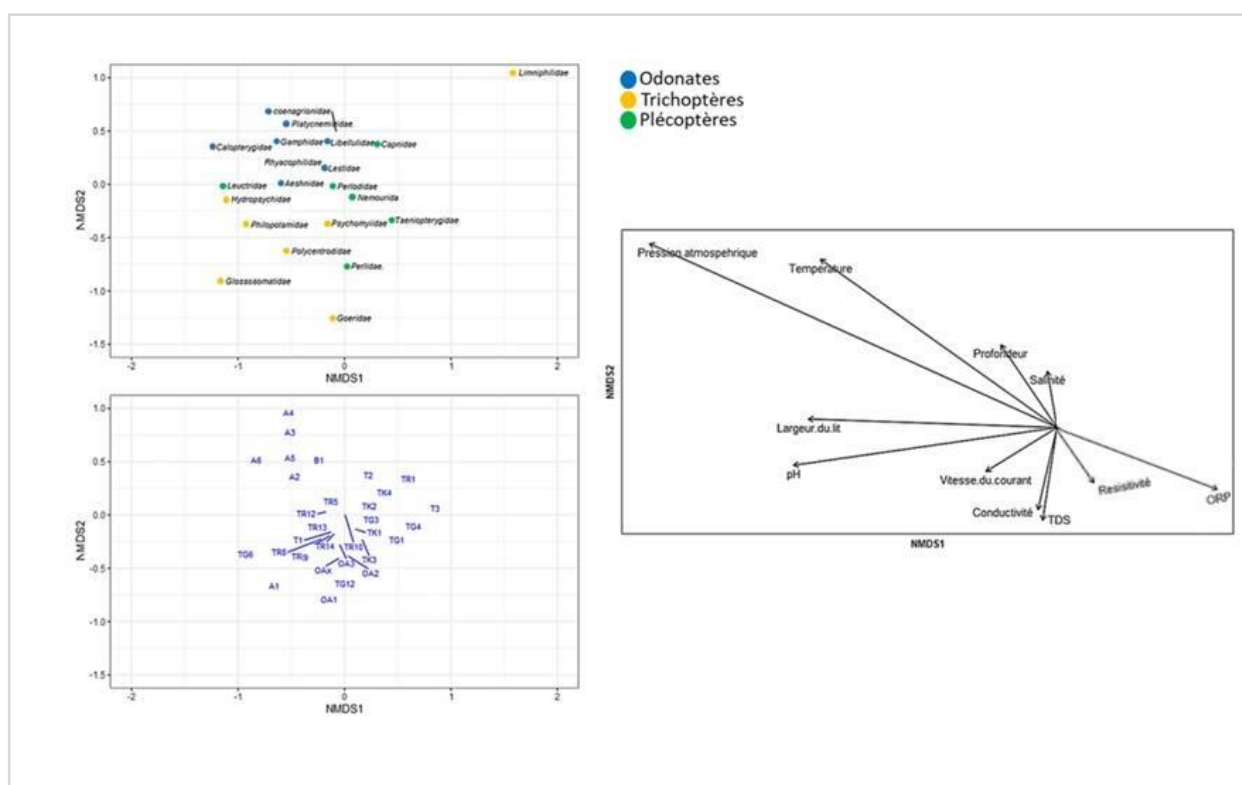


Figure 53. Ordination NMDS des assemblages de Plécoptères, Trichoptères et Odonates en relation avec stations et variable physico-chimiques.

L'analyse de la carte de chaleur (heatmap) de similarité basée sur l'indice de Bray-Curtis, et construite à partir de la composition des communautés d'Ephéméroptère, Plécoptère, Trichoptère et Odonate (EPTO), met en évidence des regroupement nets entre certaines stations, traduisant une forte proximité écologique. La similarité est représentée par une échelle de couleurs allant du bleu (forte similarité) au rouge-orangé (faible similarité) (Figure 54).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Nous avons observé l'existence de deux ensembles principaux. Le premier regroupe un large ensemble de stations (TG9, A1, TG12, TG8, OA6, T3, T2, TG1, TR1, TG4, TG3, OA1, OA_x, TR4, TK4, B1, TR8, TR6, TR12, TR13, TR9, TR11, TR10, TR5, OA3, T1, OA2, TR14, TK1, TK2, TK3) caractérisées par une composition faunistique en EPTO très proche. Cette homogénéité suggère le partage de conditions environnementales similaires et relativement stable.

A l'inverse, un second groupe constitué notamment des stations TG10, OA4, OA5, TG2, TG11, TG13, TK5, TR2, TR7, TG7, A4 et TG5 se distingue nettement du premier ensemble. La prédominance des teintes orange à rouge dans la matrice traduit une faible similarité faunistique, ce qui peut refléter des habitats soumis à des conditions écologiques contrastées ou à un échantillonnage plus sporadique.

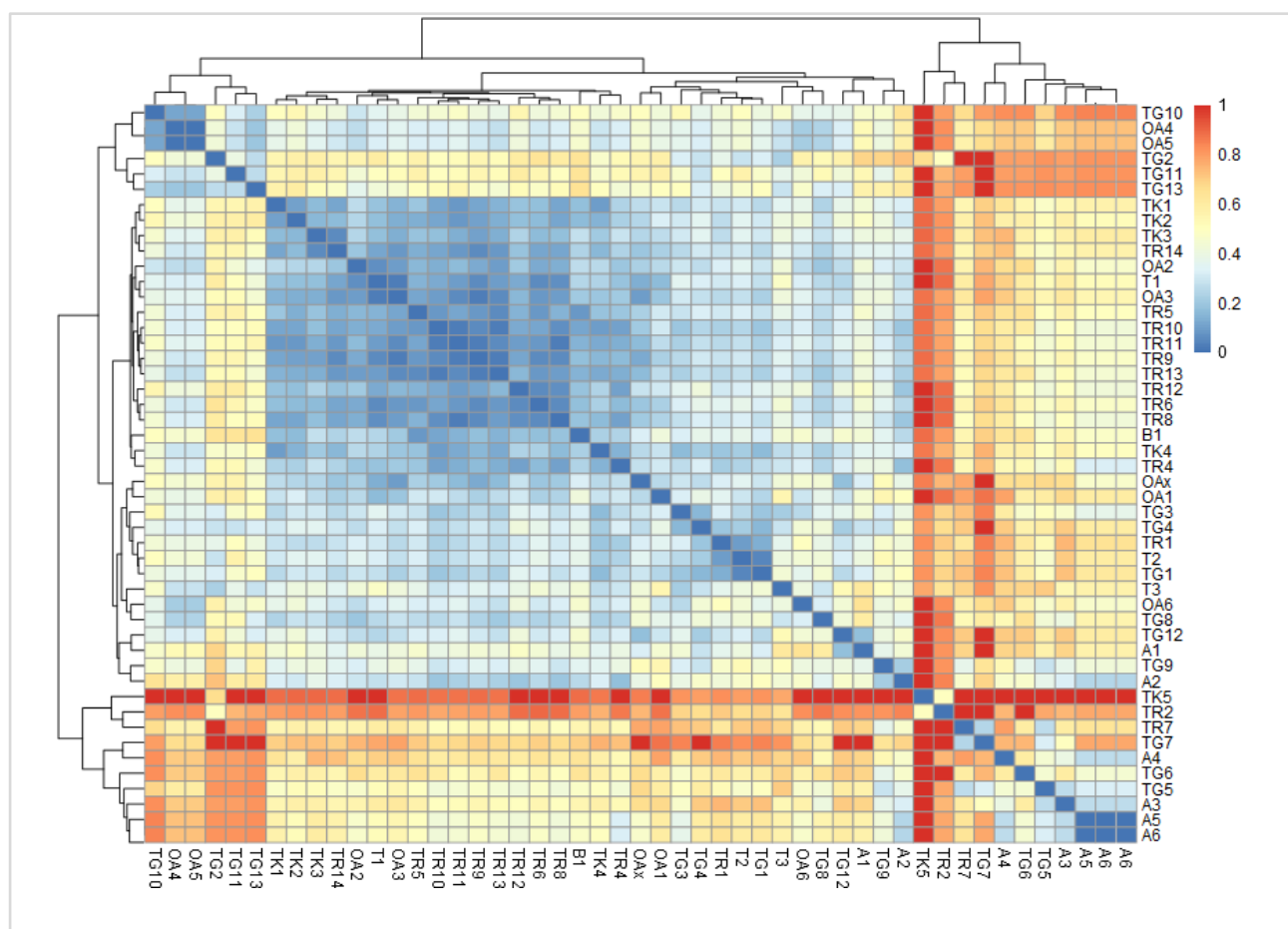


Figure 54. Heatmap de similarité de la composition des macroinvertébrés (EPTO) entre stations d'échantillonnages de Djurdjura.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

L'analyse par test de permutation a révélé des différences significatives dans la composition des communautés d'EPTO en fonction de l'occupation du sol, sous-bassin versant et de l'exposition géographique, avec des valeurs de p respectivement 0,004 et 0,001 pour les deux derniers.

Pour compléter cette analyse une PERMANOVA Pairwise (Figure 55) a été réalisé afin de tester statistiquement l'existence de différences significatives dans la composition des communautés d'EPTO entre les sous bassins versants (TK, TR, T, OA, TG) et assif hammam (A).

Les résultats confirment des différences significatives entre plusieurs stations. Les contrastes plus marqués concernent (TK vs T) et (TK vs OA) avec $p < 0,01$ qui représentent également les valeurs de R^2 les plus élevées. Tandis que d'autres comparaison présente des différences significatives plus modérées ($p < 0,05$). En revanche, certaines paires de stations (TG vs A, TR vs A, TR vs T, TR vs TG) ne montrent pas de différence significative ($p > 0,05$).

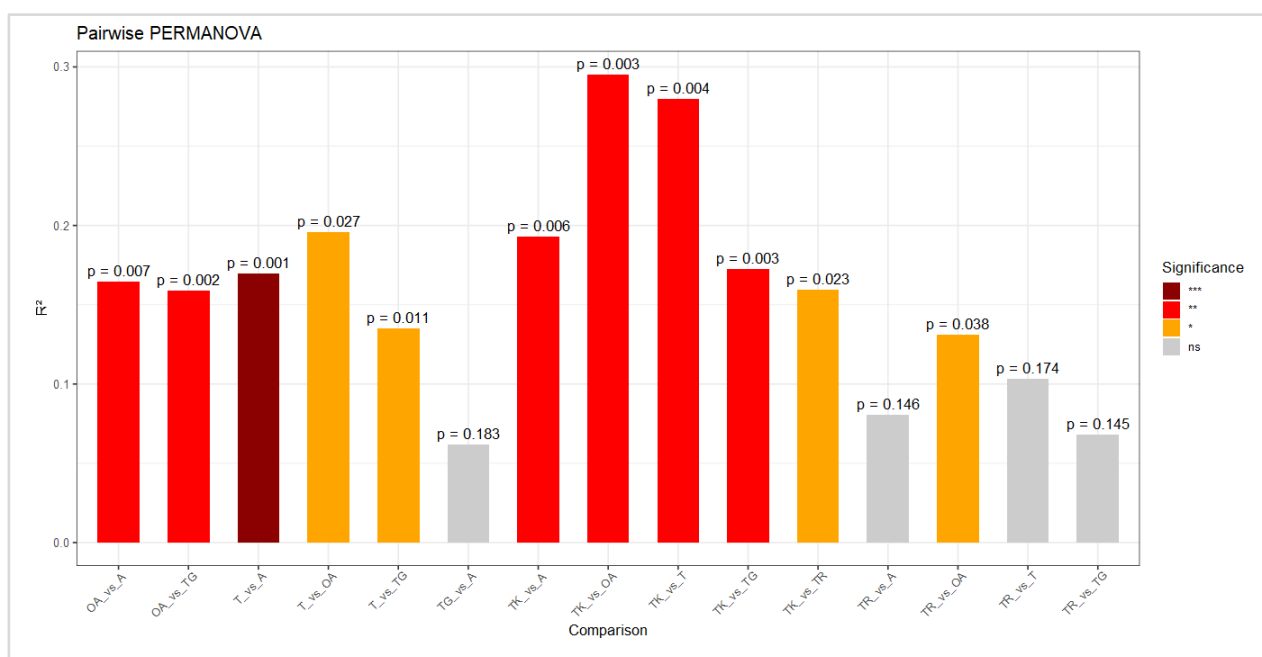


Figure 55. Analyse PERMANOVA des communautés d'EPTO selon les sous bassins versant de Djurdjura.

L'analyse statistique de la PERMANOVA Pairwise montre que l'occupation du sol est un facteur déterminant pour les communautés d'EPTO. Ainsi que l'urbanisation se distingue comme le principal facteur modifiant les communautés d'insectes aquatique (E.P.T.O) avec une

Chapitre IV : Résultats et Discussion

différence nette et hautement significative à p (value) = 0,0005 entre les sites forestiers en bon état écologique et les zones rurales (Figure 56).

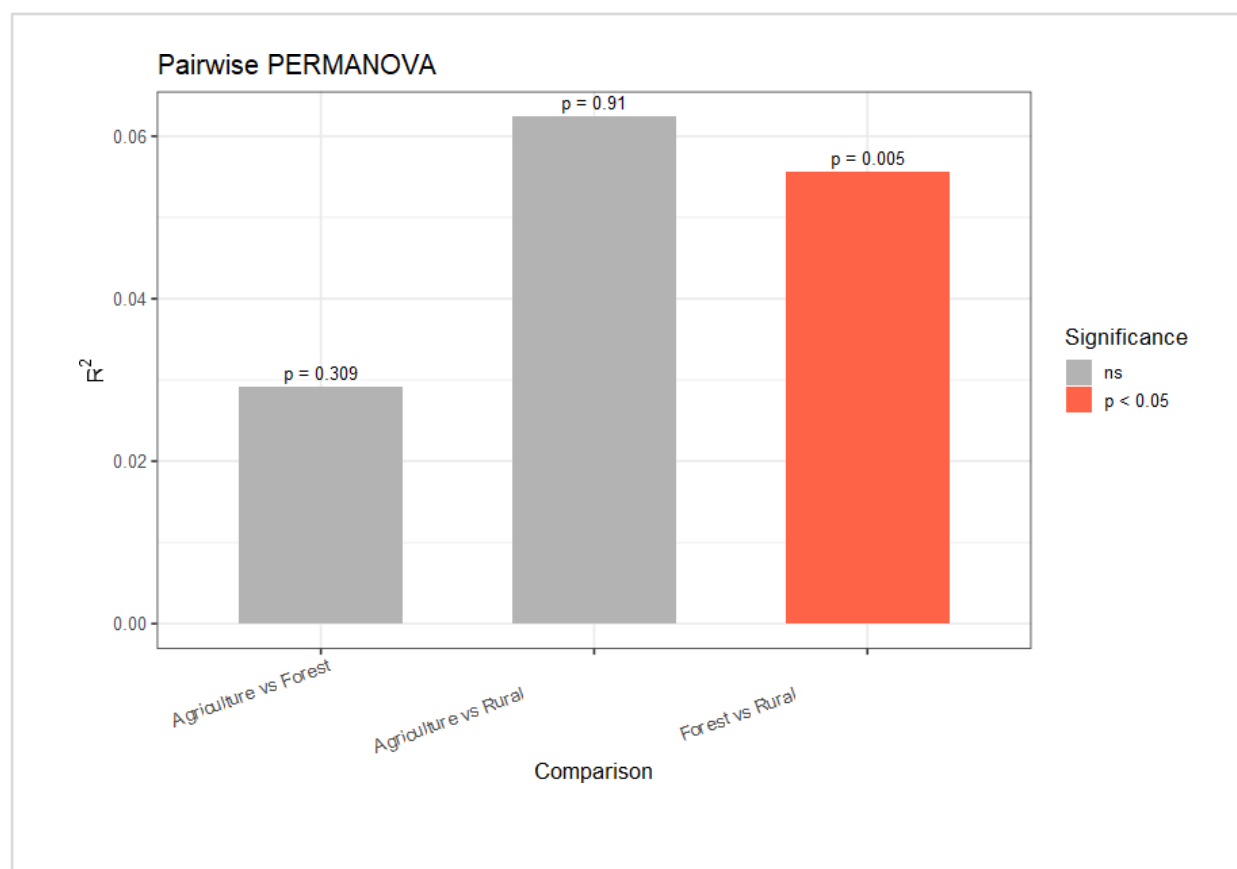


Figure 56. Analyse PERMANOVA des communautés d'EPTO selon l'occupation du sol.

L'exposition géographique du versant Nord/Sud présente également un effet significatif sur la composition des communauté d'EPTO ($p=0,004$)

VI.2.2.11. Structure faunistique et composition taxonomique des Hémiptères aquatiques

Les Hémiptères aquatiques collecté au niveau des station sélectionnée de Djurdjura ont montré des variations indicatives dans l'abondance relative des différentes familles. Les Gerridae avec 29,4 % et les Notonectidae 21,8 % représente à elle deux plus de la moitié de l'effectif total des individus échantillonnés. Corixidae (16,4 %) et Veliidae (13,7 %) montre également une bonne présentation à l'opposé des Hydrometridae (8,7 %), Mesoveliidae (5,5 %) et Nepidae à 4,6 % affichent une présence d'abondance relative modeste (Figure57).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

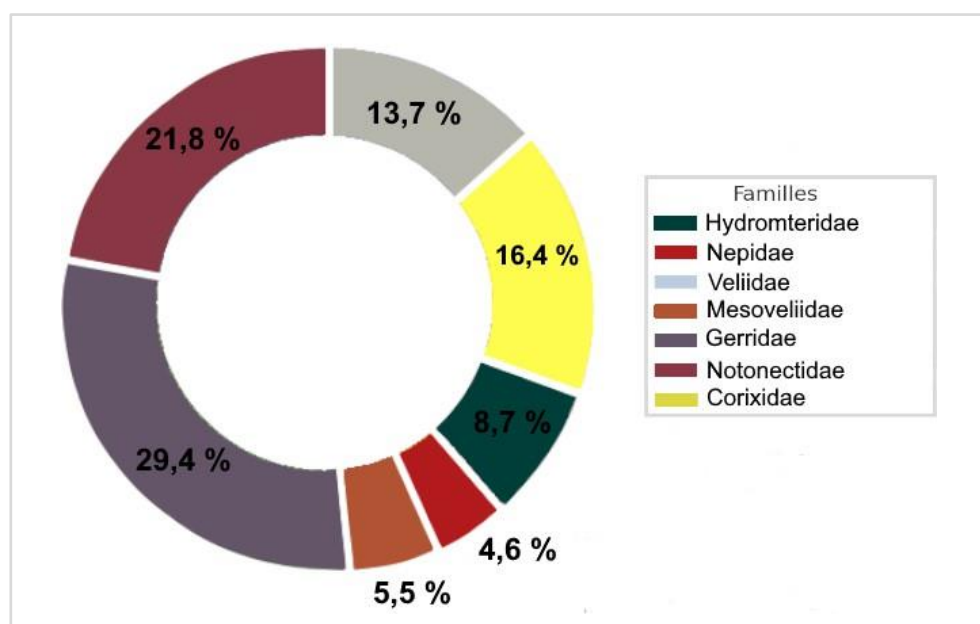


Figure 57. Abondance relative des familles des Hémiptères du Djurdjura.

A l'échelle des familles, les Gerridae et Corixidae dominent nettement avec des valeurs maximales dépassant 60 individus en particulier dans les stations TK2, B1 et OA2 respectivement. Les Notonectidae présentent également des effectifs élevés et une distribution importante. En revanche, les Nepidae marquent une présentation plus faible et apparaisse de manière sporadique selon les sites (Figure 58).

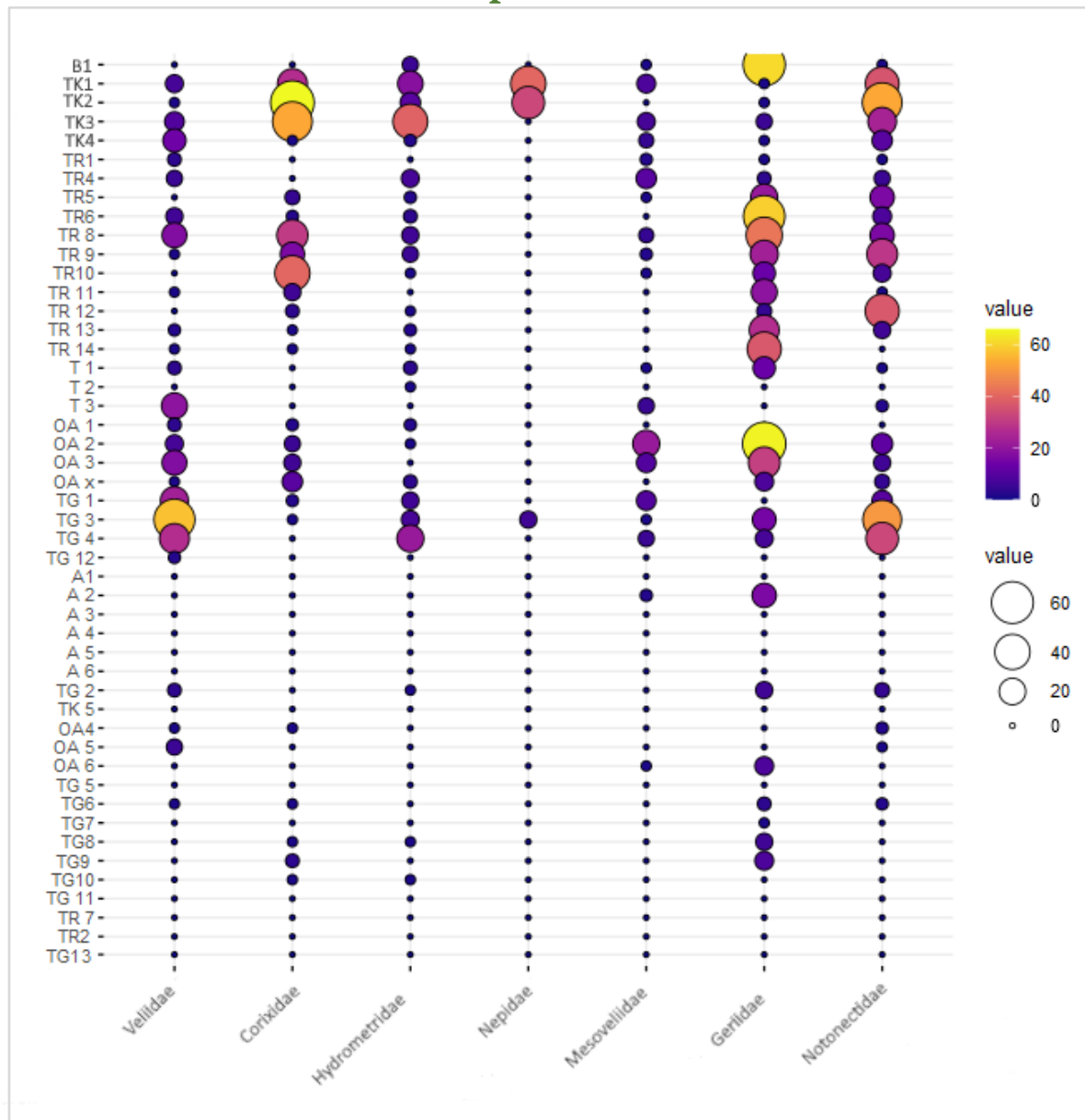


Figure 58. Variabilité stationnelle de l'abondance des Hémiptères aquatiques au niveau de famille.

La richesse taxonomique des Hémiptères est bien représentée dans 37 sites sur l'ensemble des stations échantillonnées dans les deux versants du Djurdjura. L'histogramme (Figure 59 a et b) montre que, dans les deux exposition Nord et Sud, la richesse maximale atteint 7 familles relève respectivement aux stations TG3 et TK1. Le versant Sud présente une distribution plus homogène avec de nombreuses stations affichent des valeurs intermédiaires élevé (4 à 6 familles). En revanche, le versant Nord se caractérise par une distribution plus contrastée, alternant entre des stations riches en familles (5 à 7) et d'autre nettement plus pauvres (1 à 2), indiquant une diversité plus hétérogène



Figure 59. Richesse taxonomique des Hémiptères aquatique de Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord ; (b) versant Sud

L'analyse de la constance écologique des familles d'Hémiptères (Tableau 22) montre que six de sept familles recensées présentent une Constance supérieure à 50 %, En revanche, les Nepidae ont été classé comme taxon accidentelles au Djurdjura, soit en constance de 5,6 %.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Tableau 22. Evaluation de la constance écologique des familles d'Hémiptères échantillonnées

| Famille | Constance (%) | Catégorie |
|---------------|---------------|---------------------|
| Veliidae | 75,6 | Constante |
| Corixidae | 70,3 | Constante |
| Hydrometridae | 67,6 | Constante |
| Nepidae | 5,4 | Accidentelle / Rare |
| Mesoveliidae | 54,1 | Constante |
| Gerridae | 78,4 | Constante |
| Notonectidae | 75,7 | Constante |

IV2212 Répartitions spatiales des Hémiptères du Djurdjura

L'analyse de la carte de la distribution des familles en fonction des zones de protection d'IUCN en PND (Figure 60) montre à l'aide de tableau de la distribution des familles dans les différents station (Tableau 23) que la répartition est relativement homogène de la plupart des familles entre les zones centrale, Tampon et de transition avec différents niveaux de protection. Seuls les Nepidae très localisées, leur présence étant exclusivement limitée à la zone centrale.

Tableau 23. Distribution spatiale des familles de Hémiptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura.

| Famille | Distribution |
|-----------------|---|
| Veliidae | TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR6, TR8, TR9, TR11, TR13, TR14, T1, T3, OA1, OA2, OA3, OA4, OA5, OAx, TG1, TG2, TG3, TG4, TG6, TG12. |
| Corixida | TK1, TK2, TK3, TK4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, OA1, OA2, OA3, OA4, OAx, TG1, TG3, TG6, TG8, TG9, TG10. |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|----------------------|---|
| Hydromteridae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR12, TR13, TR14, T1, T2, OA1, OA2, OAx, TG1, TG2, TG3, TG4, TG8, TG10. |
| Nepidae | TK1, TG3. |
| Mesoveliidae | B1, TK1, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR8, TR9, TR10, T1, T3, OA2, OA3, TG1, TG3, TG4, A2, OA6. |
| Gerridae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR12, TR13, TR14, T1, OA2, OA3, OAx, TG2, TG3, TG4, TG6, TG7, TG8, TG9, A2. |
| Notonectidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, T1, T3, OA2, OA3, OA4, OA5, OAx, TG1, TG2, TG3, TG4, TG6. |

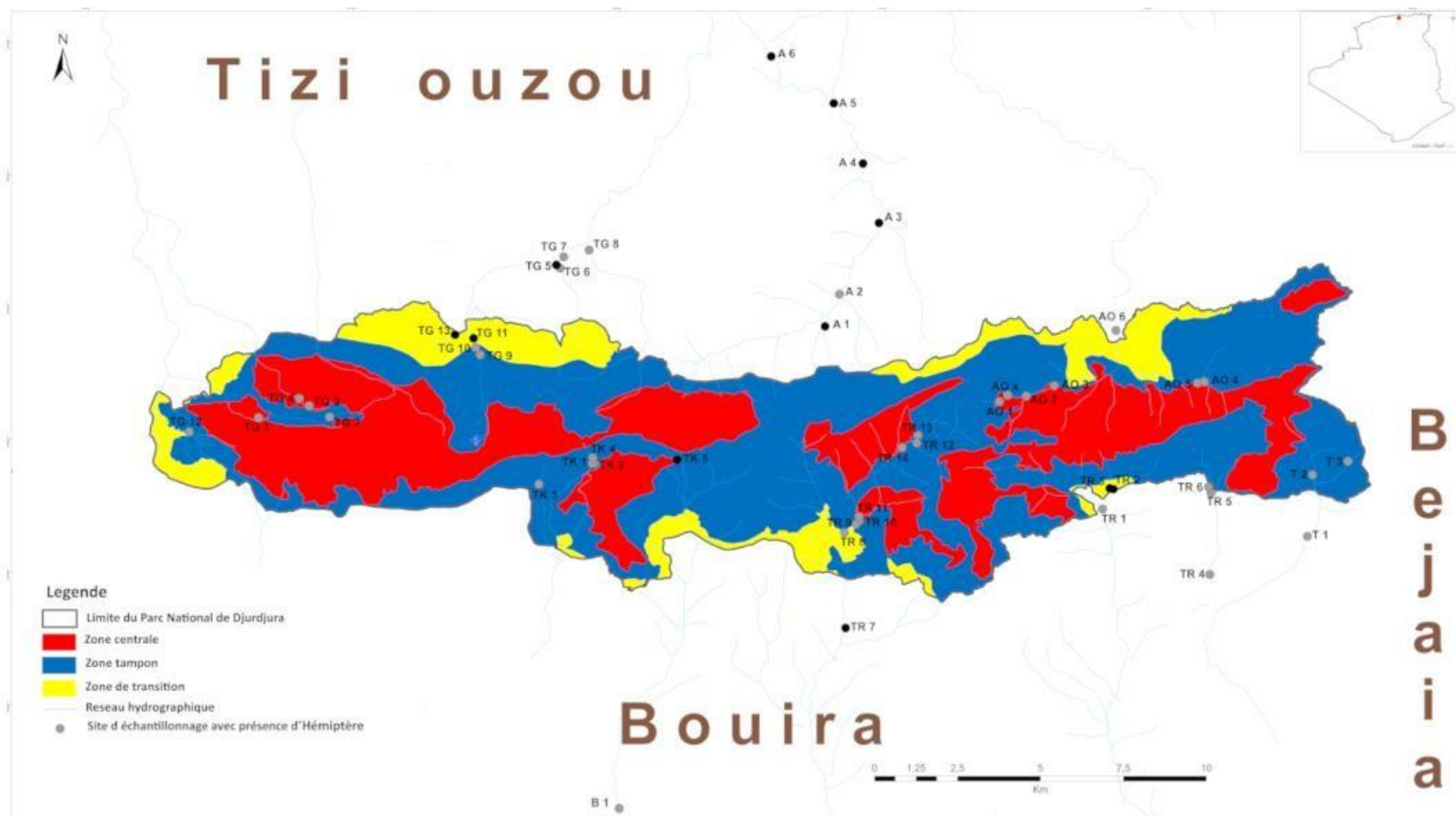


Figure 60. Cartographie de la présence des Hémiptères aquatiques de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN.

IV2213. Structure faunistique et composition taxonomique des Coléoptères

L'analyse des Coléoptères aquatiques de Djurdjura illustre une répartition relative des familles (Figure 61). Une forte dominance de la familles Dytiscidae est observé représente plus de 50 % de la populations prélevé des Coléoptères, suivi par les Dryopidae à 13 %, Hydrophilidae avec 10,7 %. Les autres familles telles que les Helophoridae, Gyrinidae, Noteridae, Hydroscaphidae, Curculionidae et Chrysomelidae sont faiblement représentées avec des abondances relatives inférieure à 2 %.

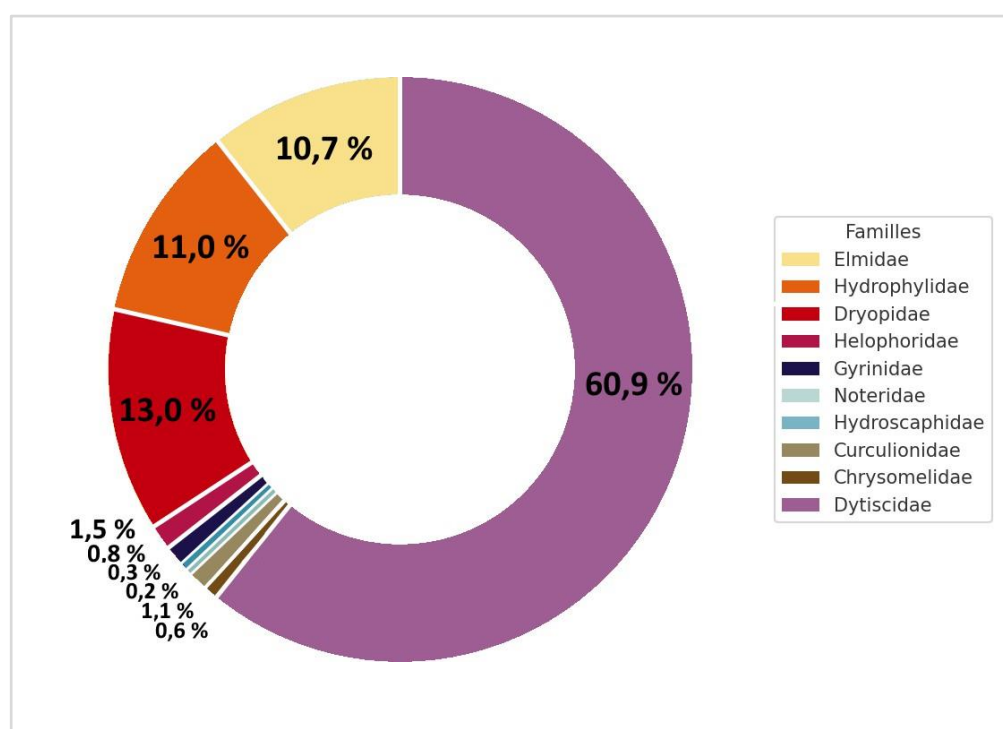


Figure 61. Abondance relative des familles de Coléoptère de Djurdjura.

Chez les Coléoptères aquatique, les Dytiscidae dominant nettement l'assemblage, avec des abondantes avec des abondances particulièrement élevées dans plusieurs stations (TK1 TK2 TK3 TR8, T3 et TG1). Les Elmidae et les Hydrophilidae apparaissent également de façon régulière, mais avec des valeurs nettement plus modestes. En revanche, les Dryopidae restent globalement marginales sauf dans la station TK1 ou leurs effectifs atteignent un pic remarquable de plus de 100 individus (Figure 62).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

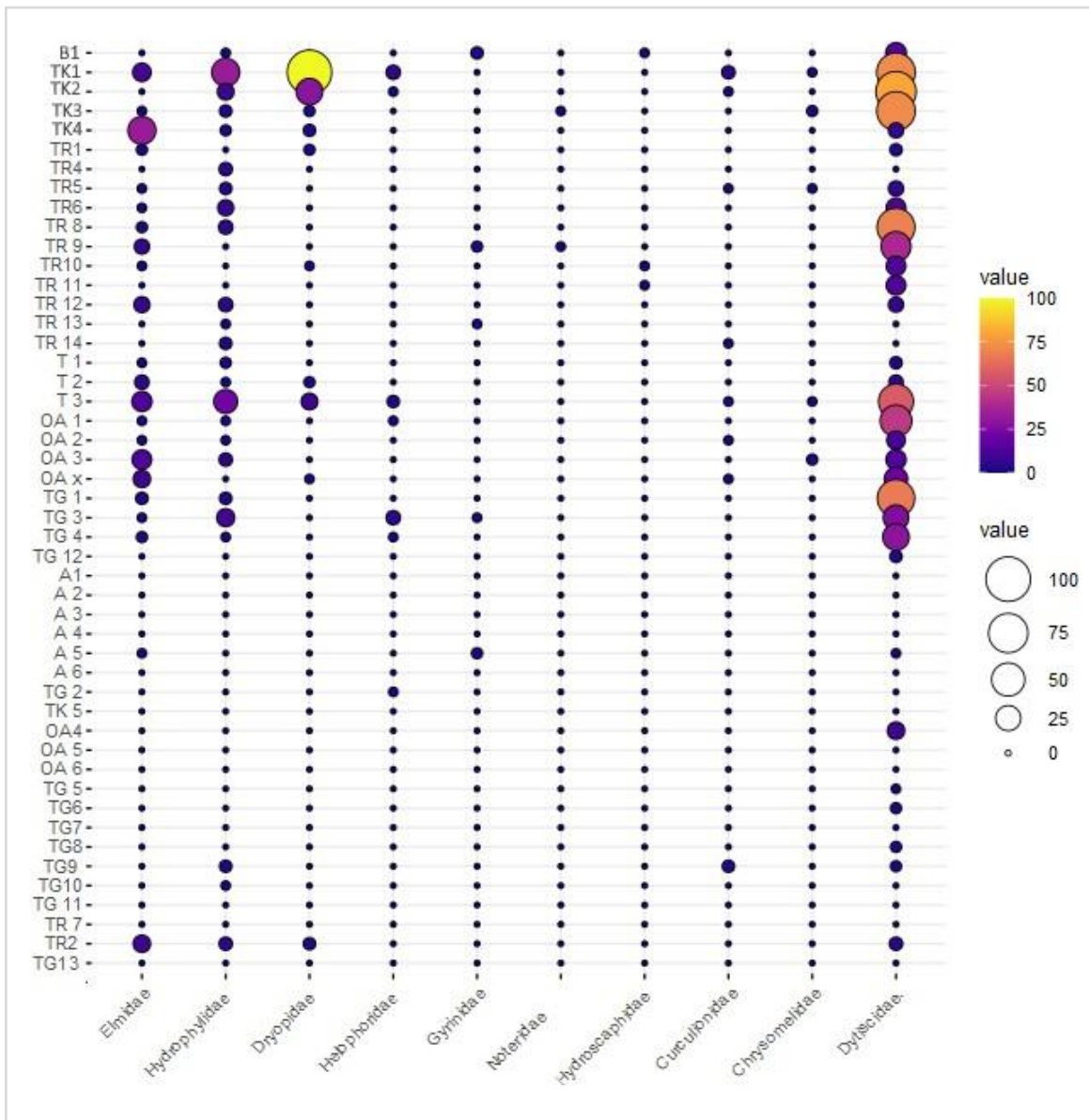


Figure 62. Variabilité stationnelle de l'abondance des Coléoptères au niveau de famille.

Les histogrammes de richesse taxonomique (Figure 63) mettent en évidence une hétérogénéité marquée dans la composition des communautés de Coléoptère entre les deux versants étudiés. Nous avons constaté que les stations à forte richesse sont principalement localisées sur le versant sud de Djurdjura avec 7 familles recensé au site T3, TK1. Du côté Nord, la station TG3 présentent également une richesse notable (5 familles). La majorité des autres stations sur les deux versant, affiche des niveaux de richesse modéré compris entre 3 et 4 familles. En revanche, les stations à faibles richesse, limité a une seule famille, sont proportionnellement plus fréquente sur versant Nord alors que le versant sud ne compte qu'une seule station appauvrie (TR4)

Chapitre IV : Résultats et Discussion

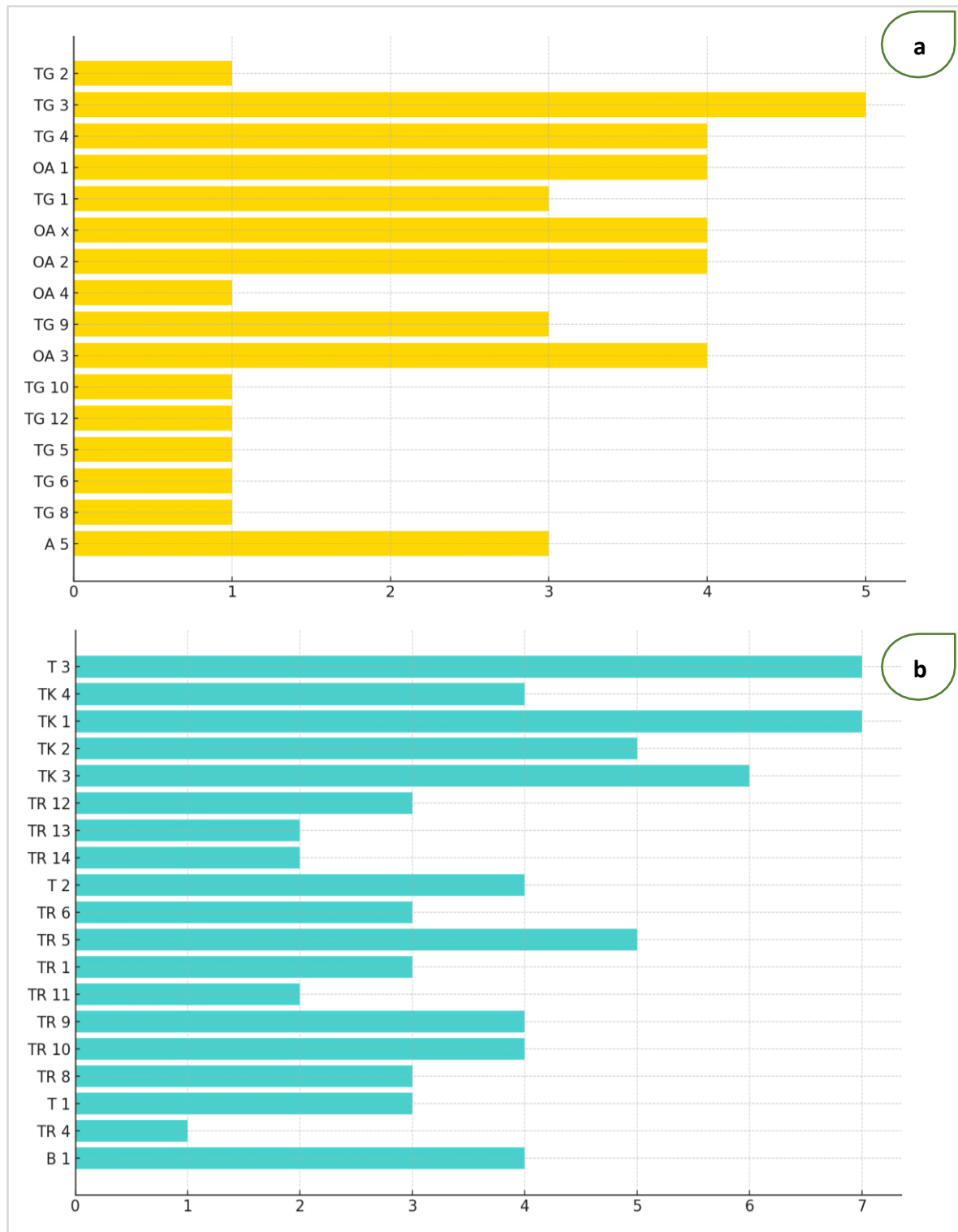


Figure 63. Richesse taxonomique des Coléoptères aquatique de Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord ; (b) versant Sud.

La constance écologique des familles de Coléoptères aquatiques permet de distinguer trois grandes catégories. Trois familles se démarquent par une forte constance : les Dytiscidae (72,2 %), les Hydrophilidae (66,6 %) et les Elmidae (61,1 %), ce qui les classe parmi les espèces constantes. La famille des Dryopidae (27,8 %) est quant à elle considérée comme une espèce

Chapitre IV : Résultats et Discussion

accessoire, en raison de sa présence modérée dans les stations échantillonnées. Les autres familles, à savoir les Helophoridae (19,4 %), Gyrinidae (13,9 %), Noteridae (5,6 %), Hydroscaphidae (8,33 %), Curculionidae (22,2 %) et Chrysomelidae (11,1 %), présentent de faibles valeurs de constance. Elles sont classées parmi les espèces accidentelles (Tableau 24).

Tableau 24. Evaluation de la constance écologique des familles des Coléoptères échantillonnées

| Famille | Constance (%) | Catégorie |
|----------------|---------------|---------------------|
| Elmidae | 61.1 | Constante |
| Hydrophilidae | 66.6 | Constante |
| Dryopidae | 27.8 | Accessoire |
| helophoridae | 19.4 | Accidentelle / Rare |
| Gyrinidae | 13.9 | Accidentelle / Rare |
| Noteridae | 5.6 | Accidentelle / Rare |
| Hydroscaphidae | 8.33 | Accidentelle / Rare |
| Curculionidae | 22.2 | Accidentelle / Rare |
| Chrysomelidae | 11.1 | Accidentelle / Rare |
| Dytiscidae | 72.2 | Constante |

IV2214. Répartitions spatiales des Coléoptères aquatiques du Djurdjura

L'analyse de la répartition des différentes familles de Coléoptère dans le parc National du Djurdjura (Tableau 25), en lien avec les zonages de gestion définis selon les critères de l'IUCN (Figure 64), met en évidence une influence significative de ces zonages sur la distribution des familles. Les zones trompons apparaissent comme de véritables hotspots de diversité, abritant un grand nombre de famille telles que les Elmidae, Hydrophilidae, Dryopidae et Noteridae. La zone centrale généralement inféodées à des familles plus exigeant comme les Helophoridae. En revanche, les zones de transition, plus anthropisées présentent une diversité taxonomique plus faible.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Tableau 25. Distribution spatiale des familles de Coléoptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura.

| Famille | Distribution |
|-----------------------|---|
| Elmidae | TK1, TK3, TK4, TR1, TR2, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR12, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OA _x , TG1, TG3, TG4, A5. |
| Hydrophilidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR2, TR4, TR5, TR6, TR8, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, TG1, TG3, TG4, TG9, TG10. |
| Dryopidae | TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR2, TR10, T2, T3, OA _x . |
| Helophoridae | TK1, TK2, T3, OA1, TG3, TG2, TG4. |
| Gyrinidae | B1, TR9, TR13, TG3, A5. |
| Noteridae | TK3, TR9. |
| Hydroscaphidae | B1, TR10, TR11. |
| Curculionidae | TK1, TK2, TR5, TR14, T3, OA2, OA _x , TG9. |
| Chrysomelidae | TK1, TK3, TR5, T3. |
| Dytiscidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR2, TR5, TR6, TR8, TR12, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OA4, TG1, TG3, TG4, TG5, TG6, TG8, TG9, TG12. |

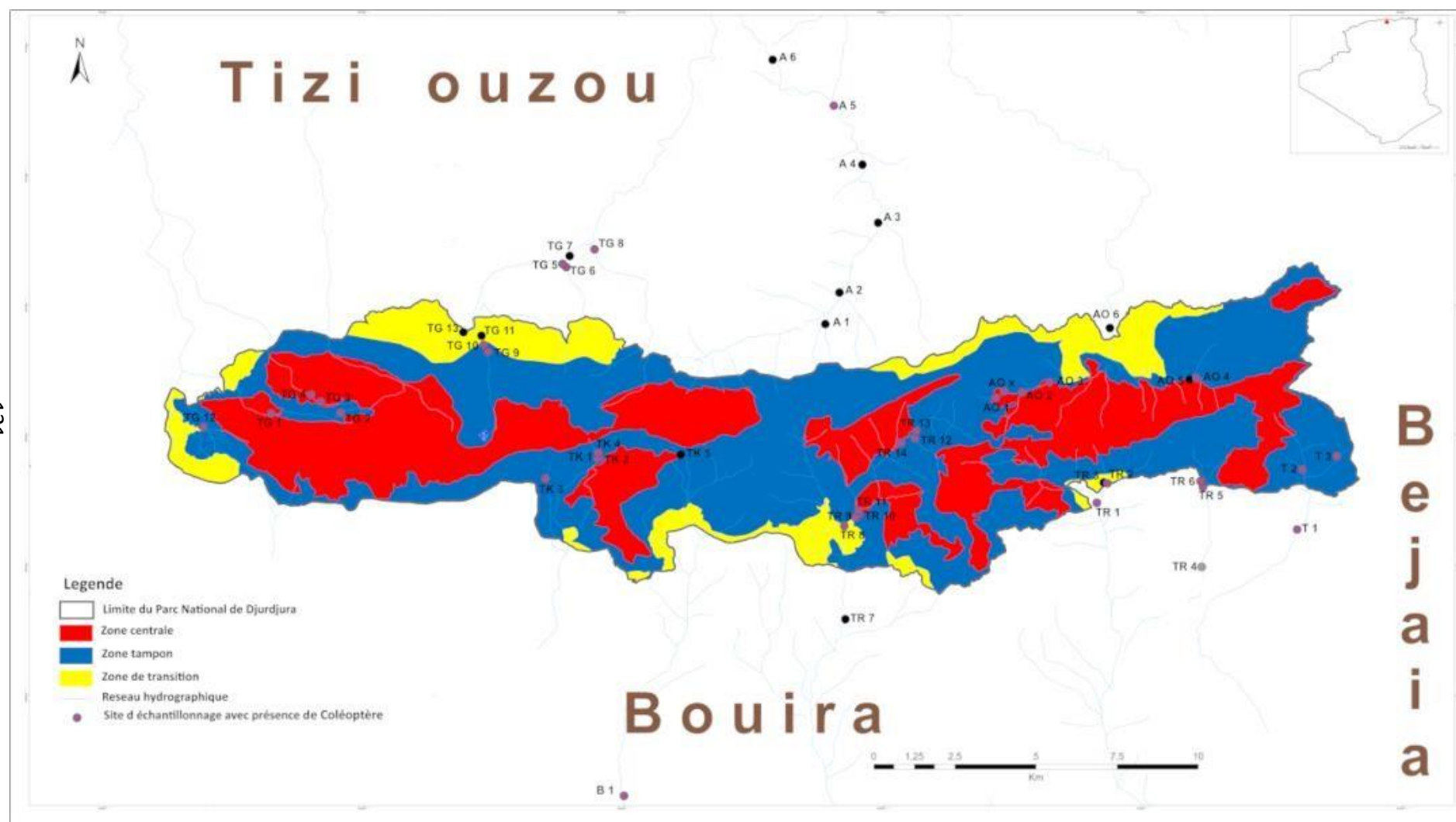


Figure 64. Cartographie de la présence des Coléoptères aquatiques de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN.

IV2215. Structure faunistique et composition taxonomique des Diptères aquatiques

L'analyse de la composition des Diptères montre une forte dominance de certaines familles au sein de la communauté collectée. Les Simuliidae représentent à eux seuls 43,2 %, suivis par les Chironomidae avec 24,5 %, ces deux familles constituent près de 68 % de l'abondance relative total des larves des Diptères. Les Empididae (7,9 %), Limoniidae (7,4 %) et Tipulidae (5,1 %) occupent également une place significative. En revanche, les autres familles identifiées, telles que les Stratiomyidae, Dixidae, Tabanidae ou encore les Culicidae, présentent des abondances très faibles inférieures à 3% (Figure 65).

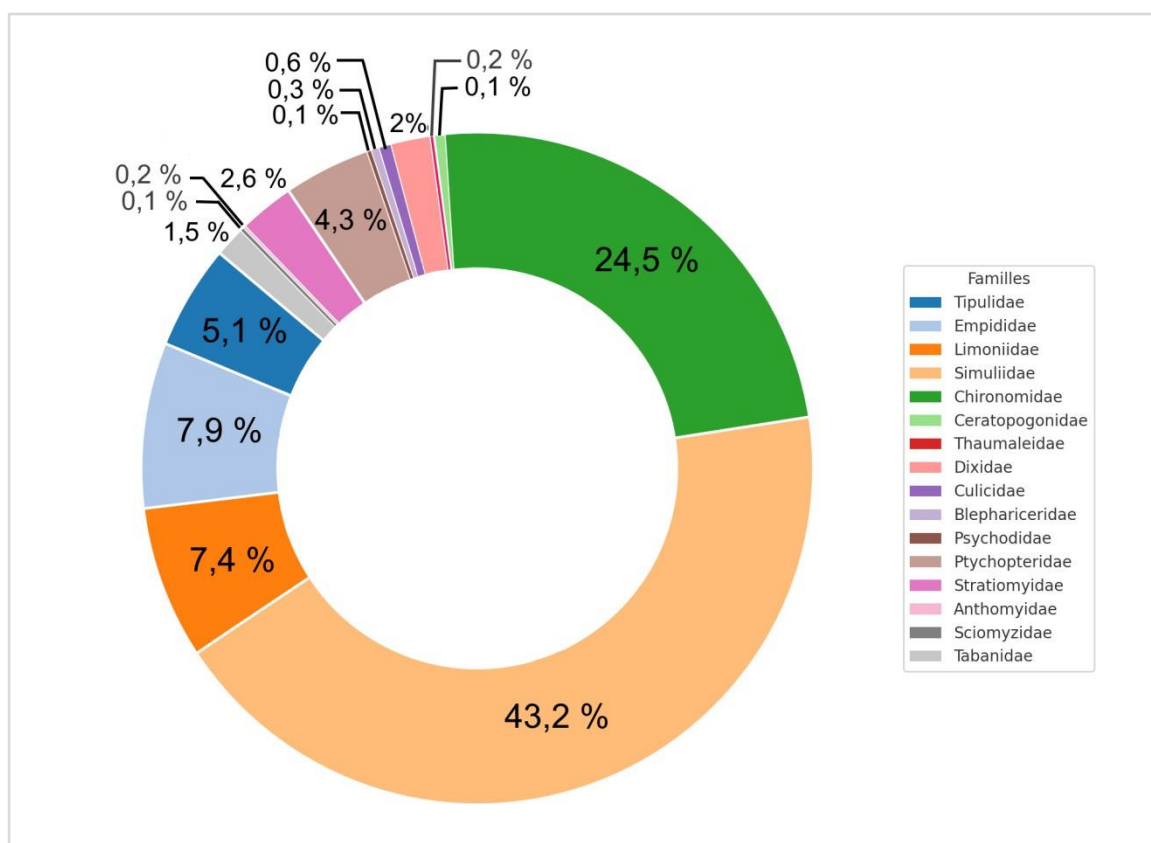


Figure 65. Abondance relative des familles de Diptères du Djurdjura.

Les communautés de Diptères sont largement dominées par les Simuliidae et les Chironomidae, dont les effectifs atteignent des valeurs maximales dans plusieurs stations, en

Chapitre IV : Résultats et Discussion

particulier TK1, TK2, TK3, TR5 et A3 d'autre famille comme les Tipulidae, Empididae et Limoniidae ne sont représentées que par de faibles abondances, souvent limitées à quelques stations. Certaines familles comme Ptychopteridae, Stratiomyidae ou Tabanidae sont très peu fréquentes et ne se manifestent que ponctuellement par de faibles effectifs (Figure 66).

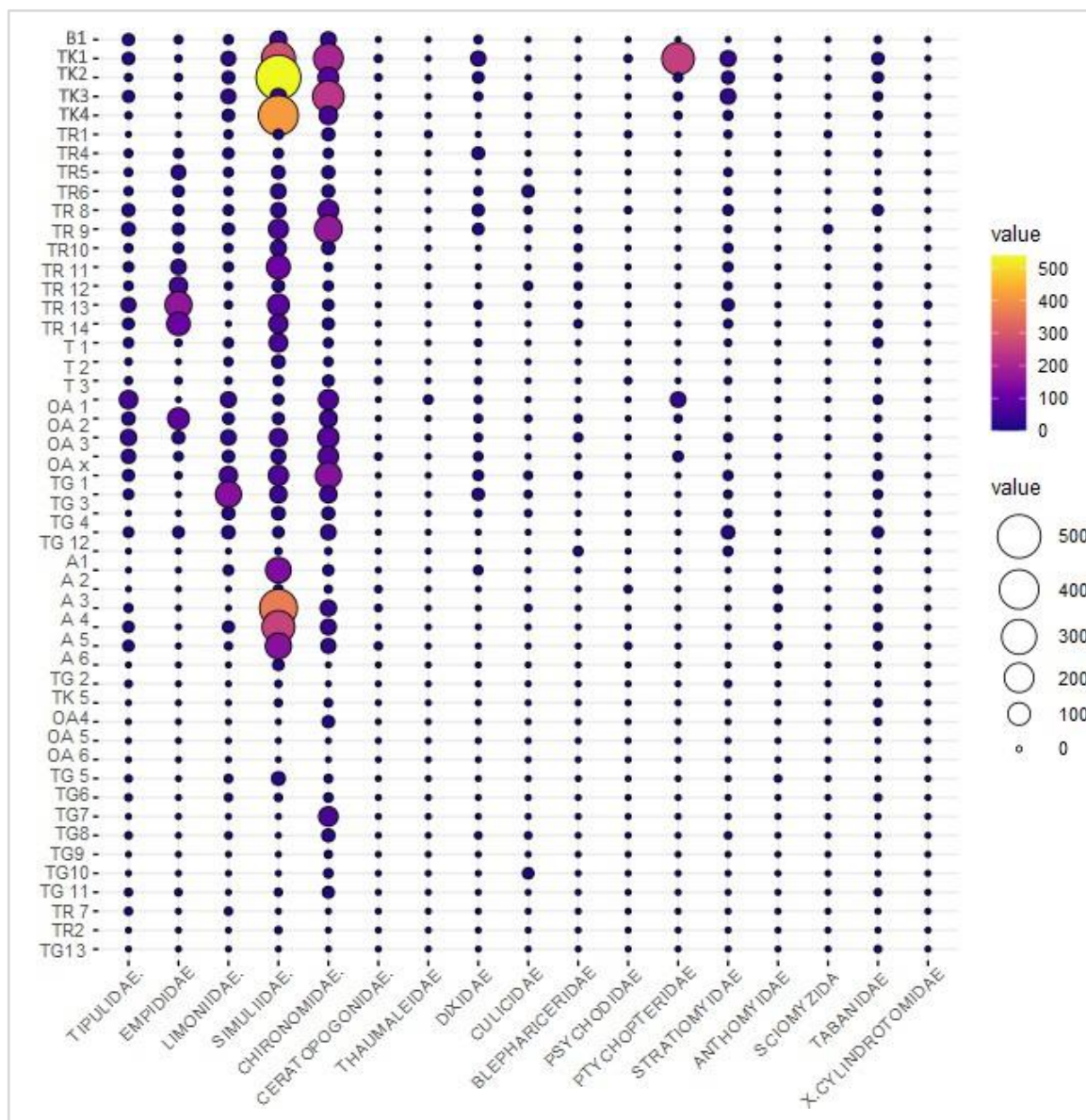
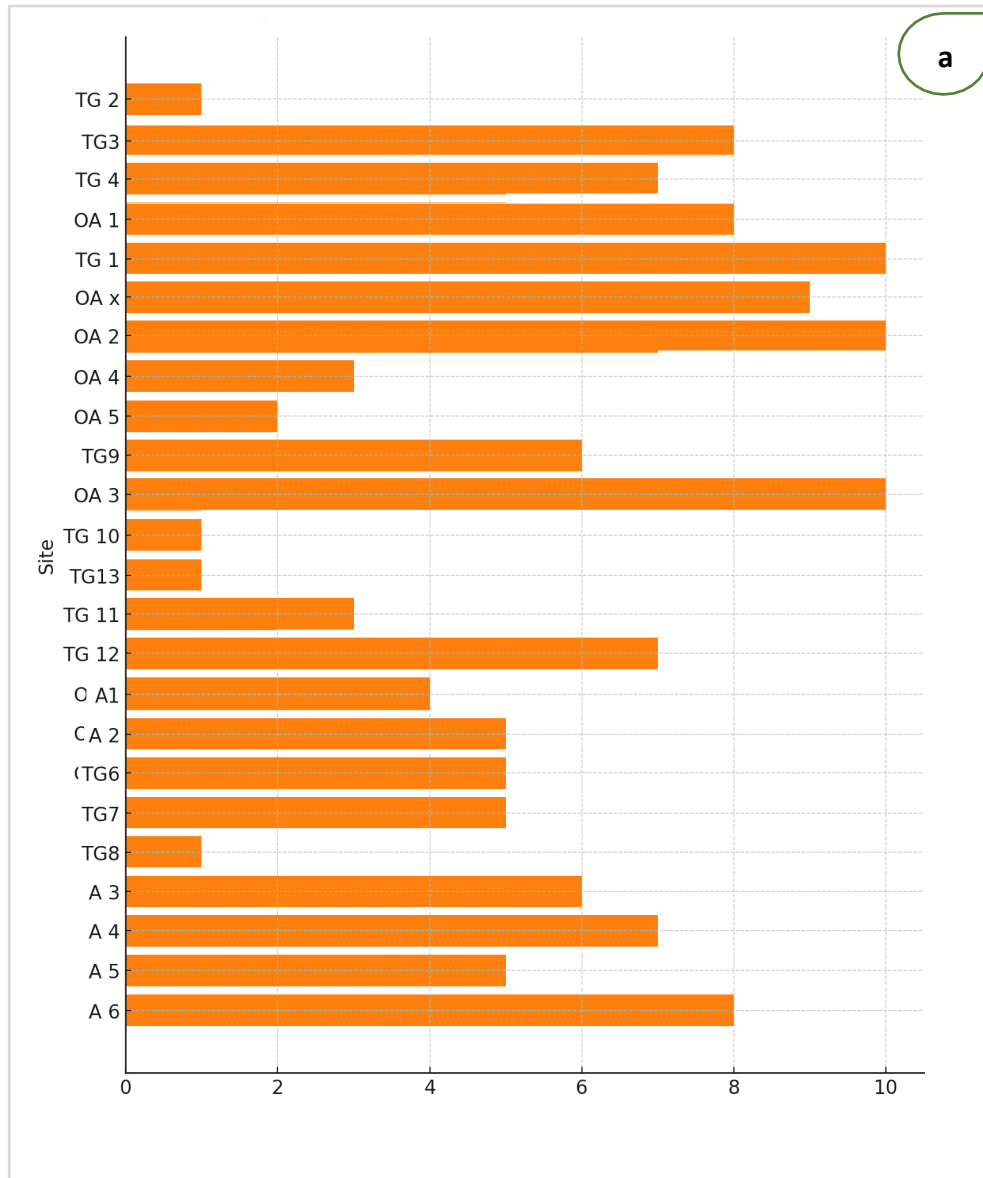


Figure 66. Variabilité stationnelle de l'abondance des Diptères au niveau de famille.

Les histogrammes de richesse taxonomique des Diptères (Figure 67) illustrent des variations importantes entre les deux versant du Djurdjura. Sur le versant Sud, la richesse spécifique s'avère globalement plus élevée, avec plusieurs stations (TK1, TK2, TR9 et TR8) dépassant 10 taxons arrive à 12 taxons au niveau de la stations TK1, traduisant une complexité structurale et une diversité écologique significatives. D'autre stations du sud, comme TR14, TR10, TR12, TR5 et TR7 présentent en revanche une richesse plus modeste, comprise entre 4 et

Chapitre IV : Résultats et Discussion

8 taxons, tandis que la stations moins diversifiée (TR2) ne comptent que 2 familles de Diptère. A l'opposé, le versant Nord présente une richesse taxonomique généralement plus modéré, limité a 10 taxons (TG1, OA3 et OA2). D'autre stations nordique TG8, TG10, TG13, TG2 et OAx affichent des niveaux de richesse tres faibles ne dépasse pas 2 taxons.



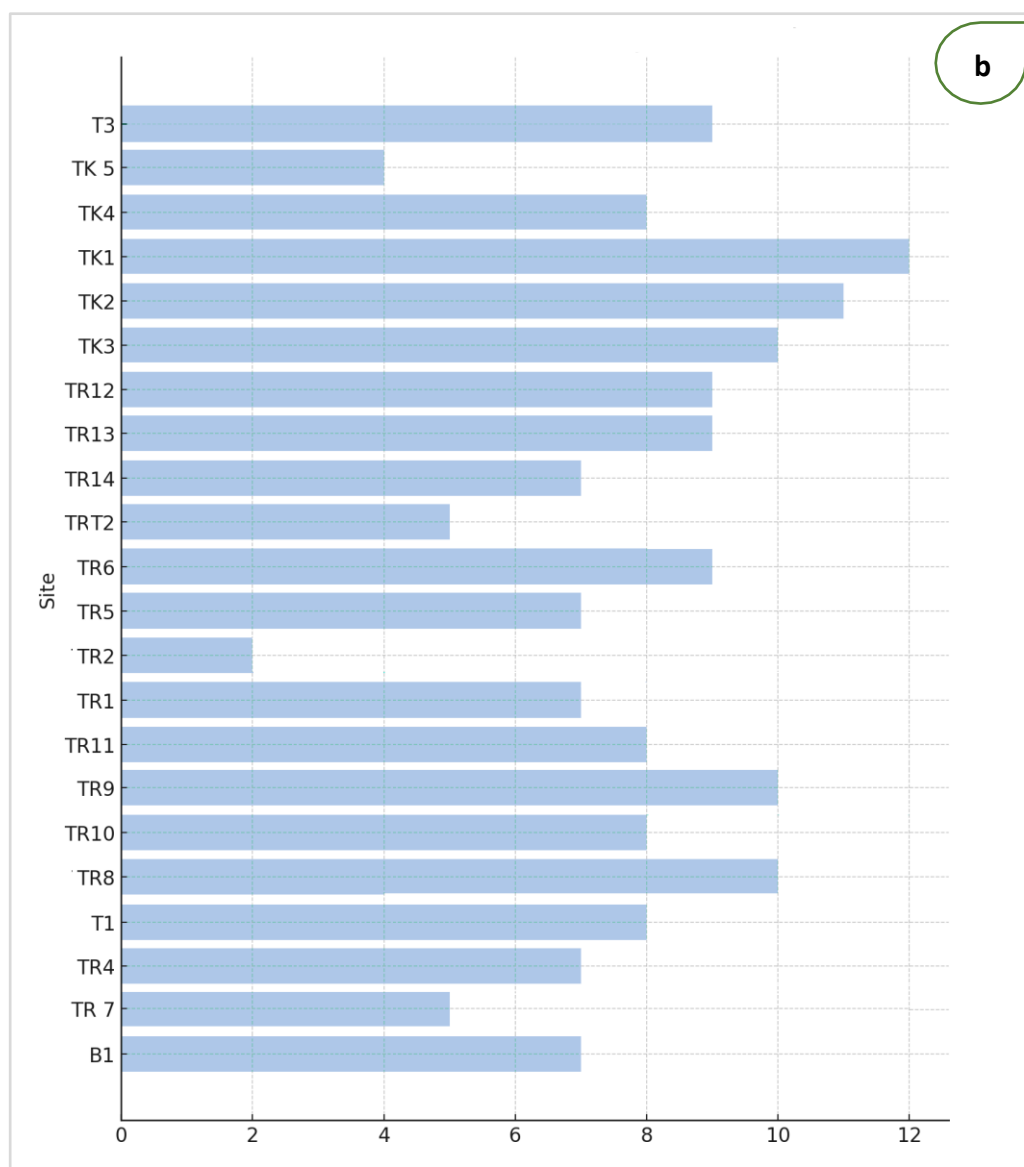


Figure 67. Richesse taxonomique des Diptères aquatique du Djurdjura selon l'exposition géographique : (a) versant Nord ; (b) versant Sud.

Dans l'ensemble des stations échantillonnées, la majorité des familles (10 sur 16) présentent une constance inférieure à 25 % et sont considérées comme accidentelles ou rares. Leur présence est généralement limitée et localisée. A l'opposé, certaines familles montrent une forte constance, dépassant les 50% ce qui témoigne de leur large répartition spatiale. Il s'agit notamment des Chironomidae (89,4 %), Simuliidae (85,1 %), Tipulidae (72,3 %), Limoniidae (70,2 %) et Tabanidae (68 %). Les Empididae (46,8 %). Culicidae (27,7 %) occupent une position intermédiaire et sont cassées comme espèces accessoires, présentes de façon plus variable selon les stations (tableau 26.).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Tableau 26. Evaluation de la constance écologique des familles de Diptères échantillonnées

| Famille | Constance (%) | Catégorie |
|-----------------|---------------|---------------------|
| Tipulidae | 72,3 | Constante |
| Empididae | 46,8 | Accessoire |
| Limoniidae | 70,2 | Constante |
| Simuliidae | 85,1 | Constante |
| Chironomidae | 89,4 | Constante |
| Ceratopogonidae | 17 | Accidentelle / Rare |
| Thaumaleidae | 4,3 | Accidentelle / Rare |
| Dixidae | 20 | Accidentelle / Rare |
| Culicidae | 27,7 | Accessoire |
| Blephariceridae | 21,3 | Accidentelle / Rare |
| Psychodidae | 12,7 | Accidentelle / Rare |
| Ptychopteridae | 14,8 | Accidentelle / Rare |
| Stratiomyidae | 51 | Constante |
| Anthomyidae | 12,7 | Accidentelle / Rare |
| Sciomyzidae | 4,2 | Accidentelle / Rare |
| Tabanidae | 68 | Constante |

IV2216 Répartitions spatiales des Diptères aquatique du Djurdjura

L'analyse de la répartition des familles de Diptère (Tableau 27) en lien avec le zonage IUCN (zone centrale, zone tampon, zone de transition) dans le "Parc National de Djurdjura (Figure 68) montre des différences intéressantes. Certaines familles ont une forte tolérance écologique une distribution étendue telles que les Simuliidae, les Chironomidae, les Empididae et les Tipulidae couvrant les trois zones du parc. D'autre comme les Blephariceridae, Psychodidae, Thaumaleidae ou Sciomyzidae sont plus localisé, plus sensible a la qualité des habitats sont observé que dans certaines stations situées faiblement perturbée, principalement en zone centrale ou en zone tampon.

Tableau 27. Distribution spatiale des familles de Diptères recensées dans les sites échantillonnés du Djurdjura.

| Famille | Distribution |
|-----------|---|
| Tipulidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TK5, TR2, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OA1, OA2, |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|------------------------|--|
| | OA3, OA _x , TG1, TG3, TG6, TG7, TG9, TG12, A4, A5, A6. |
| Empididae | B1, TK1, TK2, TK3, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T3, OA2, OA3, OA _x , TG1, TG12. |
| Limoniidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR2, TR4, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OA _x , TG1, TG3, TG4, TG6, TG7, TG9, TG12, A2, A5, A6. |
| Simuliidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TK5, TR1, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OA _x , OA4, TG1, TG2, TG3, TG4, TG6, TG7, TG12, TG13, A1, A2, A3, A4, A5, A6. |
| Chironomidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR1, TR4, TR5, TR6, TR7, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T2, T3, OA1, OA2, OA3, OA _x , OA4, OA5, TG1, TG3, TG4, TG6, TG7, TG8, TG9, TG10, TG11, TG12, A1, A2, A3, A4, A5, A6. |
| Ceratopogonidae | TK1, TK2, TK4, T3, OA _x , A3, A4, A6. |
| Thaumaleidae | TR1, OA1. |
| Dixidae | B1, TK1, TK2, TK3, TR4, TR6, TR8, TR9, TR13, T1, T3, OA1, OA2, OA3, OA _x , TG1, TG3, TG4, A2, TG9. |
| Culicidae | TK3, TR5, TR6, TR8, TR9, TR12, OA2, TG1, TG3, TG4, A4, TG9, TG11. |
| Blephariceridae | TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, OA2, OA3, TG1, A1. |
| Psychodidae | TK1, TR1, TR8, T3, A3, A6. |
| Ptychopteridae | TK1, TK2, TK3, TK4, OA1, OA2, OA _x . |

Chapitre IV : Résultats et Discussion

| | |
|----------------------|--|
| Stratiomyidae | TK1, TK2, TK3, TK4, TK5, TR1, TR5, TR6, TR8, TR9, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, T3, OA3, TG1, TG3, TG4, TG12, A1, TG9. |
| Anthomyidae | TK1, TK2, OA3, A3, A6, TG6. |
| Sciomyzidae | TR1, TR9. |
| Tabanidae | B1, TK1, TK2, TK3, TK4, TR4, TR6, TR7, TR8, TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, T1, OA1, OA2, OA3, OA _x , OA4, OA5, TG1, TG3, TG4, TG7, TG11, TG12, A2, A3, A4, A5, A6. |

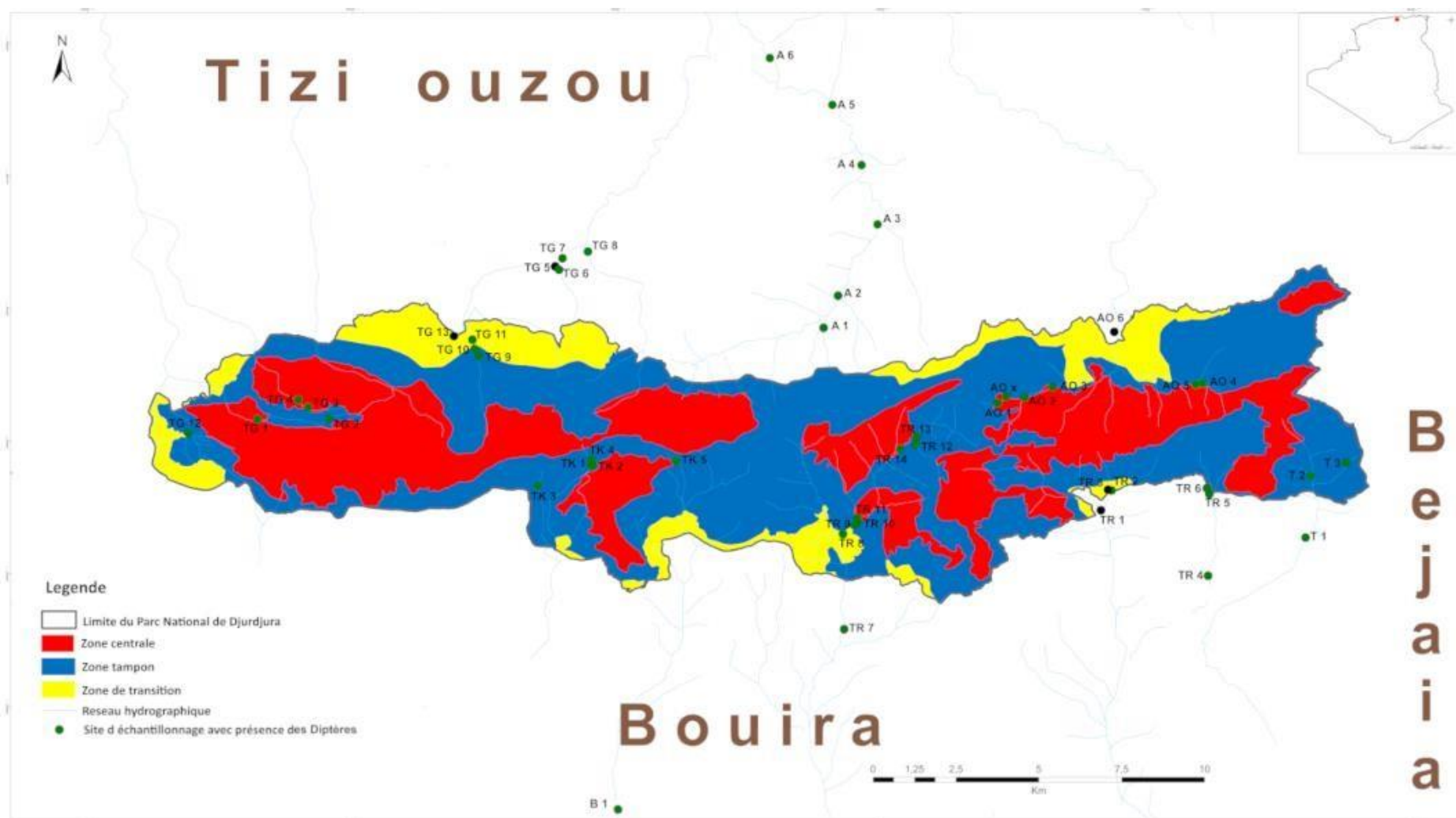


Figure 68. Cartographie de la présence des Diptères aquatiques de Djurdjura selon les zones de Conservation de l'IUCN.

IV.2.2.16. Analyse multivariée des assemblages Hémiptères, Coléoptères et Diptères

Le diagramme de Shepard indique un bon ajustement de l'ordination NMDS avec un stress acceptable (0,144) et des R^2 élevé montrant une représentativité fiable des distance écologique (Figure 69).

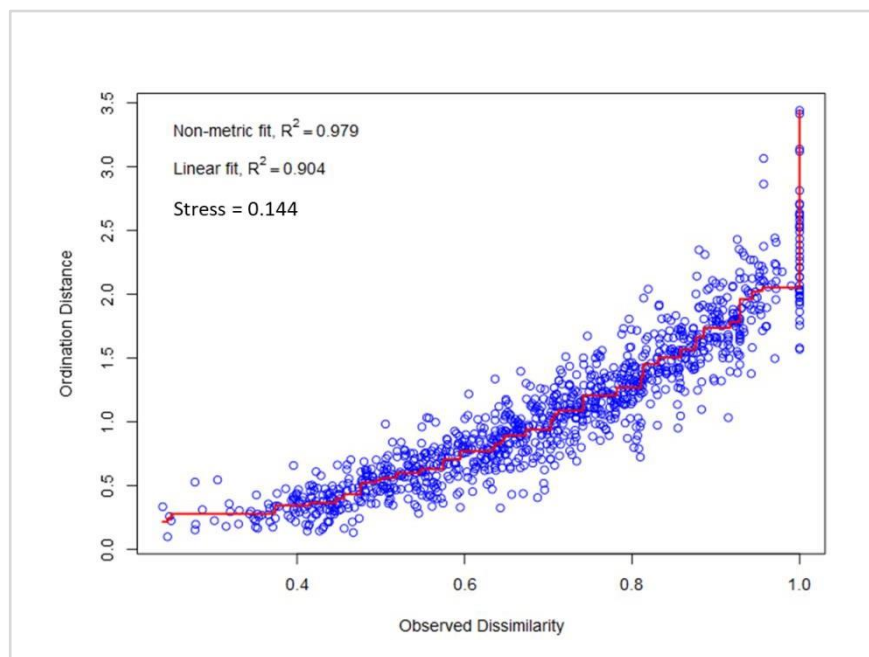


Figure 69. Diagramme de Shepard pour les résultats de l'analyse NMDS

L'analyse NMDS réalisée montre une structuration claire des communautés d'insectes aquatiques (Famille des ordres Hémiptère, Coléoptère et Diptère) en fonction des stations et des variables Physico-chimiques mesurées (Figure 70).

La distribution spatiale des familles dans l'espace d'ordination illustre des stratégies adaptatives différenciées face aux gradients environnementaux. Certaines familles comme Limoniidae, Chironomidae, Chrysomelidae, Gyrinidae, Veliidae et Notonectidae se distinguent par leur proximité dans le plan NMDS et leur présence chevauchante dans plusieurs stations (TG1, TR8, TK1, TK2, AO3, T1). Cette répartition suggère quel partage des préférences écologiques similaire et possède une tolérance relative leur permette d'occuper une large gamme d'habitats. Tandis que d'autre familles présentent une distribution plus restreinte et spécialisée, les Blephariceridae et Stratiomyidae présentent une forte corrélation avec les stations caractérisées par une vitesse élevé du courant à une oxygénation importante. Les Culicidae et Dytiscidae, quant à elle se retrouvent préférentiellement dans des zones peut profondes à écoulement faible

Chapitre IV : Résultats et Discussion

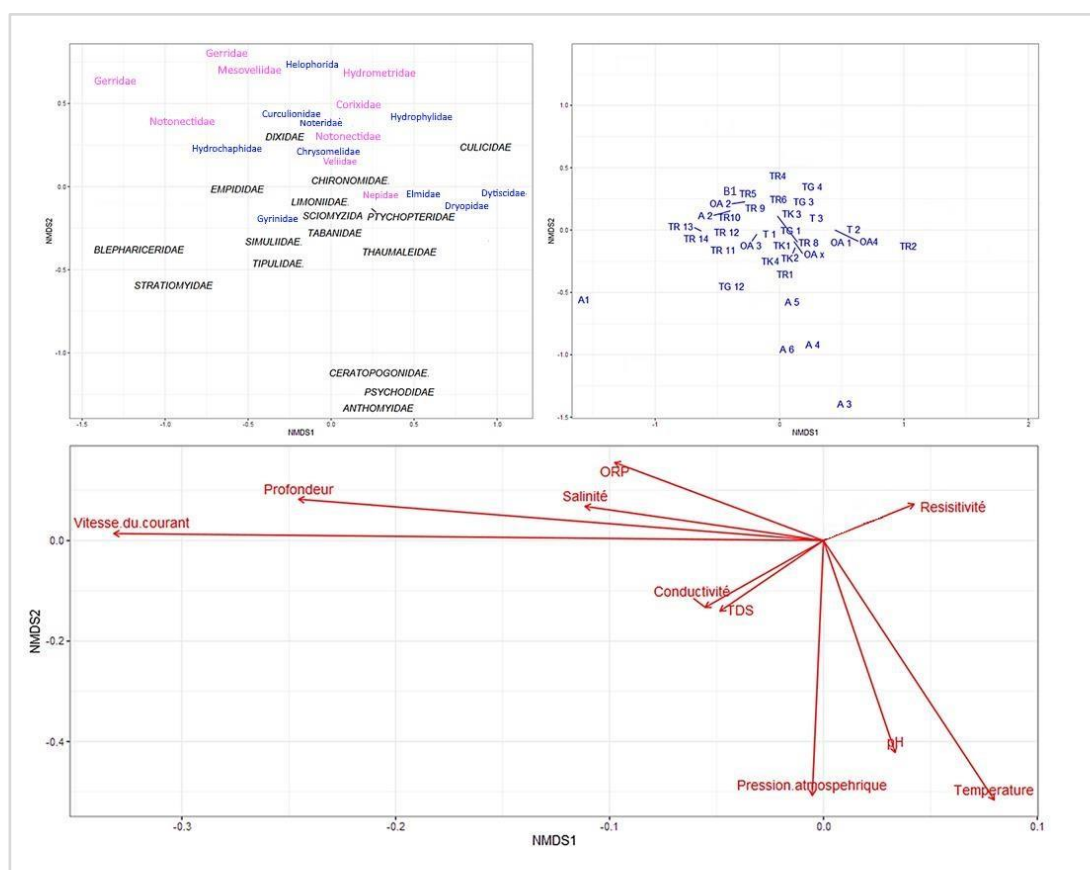


Figure 70. Analyse NMDS de la composition des communautés d'insectes aquatique Hémiptère, Coléoptère et Diptère en relation avec stations et variable physico-chimiques.

La carte de chaleur (heatmap) de similarité réalisée sur l'indice de Bray-Curtis met en évidence une structuration hiérarchique nette des stations du réseau hydrographique de Djurdjura selon la composition en Hémiptères, Coléoptères et Diptères (Figure 71).

L'échelle chromatique, allant du Bleu (forte similarité) au rouge-orangé (faible similarité), révèle trois ensembles majeurs. Le premier bloc correspond à un large noyau de stations (OA2, TK3, OA3, TR8, TR6, TG1, T1, TG4, TG3, TR9, TR5, TR1, TR10, TR4, B1, OAx, TK4, TK1, TK2, OA1, TR14, TR13, TR11) qui partagent une forte proximité faunistique, témoignant d'une relative homogénéité écologique lié à des habitats lotiques comparable. A l'opposé, un second bloc de station (TG11, OA6, TG5, A1, TK5, A3, TR7, A4, A6, TR2, TG8, TG10, TG2 et OA5) reflète des assemblages spécifiques nettement distincts marqué une différenciation de la composition, enfin les stations restantes se situe dans une

Chapitre IV : Résultats et Discussion

position intermédiaire exprimant une similarité modérée occupe une position de transition entre les deux.

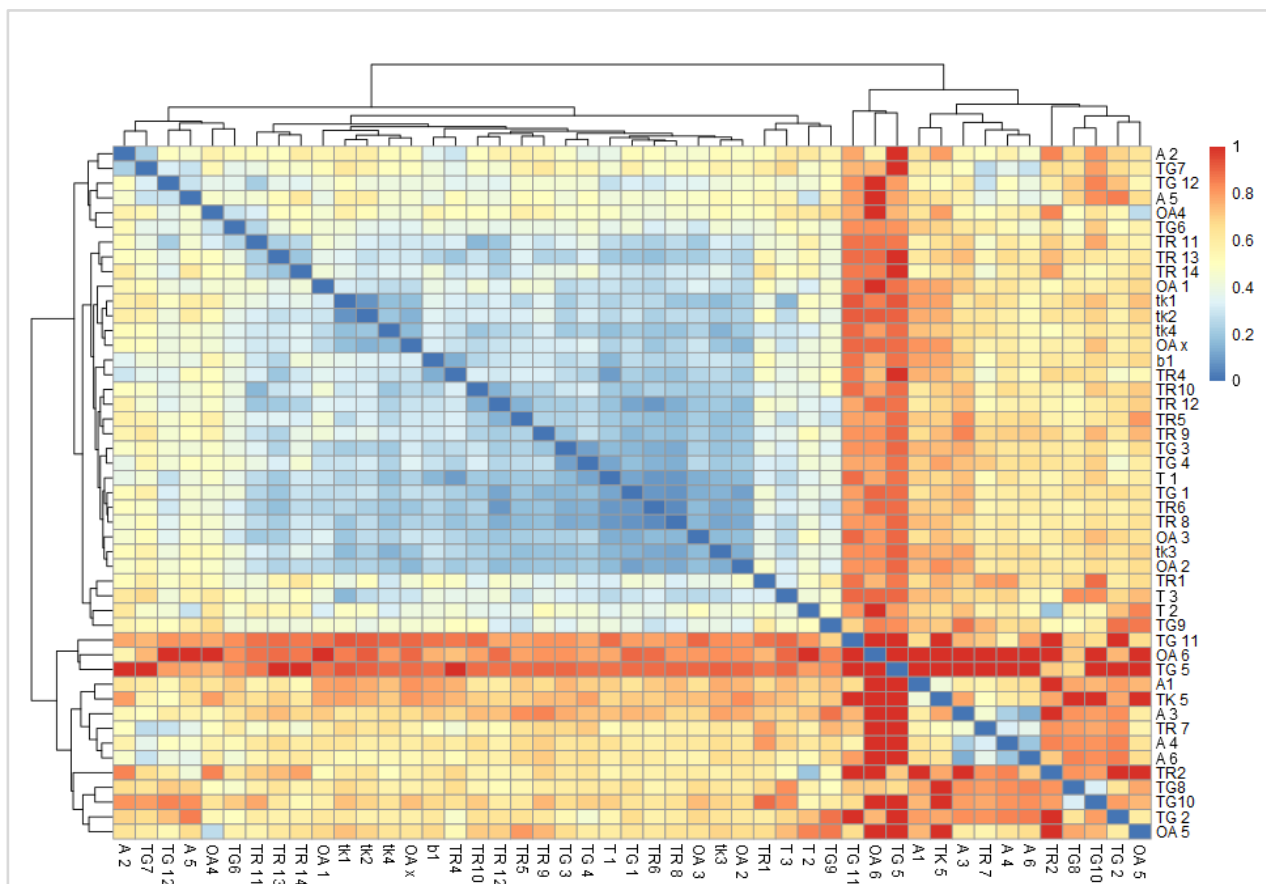


Figure 71. Heatmap de similarité (indice de bray curtis) de la composition en Hémiptères, Coléoptères et Diptères dans les stations de réseau hydrographique de Djurdjura.

Le test de permutation n'a pas montré un effet significatif de l'occupation du sol ($p = 0,002$). En revanche, l'exposition des versant présente un effet significatif p (value) = 0,03 indiquant que l'orientation Nord/Sud influence la composition des communautés au niveau des stations. De même une influence significative est observée entre les sous bassins-versants ($p = 0,002$).

La PERMANOVA entre les sous -bassin versant (TK, TR, T, OA, TG) et assif hammam (A) ont été précisées par l'analyse Pairwise montre une différenciation significative (Figure 72)

Les contraste les plus marqué concerne TK et TG avec $p = 0,001$ indiquant une différenciation hautement significative, l'analyse montre aussi des différences significatives entre plusieurs sous bassin versant avec des valeurs de p variant entre 0,01 et 0,05, traduisant des

Chapitre IV : Résultats et Discussion

différenciations notables de la compositions faunistique concerné. Par ailleurs les stations de TK et T caractérisé par R^2 élevé (0,4) souligne une forte part de la variance expliquée.

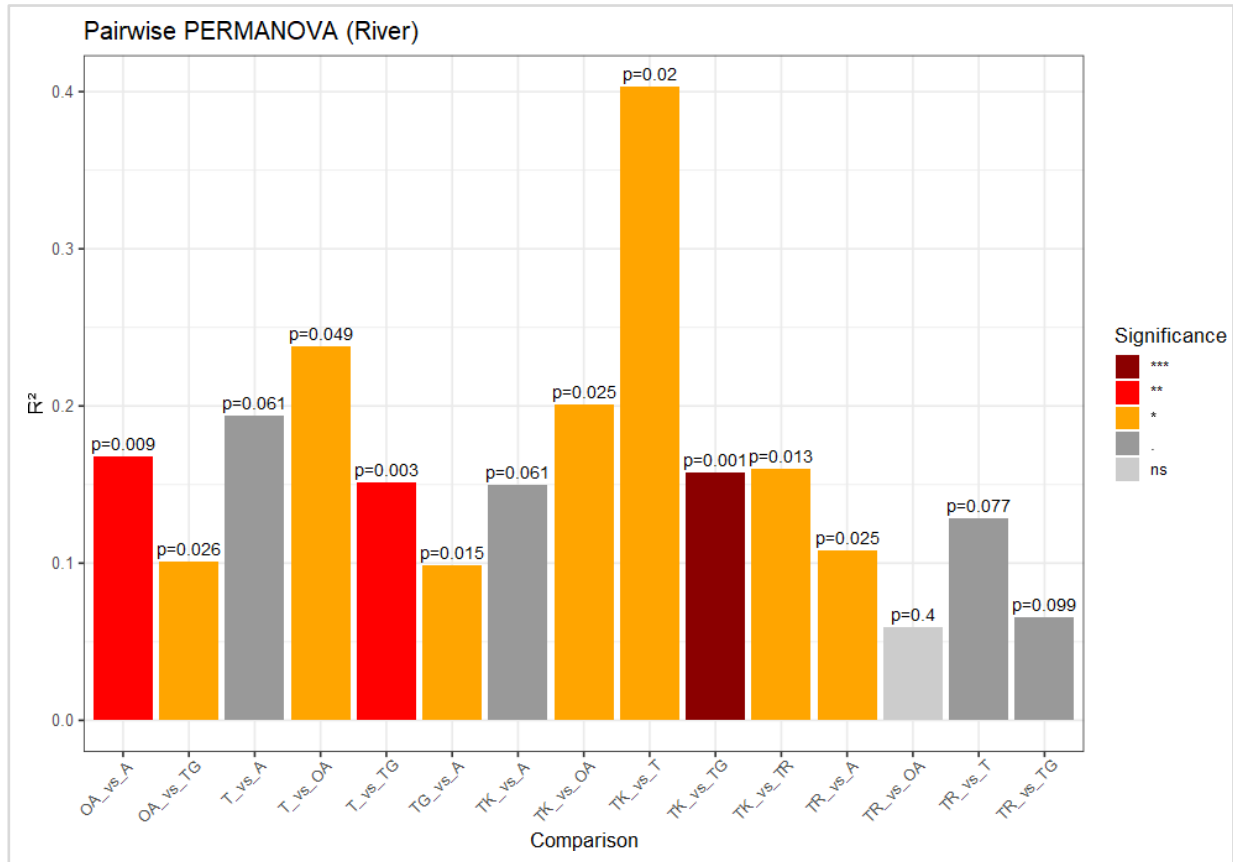


Figure 72. Analyse PERMANOVA des communautés d'Hémiptères, Coléoptères et Diptères selon les sous bassins versant du Djurdjura.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

IV.3. Discussion

L'ensemble des résultats obtenus entre février 2020 et juin 2021 permettent de répondre de manière satisfaisante aux objectifs fixés de cette étude et apporter des données inédites sur la structuration des habitats, composition taxonomique et la distribution des macroinvertébrés benthiques dans les milieux lotiques de la région de Bouira et plus particulièrement dans le massif de Djurdjura, notre zone d'étude.

La majorité des stations sélectionnées pour cette étude se situe dans des zones protégées du massif, bénéficiant d'un statut de conservation reconnu par l'IUCN, notamment dans les zones centrales et tampon du parc national. Cela confère à ces sites un niveau de préservation, limitant les perturbations anthropiques directes et favorisant le maintien de conditions écologiques relativement naturelles.

Caractéristiques des sites

Les paramètres Physico-chimiques étudiés révèlent un gradient environnemental marqué. La conductivité électrique varie de 210 à environ 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ traduisant une minéralisation modérée des eaux, caractéristiques des cours d'eaux de montagne peu influencées par les apports anthropiques et reflètent la contribution en ions dissous issus des formations carbonatées et karstifiées du massif (Abdesselam et al., 1988 ; Griffith, 2014 ; Hiscock & Bense, 2014 ; Solar et Tomaškovíĉ, 2023). Toutefois, la valeur la plus élevée station B1 (se localise en dehors de périmètre du PND) dans le cadre de ce travail, suggère un enrichissement plus élevé probablement liée au lessivage agricole et à l'apport accru en sels dissous. Ces résultats concordent avec les observations de Mebarki (2017) dans le massif du Djurdjura où la conductivité oscillait entre 413 et 437 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les solides dissous totaux (TDS), compris entre 107 et 277 mg/L confirment cette tendance typique des eaux de montagne (Kent et Belitz, 2004). Leur niveau de minéralisation s'explique par la dynamique hydrogéologique propre aux milieux carbonatés, où la circulation rapide dans les conduits limite la dissolution des sels. Ces résultats sont en accord avec des valeurs rapportées dans d'autres bassins similaires (Djemai et Mesbah, 2008 ; Lemensil et al., 2021).

La température de l'eau montre une amplitude importante, oscillant entre 6,8 °C et plus 23 °C à basse altitude aux stations A4. Illustrant l'effet combiné de l'altitude, de l'exposition solaire et de la saisonnalité méditerranéenne (étés chauds et secs, hivers frais et humides). Ce gradient thermique correspond aux observations faites dans les rivières de la Kabylie et massifs des Aurès.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

(Lounaci et al., 2000 ; Benzina et al., 2021), ou les zones de hautes altitudes se distinguent par des eaux froides et bien oxygénées par rapport aux stations de basse altitude.

Le pH reste relativement stable de 7,8 à 8,6 indiquant une légère alcalinité et l'absence de perturbations majeures. Cette stabilité traduit le rôle de régulation chimique exercé par les formations carbonatées, qui confèrent un pouvoir tampon limitant les variations d'acidité. Des tendances similaires ont été observées dans d'autres bassins karstiques (Djemai et al, 2017 ; Benzina et Si Bachir, 218) qu'en contexte Himalayen (Sarker et al.,2023).

Le potentiel rédox (ORP) montre une variabilité spatiotemporelle marquée entre les stations. Certaines présentent des valeurs faibles ($33,3 \pm 22,6$ mV) comme station A3, indiquant un milieu réducteur, probablement associé à l'accumulation de matière organique urbain proche d'un marché et soumis à des rejets ménagers. Les autres stations incluses dans les zones tampon et centrale affichent des ORP positifs (137,2 à 235,1 mV), traduisant des conditions modérément oxydantes à caractéristiques d'eaux de montagne naturellement bien oxygénées (Jardim, 2014).

L'analyse des stations souligne également l'influence déterminante du contrôle topographique lié à l'orientation Nord/Sud des versants sur les caractéristiques des sites étudiés.

En particulier, les sites méridionaux, situés à des altitudes plus élevées, se caractérisent par des lits plus profonds et des vitesses d'écoulements accrues, traduisant un contrôle topographique marqué lié aux pentes abruptes, comme l'ont également montré Peng et al. (2024). Cette dynamique favorise la turbulence et la réparation de surface, renforçant ainsi l'oxygénation mécanique, ce qui pourrait expliquer les valeurs élevées de potentiel rédox (ORP) relevées dans ces stations (Hall et Ulseth, 2020). Par ailleurs, la pression atmosphérique diminue de manière prévisible avec l'augmentation de l'altitude, conformément à la loi barométrique (Harrell et Gabler, 2023). A l'inverse, les stations septentrionales, situées à des altitudes un peu moins basses sont soumises à des écoulements plus lents, tendent à développer des dynamiques légèrement réductrices. L'exposition joue également sur le régime thermique : bien que les sites sud soient plus élevés, leurs eaux demeurent plus fraîches en raison d'un ensoleillement réduit.

Toutefois, les paramètres chimiques de base (pH, conductivité, TDS) restent globalement stables entre versants, confirmant que la lithologie carbonatée du Djurdjura exerce un effet tampon prépondérant, limitant l'impact de l'exposition sur la minéralisation.

L'analyse multivariée a confirmé l'influence significative de certains paramètres sur la structuration des stations. En particulier, la minéralisation (TDS et conductivité) a montré une

Chapitre IV : Résultats et Discussion

corrélation positive avec les stations du versant Nord, tandis que le pH apparaît comme un facteur déterminant davantage associé aux stations méridionales. Cependant, ces influences n'ont pas été mises en évidence par l'analyse univariée, ce qui suggère que la minéralisation et le pH n'agissent pas isolément, mais plutôt en interaction avec d'autres variables environnementales.

L'occupation du sol constitue également un facteur déterminant influençant les caractéristiques des sites. En distinguant des contrastes supplémentaires visible entre stations forestières, rurales et agricoles.

Les stations forestières, généralement situé en altitude, se caractérisent par des vitesses de courant plus élevées, une meilleure oxygénation et des température plus basses, conditions typiques des cours d'eau d'amont. Ces caractéristiques, comme cela a également été observé dans d'autres bassin de montage (Chen et al., 2020 ; Solár et Tomaškovíč, 2023).

Les stations rurales, présentent des écoulements plus modérés et une composition chimique relativement stable. Elles traduisent une situation de transition ou l'impact humain reste limité mais perceptible, notamment par des perturbations diffuses liées à l'habitat et aux pratiques domestiques.

Les stations agricoles, situées en plaine, se distinguent par des écoulements plus lents et des altérations chimiques notables. La réduction du couvert végétal favorise un réchauffement des eaux par exposition direct au rayonnement solaire (Martin, Kroll et Knoth, 2021 ; Myrstener, Greiser et Kuglerová, 2025), tandis que l'augmentation de la salinité reflète les apports en sels dissous issus du ruissellement de sols cultivés et de l'usage d'intrants. Des études régionales confirment ces tendances, notamment dans le nord-est Algérien (Allia, Lalaoui & Chebbah, 2024). Ces modifications thermiques et chimiques sont susceptibles d'influencer l'équilibre écologique des cours d'eau et d'affecter leur qualité biologique.

Cette différenciation en trois groupes est également mise en évidence par l'analyse en composante principales, qui montre que les sites agricoles et ruraux se singularisent par des paramètres chimiques (conductivité, TDS, salinité), tandis que les stations forestières se distinguent davantage par des variables liées au potentiel redox, pH et aux conditions morphologiques (profondeur, vitesse du courant). Ces paramètres, moins directement associés à l'usage des terres, traduisent respectivement l'état oxydo-réducteur et l'aération des eaux, la nature géologique et chimique des substrats, ainsi que les conditions morphologiques locales.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

Ces hétérogénéités environnementales sont susceptibles de constituer des refuges privilégiés pour la faune benthique, influençant directement la répartition et la composition des macroinvertébrés benthiques de Djurdjura. Les relevés benthiques ont permis de recenser 50 075 individus, répartis en deux phylum (Arthropode et Annélides), trois classes et neuf ordres.

Structuration des assemblages benthiques

La classe des crustacés montre une nette prédominance des amphipodes avec 96 %, tandis que les Décapode restent très minoritaires (4%). Cette différence s'explique par leurs exigences écologiques contrastés. Selon [Throp, Rogers & Covich., \(2015\)](#) et [Cîmpean et al., \(2022\)](#) les amphipodes d'eau douce sont fréquemment abondants dans les eaux de source et ruisseaux de montagne, où les conditions écologiques (Température fraîche et stable, forte teneur en oxygène dissous, écoulements soutenu et substrat grossier leurs offrent à la fois une ressource alimentaire et un refuge contre le courant et les prédateurs) ce qui concorde avec les caractéristiques des stations (TG12, TK3). En Afrique du Nord, ces organismes présentent une diversité remarquable, comme le soulignent [Ayati et al., \(2019\)](#) l'identification taxonomique des amphipodes du Djurdjura reste encore incomplète mais d'autres travaux menés par [Hadjab et al., \(2020\)](#) confirment la présence d'*Echinogammarus valedictus* dans les massifs de Djurdjura.

Les insectes dominent largement les assemblages benthiques de Djurdjura, ce qui concorde avec les observations de [Mebarki \(2017\)](#) qui a rapporté une proportion de 85 %, ainsi que [Zouggaghe \(2010\)](#) dans le bassin versant de la Soummam (74,15%). Cette dominance s'accompagne d'une diversité particulièrement élevée avec 57 familles recensées dans notre étude. Des résultats comparables ont été obtenus par [Boucenna \(2023\)](#), qui a montré que les insectes représentaient plus de 96 % des effectifs benthiques dans la région de Collo, répartis en sept ordres et plus de cinquante familles. Cependant supérieur à celle de [Satour \(2025\)](#), qui a identifié 40 familles d'insectes dans les zones humides du Nord-Est algérien.

La forte présentation des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères observée dans nos stations confirme leur valeur en tant que bioindicateurs sensibles et indique la bonne qualité écologique des cours d'eau du Djurdjura. Cette tendance rejoint les observations effectuées dans plusieurs cours d'eau méditerranéens, où l'abondance des EPT est régulièrement associée à des habitats bien préservés et à une qualité des eaux élevée ([Abdessolo, Khebiza et Messouli, 2021](#) ; [López-Rodríguez et al., 2022](#) ; [Gracia-Gracia, Gilbert et Guerrero, 2024](#)).

D'autre ordre présente une tendance plus marquée dans les stations du versant Nord, notamment les Diptère et les Hémiptères, ce qui reflète la plasticité écologique de ces groupes

Chapitre IV : Résultats et Discussion

capable de tolérer une large gamme de conditions environnementales plus ou moins contrastées. Une relative rareté au niveau des ordres d'Odonates et des Coléoptère. Cette constance rejoint les observations de [Lamine \(2021\)](#), qui avait également noté une diversité notable mais une abondance globalement faible des Coléoptère aquatique dans les cours d'eau de Djurdjura.

Les éphéméroptères

L'étude des Ephéméroptères dans les montages du Djurdjura a relevé la présence de 24 espèces, totalisant 23 183 individus collectés. Cette richesse spécifique dépasse celle enregistré dans d'autre bassin algériens, tels que celui de la Seybouse (18 espèces) et la région d'El Kala avec 21 espèces ([Samraoui et al., 2021b](#)). Elle reste par ailleurs comparable de la diversité relevée en Tunisie signalé a 25 espèces par [Zrelli et al. en 2016](#). Ces résultats confirment le rôle majeur du Djurdjura comme réservoir de Biodiversité aquatique, où l'Hétérogénéité environnementales a différentes échelles favorise une diversité faunistique élevée ([Malmqvist et Hoffsten, 2000](#)).

La structure des assemblages montre une nette dominance de *Baetis gr. rhodani*, particulièrement abondant dans les sites caractérisés par une conductivité importante (TG1, TG3, TG4, TG12). Cette tendance est cohérente avec tolérance reconnue de ce groupe aux eaux minéralisées, tout comme celle de *Cloeon sp* et *Procloeon stagnicola* ([Mebarki, Taleb et Arab, 2017](#)). Plusieurs facteurs, tels que la minéralisation, la vitesse du courant, le substrat, l'oxygène dissous et la profondeur, sont connus pour influencer la structuration des communautés d'éphéméroptères dans le Maghreb ([Boumaiza et Thomas, 1986](#) ; [Samraoui et al., 2021a et b](#) ; [Benlasri et al., 2023](#)).

La richesse varie selon les habitats, les sources présentent une diversité plus faible, en accord avec les travaux de [Bauemfeind et Moog \(2000\)](#) et [Vilenica et al. \(2017\)](#), tandis que les sections rhithrales des cours d'eau abritent des espèces spécialistes et sensibles. L'occupation du sol constitue également un facteur déterminant ce qui concorde avec les résultats de nombreuse études ([Allan, 2004](#) ; [Wang et al., 2023](#)). Dans les sites situés en dehors du PND, il n'a pas été possible de tester statistiquement les différences entre assemblages, mais l'observation de la dominance d'espèces euryèces telles que *Baetis pavidus* et *Caenis luctuosa* indique une pression anthropique liée a l'agriculture et pâturage ([Boumaiza et Thomas, 1986](#) ; [Gagneur et Thomas, 1988](#) ; [Zamora-Muñoz et Alba-Trecedor, 1996](#)). A l'inverse, les sites protégés à l'intérieur du PND, moins perturbés, hébergent des espèces exigeantes comme *Rhithrogena*, *Habrophelbia* ou *Nigrobaetis rhithralis*, ce qui souligne le rôle essentiel des aires protégées dans la conservation des communautés aquatiques ([Thomas et Gagneur, 1994](#) ; [Samraoui et al., 2021e](#)).

Chapitre IV : Résultats et Discussion

La composition faunistique reflète également l'influence des paramètres géographiques et biogéographiques. L'altitude, l'orientation des versants et la géologie des bassins versant, en modulant la chimie de l'eau, contribuent à la diversité observée.

Le Djurdjura constitue un refuge pour plusieurs espèces endémiques maghrébines, telles que *Habrophelbia djurdjurenensis* (Kechemir, Sartori & Lounaci, 2020), et demeure une zone de découverte d'espèces nouvelles ou cryptique (Yasri-Cheboubi et al., 2013 ; Lamine et al., 2021). Des études moléculaires récentes confirment d'ailleurs que certains taxons comme *Rhithrogena spA*, *Ecdyonorus spA* considérés comme commune du Maghreb auparavant pourraient correspondre à des nouvelles espèces endémiques auxquelles s'ajoutent des taxons du genre *Habrophelbia*. Ces rapports renforcent l'idée que le Djurdjura et d'autres massifs algériens recèlent un potentiel taxonomique encore sous- exploré.

Plécoptère, Trichoptère et Odonate

Les Plécoptères constituent, par leur forte abondance dans le massif du Djurdjura, un groupe d'intérêt écologique majeur qui souligne la qualité des habitats lotiques étudiés (Yasri-Cheboubi et al., 2018 ; Samraoui et al., 2021d). Au total, 11 128 individus répartis entre six familles (Nemouridae, Taeniopterygidae, Perlidae, Leuctridae, Perlodidae et Capniidae) ont été collectés. Ces résultats sont cohérents avec des inventaires antérieurs en Kabylie Lounaci et al. (2000) ainsi que Lounaci et Vinçon (2005). Ont mis en évidence une répartition similaire des familles dans les cours d'eau montagneux d'Algérie, soulignant l'importance des gradients altitudinaux et des microhabitats. De même, les travaux récents de Lamine (2021) sur la macrofaune benthique de la Kabylie de Djurdjura (versant Nord), signalent la présence de 7 familles de Plécoptère, soit dont les Choroperlidae absentes ici, ce qui confirme la richesse attendue pour la région, notamment dans les zones présentant une grande hétérogénéité des microhabitats. A l'échelle maghrébine, la diversité familiale observée au Djurdjura s'inscrit pleinement dans le spectre attendu pour le Nord de l'Afrique. En effet, Errochdi et al. (2014) recensent 28 espèces appartenant à 15 genres et 7 familles au Maroc, incluant majoritairement les familles présentes dans mon inventaire ce qui valide la représentativité régionale de la faune de Djurdjura.

Pour les Trichoptères du Djurdjura, ils occupent également une place essentielle dans la structuration des communautés benthiques en raison de leur forte diversité taxonomiques (9 familles recensées). A un niveau familial, la composition observée se rapproche nettement des patrons rapportés dans d'autres massifs Algériens. Dambri et al. (2020) dans l'Aurès et Lamine

Chapitre IV : Résultats et Discussion

(2021) en Kabylie ont en effet mis en évidence une diversité similaire, marquée par la large représentation des Hydropsychidae, famille cosmopolite également dominante dans le Djurdjura. De même, Samraoui et al (2020) ont signalé la forte présence du genre *Hdropsyche* dans le bassin de la Seybouse, confirmant que la prédominance des Hydropsychidae constitue une tendance récurrente dans les cours d'eau du Nord-est Algérien. Cette tendance est également vérifiée dans le Nord-ouest, où Bemmoussat-Dekkak et al. (2021) ont recensé trentaine d'espèce réparties en 17 genres avec une forte représentation des Hydropsychidae. La présence notable des Polycentropodidae, Limnephilidae et Rhyacophilidae traduit une diversité familiale équilibrée et rejoint les résultats des autres bassins étudiés, tandis que l'occurrence ponctuelle de familles plus rares (Philopotamidae, Glossomatidae, Psychomyiidae, Lepidostomatidae, Goeridae) reflète un schéma déjà décrit dans les inventaires régionaux.

Sur le plan spatial, aucune variation marquée de l'abondance n'apparaît selon le gradient altitudinal, ce qui confirme les observations de Lamine (2021). Toutefois, la richesse spécifique plus élevée relevée sur le versant sud et dans certaines stations d'altitude du Djurdjura souligne l'influence de l'hétérogénéité des microhabitats et de conditions hydrologiques plus stables. Ce constat est cohérent avec les travaux de Bonada et Resh (2013) sur les rivières méditerranéennes de montagne, où la diversité des communautés benthiques dépend davantage de la variété et de la stabilité des habitats que de l'altitude seule.

Dans les milieux de montagne relativement préservés comme le Djurdjura, on peut s'attendre à un recul des taxons généralistes au profit des espèces indicatrices d'eaux froides et rapides. La communauté des odonates de ce massif se distingue par une nette domination des Coenagrionidae, suivis des Calopterygidae et des Aeshnidae, confirmant l'importance écologique de ces familles dans les cours d'eau de montagne. Cette structuration rejoint les tendances décrites dans d'autres régions Nord-Algériennes, El Bouhissi et al. (2022) ont signalé 29 espèces réparties en 7 familles à Sidi Bel-Abbès, avec une nette prépondérance des Coenagrionidae parmi les Zygoptères. Dans une étude complémentaire, Satour (2025) a relevé 18 espèces d'odonates dans la région d'Oum El Bouaghi (Est Algérien), confirmant la forte affinité des assemblages régionaux avec les familles dominantes du Djurdjura.

La forte représentation des Calopterygidae, sensibles à l'oxygénation et aux courants soutenus, témoigne de la bonne qualité physico-chimique et du caractère oligotrophe des habitats lotiques (Seidu et al., 2019). Les Aeshnidae, quant à eux, indiquent une connectivité

Chapitre IV : Résultats et Discussion

hydrologique élevée et un faible niveau d'anthropisation, ce qui renforce l'idée d'une intégrité écologique notable dans ces stations de montagne.

A l'inverse, les familles Lestidae, Platycnemididae et Libellulidae présentent une distribution marginale (moins de 4 %). Cette rareté s'explique par des exigences écologiques particulières de ces taxons, généralement associés à des habitats stagnants ou à faible écoulement, aux eaux plus chaudes et riches en végétation aquatiques. Les cours d'eaux du Djurdjura, froids, bien oxygénés et à forte dynamique hydrologique offrent des conditions peu favorables, limitant ainsi la présence de ces familles. [Benchalel et al. \(2017\)](#) ont montré, dans le Wadi El-Kébir, que des espèces telles que *Lestes viridis*, *Platycnemis subdilatata* prospèrent plutôt dans des environnements perturbés, où elles peuvent devenir dominantes aux dépens des espèces plus exigeantes.

Selon les résultats de l'analyse de NMDS, deux gradients majeurs structurent la distribution des Plécoptères, Trichoptères et Odonates dans le massif. Un gradient thermique et morphologique (Température, courant, largeur du lit, profondeur) et un gradient de minéralisation et d'anthropisation (Conductivité, TDS et résistivité). Les sites amont, plus froids et préservés, constituent des refuges privilégiés pour plusieurs familles de Plécoptères et Trichoptères de type rhéophiles, thermosensibles, dépendantes des sites avec substrats grossiers (galets, blocs) et incapables de prospérer dans des eaux fortement minéralisées ou réchauffées. Ces préférences concordent avec les résultats obtenus en Kabylie et en Méditerranée occidentale, où l'altitude, la température et la stabilité hydrologique expliquent la distribution de ces familles ([Yasri-Cheboubi, Vinçon et Lounaci, 2016](#) ; [DeWalt et Ower, 2019](#) ; [Green et al., 2022](#) ; [Gharbi et al., 2024](#)). Les Limnephilidae et Goeridae, bâtisseurs de fourreaux à côté des Leuctridae, Nemouridae, Perlidae et Taeniopterygidae montrent une préférence des eaux claires à forte dynamique hydrologique. Tandis que les Hydropsychidae, filtreurs opportunistes tolèrent une gamme plus large de conditions des sites. Cette variabilité fonctionnelle, déjà observée dans d'autres bassins méditerranéens ([Pedreros, 2020](#) ; [Tampo et al., 2021](#)), montre l'intérêt d'analyser les réponses au niveau familial ou par traits plutôt que de regrouper l'ensemble des EPT ([Samraoui et al., 2024](#) ; [Benzina et al., 2021](#)). Les odonates apparaissent davantage influencés par les composantes morphologiques et thermiques du cours d'eau que par la chimie de l'eau, les familles rencontrées réduisant une affinité pour les habitats plus calmes et plus chauds. Leur composition varie souvent le long du gradient amont-aval selon les exigences écologiques propres à chaque taxon, ce qui explique leur abondance relativement faible par rapport aux EPT dans le Djurdjura. Ce schéma concorde avec les observations faites dans les rivières et zones humides d'Algérie où la richesse

Chapitre IV : Résultats et Discussion

odontologique est liée à l'hétérogénéité des habitats et à la stabilité hydrologique (Samraoui et Corbet, 2000), tandis que les variations des assemblages reflètent directement la qualité écologique des cours d'eau (Chelli et Moulai, 2019).

L'occupation du sol apparaît aussi comme un facteur structurant majeur des communautés d'EPT avec une dissimilarité nette entre stations forestière et zone rurale. Bohus et al. (2023) ont montré que l'urbanisation et la mise en culture modifient profondément la composition des macroinvertébrés benthiques, ce qui corrobore nos observations. L'exposition géographique des versants exerce également une influence significative confirmant le rôle des gradients topographique et microclimatiques dans la distribution des assemblages.

Hémiptère, Coléoptère et Diptère

Les Hémiptères aquatiques demeurent relativement peu étudiés en Algérie comparativement à d'autres groupes d'insectes aquatiques et aucune donnée n'était disponible jusqu'à présent pour le Djurdjura. La composition observée dans le réseau hydrographique du massif, dominée par les familles Gerridae, Notonectidae et Corixidae, reflète une tendance déjà rapportée dans d'autres régions du Nord-Est algérien (Annani et al., 2012 ; Benslimane et al., 2019 ; Satour et al., 2025) traduisant leur grande plasticité écologique et leur capacité à s'installer dans des habitats variés. En revanche, la rareté des Nepidae constitue une observation remarquable. Leur présence sporadique et localisée, limitée à quelques stations seulement (TG4, TK1 et TK2), témoigne de leur exigence écologique particulière dont ce groupe est inféodé à l'habitat stagnants ou faiblement courants, généralement riche en végétation, conditions qui favorisent leur mode de vie lent et leur respiration aérienne par siphon. Ces microhabitats étant peu représentés dans les cours d'eau montagnards du Djurdjura, caractérisés par des écoulements rapides, bien oxygénés et des substrats grossiers. Cette inadéquation entre les préférences écologiques dominantes du massif explique leur rareté et leurs distributions fragmentées.

Dans le même contexte, l'analyse des Coléoptères aquatiques révèle une diversité importante avec présence de 10 familles et montre une structuration des assemblages fortement influencée par les conditions hydrologiques et substrales ce qui rejoint les constatations de Jäch et Balke (2007) ainsi que ceux réalisés à l'échelle locale (Lounaci, 2005 ; Zougaghe, 2010 ; Lamine, 2021).

L'analyse des assemblages des Diptères aquatiques dans le Djurdjura montre une forte dominance des Simuliidae et Chironomidae, ce qui rejoint les constats de Samraoui et al (2008, 2012) sur les cours d'eau Nord-Africains, où ces familles jouent un rôle écologique majeur. Les Simuliidae, inféodées aux eaux courantes bien oxygénées et sensibles aux caractéristiques

Chapitre IV : Résultats et Discussion

hydrologique et subratales (Samraoui et al, 2021c), traduisent la bonne qualité hydrologique et la structuration lotiques des stations étudiées, les Chironomidae, très fréquents, témoigne quant à eux de leur large tolérance écologique et de leur capacité à occuper divers types de substrats, y compris dans des conditions fluctuantes.

La présence régulière de familles telles que Tipulidae, Empididae et Limoniidae souligne la diversité écologique des habitats étudiés, chaque famille étant associée à des conditions hydromorphologiques particulières. Cela indique également la présence de microhabitats variés au sein de nos stations d'étude (Yang et al., 2022 ; Słowińska et Jaskuła, 2021 ; Ivković, Stanković et Mihaljević, 2012). Par ailleurs, la présence ponctuelle des Blephariceridae, bien que considérée comme rare dans l'ensemble des stations, constitue un signal écologique intéressant. Cette famille, sensible à la qualité de l'eau et à la stabilité du substrat, est souvent considérée comme indicatrice de milieux lotiques bien conservés (Rosenberg, 1997).

La diversité et la distribution des ordres Hémiptère, Coléoptère et diptère conduisent à constater une différenciation nette des stations, liée à l'exposition des versants Nord/Sud et aux particularités des sous-bassins versants du réseau hydrographique de Djurdjura.

Stratégie de conservation

La conservation des insectes aquatiques et de leurs habitats en Algérie, particulièrement dans le massif du Djurdjura, présente une importance écologique et patrimoniale majeure. À l'échelle mondiale, de nombreuses études ont démontré un déclin marqué de l'abondance, de la richesse spécifique et de la biomasse des insectes, un phénomène préoccupant « insectageddon » (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Cette tendance alarmante touche de manière prononcée les insectes aquatiques, dont la régression a largement été rapportée dans divers écosystèmes (Deacon, Samways & Pyke, 2019 ; Stepanian et al., 2020 ; Romero et al., 2021 ; Thomas, Jones & Hartley, 2019).

Les écosystèmes lotiques en zones montagneuses sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique, notamment en raison de l'augmentation des températures et des perturbations hydrologiques (Besacier Monbertrand et al., 2019 ; Macadam, Kitchen et Yeomans, 2023). Ce changement risque de réduire les aires de répartition et de déclins notables des populations d'espèces de zone d'amont de bassin, entraînant une perte de diversité génétique (Domisch, Jähnig et Haase, 2011). Parallèlement, l'altération de la composition spécifique pourrait favoriser l'installation d'espèces non indigènes et thermophiles dans les sections aval.

Chapitre IV : Résultats et Discussion

(Morghad et al., 2019), engendrant potentiellement des effets en cascade sur les espèces natives en remodelant la composition et la structure des communautés (Strayer, 2010).

Bien que les habitats du PND soient relativement protégés des aménagements anthropiques à grande échelle, le potentiel du tourisme qui fréquente l'endroit représente une menace substantielle pour l'intégrité écologique.

Pour relever efficacement ces défis, plusieurs étapes importantes sont recommandées. Premièrement, des initiatives d'éducation environnementales devraient être mises en œuvre de toute urgence afin de sensibiliser et de promouvoir une meilleure compréhension de l'importance des écosystèmes dulçaquicoles. Deuxièmement, il est nécessaire de créer une base de données maghrébines complète, inspirée du projet européen BioFresh (Schmidt-Kloiber, Neu et Graf, 2015). Cette base de données facilitera la collecte, l'analyse et la diffusion de données essentielles sur la biodiversité aquatique de la région. Des prospections ciblées devraient également être menées dans les zones à données limitées afin de combler les lacunes et d'améliorer la compréhension des écosystèmes locaux. Enfin, il est important d'adopter le concept de l'eau comme patrimoine à conserver et de développer un cadre juridique solide, en accord avec la Directive – cadre européenne sur l'eau (2000/60/CE), afin d'assurer une protection et une gestion efficaces des habitats et des espèces dulçaquicoles.

Une priorité également devrait être accordée à l'amélioration de la qualité des habitats, en mettant l'accent sur la protection des bassins versants dans leur intégralité et sur le renforcement de la connectivité des réseaux hydrographiques pour créer des écosystèmes plus sains et plus résilients, capables de mieux résister aux pressions environnementales et aux effets du changement climatique, comme le recommande l'initiative des Objectifs de Développement Durable (Griggs et al., 2013).

La meilleure protection de ces écosystèmes ne se limite pas à la préservation de la biodiversité mais constitue également un levier essentiel pour assurer aux communautés un accès durable à une eau de qualité et à des milieux naturels, garant à la fois du bien-être sociétal et de l'équilibre écologique.

Conclusion

Conclusion

Le présent travail, consacré à l'étude des macroinvertébrés benthiques dans la région de Bouira, en particulier au sein du réseau hydrographique du Djurdjura, apporte un éclairage inédit sur la biodiversité aquatique montagnarde en Algérie. L'analyse prend en compte les deux versant du massif, le versant Nord, exposé à l'influence méditerranéenne, plus humide et tempéré, et le versant Sud, soumis à un climat plus sec et continental. Ces contrastes d'exposition et de conditions climatique influencent directement les caractéristiques hydrologiques, physico-chimique et biologique des stations étudiées. L'étude inclut également plusieurs stations non prospectées auparavant.

L'exposition de 49 stations durant une période de 18 mois, de février 2020 à juin 2021, a permis d'obtenir un inventaire riche et représentatif. Plus de 50 000 individus ont été collectés, appartenant à 9 ordres et 58 familles. Néanmoins, certaines contraintes de terrain, notamment l'accès difficile à plusieurs stations, ont limité la fréquence et la répartition des prélèvements, ce qui pourrait conduire à une sous-estimation de la présence des taxons rares ou saisonniers qui n'ont pas été signalée. Par ailleurs, l'identification à l'échelle spécifique demeure à approfondir afin de mieux cerner la diversité réelle des communautés benthiques.

Les Ephéméroptères se distinguent au sein du réseau hydrographique de Djurdjura par leur forte représentativité avec 24 taxons et plus de 23 000 individus cette diversité a révélé plusieurs espèces d'intérêt patrimonial majeur, dont trois endémiques. *Rhithrogena sartorii* est strictement inféodée aux ruisseaux de haute altitude, *Habrophelbia djurdjurenensis* a été récemment décrite en Kabylie, et *Centroptilum samraoui* a été observée pour la seconde fois en Algérie depuis sa description récente. Ces signalements constituent des apports notables à la connaissance de l'entomofaune nord-africaine. Des formes cryptiques non encore décrites scientifiquement, désignées temporairement comme *Ecdyonorus spA*, *Rhithrogena spA* ainsi que *Habrophelbia spA*, *spB* et *spC*, soulignent l'existence d'une biodiversité encore sous-estimée.

Les Plécoptères apparaissent comme des bioindicateurs fiables des ruisseaux de haute altitude. Leur présence restreinte aux stations froides, bien oxygénées et préservées traduit la qualité écologique de ces habitats sensibles.

Les Trichoptères présentent une richesse spécifique élevée et une diversité taxonomique importante. Leur distribution révèle un contraste marqué entre les stations forestières protégées, dominée par des espèces sensibles, et les stations périphériques soumises à des pressions

anthropiques, où apparaissent des taxons plus tolérants. Ce groupe illustre ainsi le rôle structurant de l'occupation du sol dans la composition des assemblages.

Les Odonates représentent une fraction très réduite de l'entomofaune aquatique du Djurdjura avec seulement 3,2 % de l'effectif total, soit 1 658 individus recensés. Leur présence reste marginale et localisée, traduisant une moindre affinité pour les habitats lotiques rapides qui caractérisent la majorité des stations étudiées.

Les Hémiptères, bien que relativement peu abondants, présentent une diversité notable avec 7 familles recensées. Les Gerridae, Notonectidae et Corixidae constituent les familles les plus fréquentes et dominantes, traduisant une affinité particulière pour les habitats calmes et ensoleillés.

Les Coléoptères se distinguent par une richesse élevée avec dix familles identifiées.

Les Diptères constituent l'un des groupes les plus abondants et diversifiés avec 12 familles recensées. Les Simuliidae et Chironomidae dominent largement les assemblages, traduisant leur ubiquité et leur tolérance à un large spectre de condition écologique. Toutefois, la présence de familles écologiquement exigeantes et rarement signalées, telles que les Blephariceridae, confère à ce groupe une valeur patrimoniale particulière. Inféodés aux torrents de montagne rapide et bien oxygénés, ces taxons rares constituent des indicateurs faibles de la haute qualité écologique des milieux étudiés.

Au-delà des spécificités propres à chaque groupe et de la composition taxonomique, cette recherche a montré l'influence déterminante de plusieurs paramètres environnementaux. L'altitude et l'exposition des versants expliquent une grande partie de la variabilité observée. Les caractéristiques des stations et par conséquent les assemblages reflètent les différences entre le versant Nord et le versant Sud, sous l'effet des conditions bioclimatiques contrastées. L'occupation du sol apparaît également comme un facteur structurant majeur. Les stations localisées en zone forestières, situées en amont, se caractérisent par une biodiversité plus équilibrée, tandis que celles exposées aux rejets domestiques ou aux pratiques agricoles présentent des peuplements appauvris et dominés par des taxons tolérants.

Ces constatations ouvrent des pistes importantes pour des recherches futures. L'exploration des tronçons plus isolés et des affluents secondaires pourraient enrichir l'inventaire des espèces et révéler des formes rares ou endémiques. L'approfondissement des identifications au niveau spécifiques, éventuellement par des méthodes moléculaires, permettrait de mieux

comprendre la biodiversité cryptique et les interactions écologiques. L'étude ciblée des microhabitats, dépôts sédimentaire, végétation aquatiques et substrats varié offrirait des éducateurs sur les fonctions écologiques essentielles. Enfin, la création de dispositifs expérimentaux semi-naturels faciliterait le suivi des communautés, l'évaluation de la résilience et développement de stratégies de gestion innovantes.

La haute valeur patrimoniale du Djurdjura et la fragilité de ses écosystèmes aquatiques face aux pressions anthropiques, telles que les rejets domestiques, l'agriculture et les effets du changement climatique, imposent la mise en place de stratégies intégrées de conservation. Il est essentiel de préserver les stations de tête de bassin, notamment celles du Parc National, en renforçant la protection des zones sensibles et en favorisant la restauration des habitats dégradés. Cela nécessite l'établissement de programmes de suivi écologique réguliers, l'encouragement de pratiques agricoles. L'intégration de la recherche scientifique dans la gestion environnementale permettra d'adapter ces stratégies et d'assurer la préservation de la biodiversité aquatique du Djurdjura tout en maintenant la résilience de ses hydrosystèmes face aux défis actuels et futurs.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- Abdesselam, M., Lami, M., Broquet, P., Chauve, P., & Mania, J. (1988). Etude de l'aquifère karstique du Djurdjura (Algérie).
- Abdesselam, M. (1995). Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranéen: Exemple du Djurdjura Occidental (grande kabylie Algerie). Besançon.
- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, 2(4), 433-459.
- Abessolo, J.-R. Z., Khebiza, M. Y., & Messouli, M. (2021). Réponse des macroinvertébrés benthiques (éphéméroptères, plécoptères, trichoptères) aux pressions anthropiques dans un contexte de changement climatique sur le bassin versant de l'Ourika (Haut-Atlas du Maroc). *Hydroécologie Appliquée*, 21, 115-155.
- Alcaraz-Hernández, J. D., Sánchez-Hernández, J., Muñoz-Mas, R., & Martínez-Capel, F. (2024). Drivers of Macroinvertebrate Communities in Mediterranean Rivers: A Mesohabitat Approach. *Sustainability*, 16(7), 3075.
- Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35(1), 257-284.
- Allia, Z., Lalaoui, M., & Chebbah, M. (2024). Spatial and seasonal assessment of surface water quality for domestic use in a semi-arid area of the Upper Kebir Sub-basin, NE Algeria. *Water Supply*, 24(8), 2946-2962.
- Al-Samawi, A., & Al-Hussaini, S. N. H. (2016). The oxidation reduction potential distribution along Diyala river within Baghdad city. *Mesop Environ J*, 2(4), 54-66.
- Annani, F., Alfarhan, A. H., & Samraoui, B. (2012). Aquatic Hemiptera of northeastern Algeria: distribution, phenology and conservation. *Revue d'Écologie (Terre & Vie)*, 67(1), 1–13.
- Arenas-Sánchez, A., Dolédec, S., Vighi, M., & Rico, A. (2021). Effects of anthropogenic pollution and hydrological variation on macroinvertebrates in Mediterranean rivers: A case-study in the upper Tagus river basin (Spain). *Science of the Total Environment*, 766, 144044.
- Ayati, K., Hadjab, R., Khammar, H., Dhaouadi, S., Piscart, C., & Mahmoudi, E. (2019). Origin, diversity and distribution of freshwater epigeal amphipods in Maghreb. *Paper presented at the Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*.

Références Bibliographiques

B

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.

Voshell, M. T. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish: US Environmental Protection Agency, Office of Water.

Barry, R. G., & Blanken, P. D. (2016). Microclimate and local climate: Cambridge University Press.

Bauernfeind, E., & Moog, O. (2000). Mayflies (Insecta: Ephemeroptera) and the assessment of ecological integrity: a methodological approach. *Hydrobiologia*, 422(0), 71-83.

Beche, L. A., & Resh, V. H. (2007). Short-term climatic trends affect the temporal variability of macroinvertebrates in California 'Mediterranean' streams. *Freshwater Biology*, 52(12), 2317-2339.

Bence, P., 2014. Caving : adventures in Kabylia. Petzl.

<https://www.petzl.com/INT/en/Sport/News/2014-7-21/Caving--adventures-in-Kabylia>

Benchalel, W., Merah, S., Bouslama, Z., Ramdani, M., Elmsellem, H., & Flower, R. (2017). Odonata as indicators of environmental impacts in rivers, case of wadi El-Kébir-East (northeastern Algeria). *Moroccan Journal of Chemistry*, 5(4), J. Chem. 5 N° 4 (2017) 2610-2621.

Benhadji Nadhira, N. (2020). Caractérisation taxonomique, phylogénétique des Epheméroptères Schistonotes du bassin versant de la Tafna (Ouest algérien).

Benlasri, M., Kaczmarek, N., El Alami, M., Ghamizi, M., & Berger, E. (2023). Inventory and pattern of distribution of mayflies (Insecta, Ephemeroptera) in the Draa river basin, southern Morocco. *Alpine Entomology*, 7, 13-20.

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 northeastern Algeria. *Journal of Insect Conservation*, 23(3), 475–488.

Benzina, I., & Bachir, A. S. (2018). Diversity of benthic macroinvertebrates and streams quality in the National Park of Belezma (northern-east, Algeria). *Int. J. Health Life Sci*, 4, 1-18.

Références Bibliographiques

- 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.
- Besacier Monbertrand, A.-L., Timoner, P., Rahman, K., Burlando, P., Fatichi, S., Gonseth, Y., . . . Lehmann, A. (2019). Assessing the vulnerability of aquatic macroinvertebrates to climate warming in a mountainous watershed: supplementing presence-only data with species traits. *Water*, 11(4), 636.
- Bloom, T. D., Flower, A., & DeChaine, E. G. (2018). Why georeferencing matters: Introducing a practical protocol to prepare species occurrence records for spatial analysis. *Ecology and Evolution*, 8(1), 765-777.
- Bohus, A., Gál, B., Barta, B., Szivák, I., Karádi-Kovacs, K., Boda, P., . . . Schmera, D. (2023). Effects of urbanization-induced local alterations on the diversity and assemblage structure of macroinvertebrates in low-order streams. *Hydrobiologia*, 850(4), 881-899.
- Bonacina, L., Fasano, F., Mezzanotte, V., & Fornaroli, R. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biological Reviews*, 98(1), 191-221.
- Bonada, N., Zamora-Muñoz, C., Rieradevall, M., & Prat, N. (2004). Trichoptera (Insecta) collected in Mediterranean river basins of the Iberian Peninsula: taxonomic remarks and notes on ecology. *Graellsia*, 60(1), 41-69.
- Bonada, N., Rieradevall, M., Prat, N., & Resh, V. H. (2006). Benthic macroinvertebrate assemblages and macrohabitat connectivity in Mediterranean-climate streams of northern California. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(1), 32-43.
- Bonada, N., Rieradevall, M., & Prat, N. (2007). Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589(1), 91-106.
- Bonada, N., & Resh, V. H. (2013). Mediterranean-climate streams and rivers: geographically separated but ecologically comparable freshwater systems. *Hydrobiologia*, 719(1), 1-29.
- Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2018). Numerical Ecology with R: Springer.
- Boucenna, H. (2023). *Les macroinvertébrés benthiques de la région de Collo*.
- Bouhala, Z., Khemissa, C., Márquez-Rodríguez, J., Ferreras-Romero, M., Samraoui, F., &

Références Bibliographiques

- Samraoui, B. (2019). Ecological correlates of odonate assemblages of a Mediterranean stream, Wadi Cherf, northeastern Algeria: implications for conservation. *International Journal of Odonatology*, 22(3-4), 181-197.
- Boumaiza, M., & Thomas, A. (1986). Répartition et écologie des Ephéméroptères de Tunisie (1ère partie)(Insecta, Ephemeroptera). *Archives de l'Institut Pasteur de Tunis*, 63(4), 567-599.
- Boumaiza, M. (1994). Recherches sur les eaux courantes de Tunisie. Faunistique, Ecologie et Biogéographie. *Thèse De Doctorat D'état Es-Sciences Biologiques. Fac. Sc. Tunis*.
- Bouzidi, A. (1989). Recherches hydrobiologiques sur les cours d'eau des massifs du Haut-Atlas (Maroc): bio-écologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements. Aix-Marseille 3.
- Bouzidi, A., & Giudicelli, J. (1994). Ecologie et distribution spatiale des Macro-invertébrés des eaux courantes du Haut-Atlas Marocain. *Revue de la Faculté des Sciences de Marrakech*, 8, 23-43.
- Bouvier, D., & Bargier, N. (2021). Réalisation du suivi biologique DCE des macroinvertébrés benthiques dans les cours d'eau de Guadeloupe (Rapport final). *Hydreco Éco in'EAU / Office de l'Eau Guadeloupe*.
- Brysiewicz, A., Czerniejewski, P., Dąbrowski, J., & Formicki, K. (2022). Characterisation of benthic macroinvertebrate communities in small watercourses of the european central plains ecoregion and the effect of different environmental factors. *Animals*, 12(5), 606.
- Bucklin, A., Steinke, D., & Blanco-Bercial, L. (2011). DNA barcoding of marine metazoa. *Annual review of marine science*, 3(1), 471-508.
- Buffagni, A. (2021). The lentic and lotic characteristics of habitats determine the distribution of benthic macroinvertebrates in Mediterranean rivers. *Freshwater Biology*, 66(1), 13-34.
- Buffington, J. M., & Montgomery, D. R. (2021). Geomorphic classification of rivers: an updated review. In: *Shroder, John (Jack) F., ed. Treatise on Geomorphology (Second Edition). Academic Press. p. 1143-1190., 1143-1190.*
- Buscalioni, Á. D., Umamaheswaran, R., Sanchez-Garcia, A., Lopez-Archilla, A. I., Dias, J. J., de Souza Carvalho, I., . . . Marugan-Lobon, J. (2025). Exceptional preservation in mayfly nymphs (Insecta: Ephemeroptera) from the Early Cretaceous of the Las Hoyas fossil site. *Cretaceous Research*, 167, 106052.

Références Bibliographiques

C

Chelli, A., & Moulaï, R. (2019). Ecological characterization of the odonatofauna in lotic and lentic waters of northeast Algeria. *Paper presented at the Annales de la Société entomologique de France (NS)*.

Chen, D., Elhadj, A., Xu, H., Xu, X., & Qiao, Z. (2020). A study on the relationship between land use change and water quality of the Mitidja watershed in Algeria based on GIS and RS. *Sustainability*, 12(9), 3510.

Cîmpean, M., Şuteu, A.-M., Berindean, A., & Battes, K. P. (2022). Diversity of spring invertebrates and their habitats: a story of preferences. *Diversity*, 14(5), 367.

Collignon, B., Goergler, B., & Quinif, Y. (1982). L'Anou Boussouil, témoin privilégié de l'évolution géologique récente du Djurdjura. *Revue belge de géographie*, 48-51.

D

Dajoz, R. (2000). Précis d'écologie, 7 ème edition. *Dunod, Paris*, 615.

Dajoz, R. (2006). Précis d'écologie. 8e éditions. *Ed. Dunod, Paris*, 631p.

Dalu, T., Cuthbert, R. N., Methi, M. J., Dondofema, F., Chari, L. D., & Wasserman, R. J. (2022). Drivers of aquatic macroinvertebrate communities in a Ramsar declared wetland system. *Science of the Total Environment*, 818, 151683.

Dambri, B. M., Karaouzas, I., Samraoui, B., & Samraoui, F. (2020). Contribution to the knowledge of the caddisfly fauna of Algeria: An updated checklist of Algerian Trichoptera with new records from the Aures region. *Zootaxa*, 4786(2), 221-232.

Dambri, B. M., Godunko, R. J., & Benhadji, N. (2023). Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) of Aurès Mountains (Algeria): A New Species of the Baetis alpinus Species Group, with Notes on Baetis Laech, 1815 *Biogeography within Maghreb. Insects*, 14(11), 899.

Darwall, W., Bremerich, V., De Wever, A., Dell, A. I., Freyhof, J., Gessner, M. O., . . . Jähnig, S. C. (2018). The Alliance for Freshwater Life: A global call to unite efforts for freshwater biodiversity science and conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(4), 1015-1022.

Deacon, C., Samways, M. J., & Pryke, J. S. (2019). Aquatic insects decline in abundance and occupy low-quality artificial habitats to survive hydrological droughts. *Freshwater Biology*,

Références Bibliographiques

64(9), 1643-1654.

Derridj, A. (1985). Etude de l'écologie, de la régénération et des plantules du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). DEA, Université Paul Sabatier, Toulouse.

Direction Général des Forêts. (2006). Atlas des parcs nationaux algériens.

DeWalt, R. E., & Ower, G. D. (2019). Ecosystem services, global diversity, and rate of stonefly species descriptions (Insecta: Plecoptera). *Insects*, 10(4), 99.

Djemaï, M., & Mesbah, M. (2008). Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux du bassin versant de l'oued aïssi (grande kabylie, algérie). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, 19(1), 51-70.

Djemai, M., Saibi, H., Mesbah, M., & Robertson, A. (2017). Spatio-temporal evolution of the physico-chemical water characteristics of the Sebaou river valley (Great Kabylia, Algeria). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 12, 33-49.

Djitli, Y. (2021). Effet de la pollution sur la biodiversité du lac de Réghaïa (Algérie), cas des macroinvertébrés. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture

Djitli, Y., Boix, D., Milla, A., Marniche, F., Tornero, I., Cunillera-Montcusí, D., . . . Daoudi-Hacini, S. (2021). Annual cycle of water quality and macroinvertebrate composition in Algerian wetlands: a case study of lake Réghaïa (Algeria). *Limnetica*, 40(2), 399-415.

Domisch, S., Jaehnig, S. C., & Haase, P. (2011). Climate-change winners and losers: Stream macroinvertebrates of a submontane region in Central Europe. *Freshwater Biology*, 56(10), 2009-2020.

Duan, X., Wang, Z., & Tian, S. (2008). Effect of streambed substrate on macroinvertebrate biodiversity. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2(1), 122-128.

Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., . . . Stiassny, M. L. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163-182.

Dudley, N. (2008). Guidelines for applying protected area management categories: Iucn.

Durand, J. R., & Lévêque, C. (1980). Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne (Vol. 1): Editions de l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer.

Références Bibliographiques

Eaton, A. (1899). List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria, with localities. *Entomologist's Monthly Magazine*, 35, 4-5.

Eiseler, B. (2005). Bildbestimmungsschlüssel für die Eintagsfliegenlarven der deutschen Mittelgebirge und des Tieflandes: Erik Mauch Verlag.

El Bouhissi, M., Chaib, S., Houhamdi, M., & Khelifa, R. (2022). Checklist of Odonata of Sidi Bel Abbes, Northwest Algeria. *Hydrobiology*, 1(4), 433-439.

Elbrecht, V., & Leese, F. (2015). Can DNA-based ecosystem assessments quantify species abundance? Testing primer bias and biomass-sequence relationships with an innovative metabarcoding protocol. *PLoS one*, 10(7), e0130324.

Errochdi, S., El Alami, M., Vincon, G., Abdaoui, A., & Ghamizi, M. (2014). Contribution to the knowledge of Moroccan and Maghrebin stoneflies (Plecoptera). *Zootaxa*, 3838(1), 46–76-46–76.

S, 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.

F

Fooden, J. (2007). Systematic review of the Barbary macaque, *Macaca sylvanus* (Linnaeus, 1758). *Fieldiana Zoology*, 2007(113), 1-60.

Foulquier, A. (2008). Etude démographique d'une population de (*Macaca sylvanus*) Dans la région d'Azrou dans le Moyen Atlas. PhD thesis, University of Paul Sabatier, Toulouse, France.

G

Gadeau, H. K., y Irrutia, I. B., Blanchard, R. A. É., & Germain, L. (1908). *Voyage zoologique en Khroumirie (Tunisie) mai-juin 1906*: J.-B. Baillière.

Lytle, J., & Thomas, A. (1988). Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I. Répartition et écologie (1ère partie) (Insecta, Ephemeroptera). *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 124, 213-223.

Gasith, A., & Resh, V. H. (1999). Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual review of ecology and systematics*, 30(1), 51-81.

Références Bibliographiques

- García-García, C., Gilbert, J. D., & Guerrero, F. (2024). Macroinvertebrate community in a Mediterranean mountain river: relationship with environmental factors measured at different spatial and temporal scales. *Sustainability*, 16(5), 1777.
- Gattolliat, J.-L., Samraoui, B., Benhadji, N., Kechemir, L., Zrelli, S., El Yaagoubi, S., . . . Sartori, M. (2023). Baetidae (Baetidae, Ephemeroptera) in the Maghreb: state of the art, key, and perspectives. *ZooKeys*, 1139, 137.
- Ghannem, S., Touaylia, S., & Boumaiza, M. (2018). Beetles (Insecta: Coleoptera) as bioindicators of the assessment of environmental pollution. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24(2), 456-464.
- Gharbi, M., Ziane, N., Baaloudj, A., Ríos-Escalante, P., Esse, C., Chaib, S., & Houhamdi, M. (2024). Variação na distribuição das comunidades de macroinvertebrados no nordeste da Argélia. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e273662.
- Gichimu, M. J. (2023). Biomonitoring using stream invertebrates in Kenya: A review of status, challenges and future prospects. *International Journal of Biology Sciences*, 5(1), 171 -181. doi: 10.33545/26649926.2023.v5.i1c.161
- Giudicelli, J., & Dakki, M. (1984). Les sources du Moyen Atlas et de Rif (Maroc): Faunistique (description de deux espèces nouvelles de Trichoptères), écologie, intérêt biogéographique. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 54(1), 83-100.
- Godunko, R. J., Alba-Tercedor, J., Grabowski, M., Rewicz, T., & Staniczek, A. H. (2022). Cenozoic origins of the genus Calliarcys (Insecta, Ephemeroptera) revealed by Micro-CT, with DNA barcode gap analysis of Leptophlebiinae and Habrophlebiinae. *Scientific reports*, 12(1), 15228.
- Gordon, N. D., McMahon, T. A., Finlayson, B. L., Gippel, C. J., & Nathan, R. J. (2004). Stream hydrology: an introduction for ecologists: John Wiley and Sons.
- Green, M. D., Tronstad, L. M., Giersch, J. J., Shah, A. A., Fallon, C. E., Blevins, E., . . . Hotaling, S. (2022). Stoneflies in the genus *Lednia* (Plecoptera: Nemouridae): sentinels of climate change impacts on mountain stream biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 31(2), 353-377.
- Griffith, M. B. (2014). Natural variation and current reference for specific conductivity and major ions in wadeable streams of the conterminous USA. *Freshwater Science*, 33(1), 1-17.

Références Bibliographiques

Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., . . . Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305-307.

Gross, F. (1976). Appréciation de la qualité biologique d'un cours d'eau de plaine. *Bulletin Français de Pisciculture*(260), 127-137.

Gunn, J. (2004). Encyclopedia of caves and karst science: Routledge.

H

Hadjab, R., Ayati, K., & Piscart, C. (2020). A New Species of Freshwater Amphipods Echinogammarus (Amphipoda, Gammaridae) from Algeria. *Taxonomy*, 1(1), 36-47.

Hajibabaei, M., Shokralla, S., Zhou, X., Singer, G. A., & Baird, D. J. (2011). Environmental barcoding: a next-generation sequencing approach for biomonitoring applications using river benthos. *PLoS one*, 6(4), e17497.

Hall Jr, R. O., & Ulseth, A. J. (2020). Gas exchange in streams and rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(1), e1391.

Hamdine, W. (1987). Les richesses zoologiques (grands mammifères et oiseaux) dans la station de Tala Guilef (Djurdjura). *Inventaire et éco-ethologie. Mém. Ing Agro. INA, Alger*, 110.

Harrell, J. W., & Gabler, M. C. (2023). The pressure point of altitude research. *Journal of Applied Physiology*, 135(5), 1213-1213.

Hauer, F. R., & Lamberti, G. A. (2006). Methods in stream ecology: Elsevier.

Hebert, P. D., Cywinska, A., Ball, S. L., & DeWaard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1512), 313-321.

Hiscock, K. M., & Bense, V. F. (2014). Hydrogeology: principles and practice: John Wiley & Sons.

Houmani, M., Bendali-Sadoudi, F., & Soltani, N. (2023). Impact of physicochemical parameters of water on the biodiversity of the invertebrate fauna from Echatt Lake, Northeast Algeria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(1). P258-268

Hynek, S., McDowell, W., Bhatt, M., Orlando, J., & Brantley, S. (2022). Lithological control of stream chemistry in the Luquillo mountains, Puerto Rico. *Frontiers in Earth Science*, 10,

Références Bibliographiques

779459.

I

IUCN Species Survival Commission. (2022, avril 14). New taskforce launched to protect freshwater biodiversity through harmonized macroinvertebrate sampling. International Union for Conservation of Nature. Retrieved August 2025. <https://iucn.org/news/species-survival-commission/202204/new-taskforce-launched-protect-freshwater-biodiversity-through-harmonized-macroinvertebrate-sampling>

IUCN (2025). IUCN Red List of Threatened Species. Retrieved August 2025. <https://www.iucnredlist.org>

Ivković, M., Stanković, V. M., & Mihaljević, Z. (2012). Emergence patterns and microhabitat preference of aquatic dance flies (Empididae; Clinocerinae and Hemerodromiinae) on a longitudinal gradient of barrage lake system. *Limnologica*, 42(1), 43-49.

J

Jäch, M.A., Balke, M. (2008). Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater. *Hydrobiologia* **595**, 419–442

Jackson, J. E. (1991). A User's Guide to Principal Components. *Wiley Series in Probability and Statistics*.

Jardim, W. F. (2014). Measurement and interpretation of redox potential values (EH) in environmental matrices. *Quimica Nova*, 37, 1233-1235.

Jolliffe, I. (2002). Principal component analysis: Springer.

K

Kechemir, L. H., Sartori, M., & Lounaci, A. (2020). An unexpected new species of Habrophlebia from Algeria (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *ZooKeys*, 953, 31.

Kefford, B. J. (1998). The relationship between electrical conductivity and selected macroinvertebrate communities in four river systems of south-west Victoria, Australia. *International Journal of Salt Lake Research*, 7(2), 153-170.

Kent, R., & Belitz, K. (2004). *Concentrations of dissolved solids and nutrients in water sources and selected streams of the Santa Ana Basin, California, October 1998-September 2001*: US Department of the Interior, US Geological Survey.

Références Bibliographiques

Khedimallah, R., & Tadjine, A. (2016). Contribution à la connaissance des macroinvertébrés de l'écosystème lacustre: lac tonga au parc national d'el kala. *bulletin de la société zoologique de france*, 141(3).

Kherief-Nacereddine, S., Djeddi, H., Yasmine, B. N., Boukeria, S., Benmakhlouf, Z., & Mehennaou-Afri, F.-Z. (2023). The variability influence of physicochemical parameters on macroinvertebrate assemblages in the Rhumel and Endja rivers, Algeria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(1).

Khidas, K. (1998). Distributions et normes de sélection de l'habitat chez les mammifères terrestres de la Kabylie du Djurdjura.(Thèse de Doctorat en Biologie, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie). 235 pp.

L

Laini, A., Viaroli, P., Bolpagni, R., Cancellario, T., Racchetti, E., & Guareschi, S. (2019). Taxonomic and functional responses of benthic macroinvertebrate communities to hydrological and water quality variations in a heavily regulated river. *Water*, 11(7), 1478.

Lamine, S., Lounaci, A., Reding, J.-P. G., & Vincon, G. (2019). *Marthamea bayae*, a new species of stonefly from Algeria (Plecoptera: Perlidae). *Zootaxa*, 4603(2), 311.

Lamine, S. (2021). Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Hydraenidae et Elmidae des cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura. Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou.

LeMesnil, M., Moussa, R., Charlier, J.-B., & Caballero, Y. (2020). Impact of karst areas on runoff generation, lateral flow and interbasin groundwater flow at the storm-event timescale. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2020, 1-26.

Lespès, R. (1909). Le climat de la Kabylie du Djurdjura. Paper presented. *Annales de Géographie*, 18(97), 24–33.

Loukas A., 2006. - Atlas des parcs Nationaux Algériens. Ed. Publié par le parc national de Théniet El Had Avec l'autorisation de la Direction Générale des Forêts. 88P

López-Rodríguez, M. J., Alba-Tercedor, J., Galiana-García, M., Larios-López, J. E., Sainz-Cantero Caparrós, C. E., Tierno De Figueroa, J. M., . . . Zamora-Muñoz, C. (2022). Aquatic animal communities of watercourses from Sierra Nevada *The Landscape of the Sierra Nevada: A Unique Laboratory of Global Processes in Spain* (pp. 245-260): Springer.

Références Bibliographiques

López-Rodríguez, M. J., Peralta-Maraver, I., Gaetani, B., Sainz-Cantero, C. E., Fochetti, R., & de Figueroa, J. M. T. (2012). Diversity patterns and food web structure in a Mediterranean intermittent stream. *International Review of Hydrobiology*, 97(6), 485-496.

Lounaci, A., Brosse, S., Thomas, A., & Lek, S. (2000). Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream: the Sébaou wadi. Paper presented at the Annales de Limnologie-International Journal of Limnology. 36, No. 2, pp. 123-133

Lounaci, A. (2005). Recherches sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des macroinvertebres des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). These doctorat. Univ Tizi-Ouzou.

Lounaci, A., & Vinçon, G. (2005). Les Plécoptères de la Kabylie du Djurdjura (Algérie) et biogéographie des espèces d'Afrique du Nord (Plecoptera). *Ephemera*, 6(2), 109-124.

Lytle, D. A., & Poff, N. L. (2004). Adaptation to natural flow regimes. *Trends in ecology & evolution*, 19(2), 94-100.

M

Maasri, A., Thorp, J. H., Gelhaus, J. K., Tromboni, F., Chandra, S., & Kenner, S. J. (2019). Communities associated with the Functional Process Zone scale: A case study of stream macroinvertebrates in endorheic drainages. *Science of the Total Environment*, 677, 184-193.

Macadam, C. R., Kitchen, L., & Yeomans, W. (2023). Water temperature and the growth of *Ameletus inopinatus* (Ephemeroptera: Ameletidae) in the Cairngorms, Scotland. *Zoosymposia*, 24, 102-106.

Magurran, A. E. (2013). Measuring biological diversity: John Wiley & Sons.

Malmqvist, B., & Hoffsten, P.-O. (2000). Macroinvertebrate taxonomic richness, community structure and nestedness in Swedish streams. *Archiv für Hydrobiologie*, 150, 29-54.

Martin, D. J., Kroll, A. J., & Knoth, J. L. (2021). An evidence-based review of the effectiveness of riparian buffers to maintain stream temperature and stream-associated amphibian populations in the Pacific Northwest of Canada and the United States. *Forest ecology and management*, 491, 119190.

Martinez Arbizu, P. (2020). Pairwise Adonis: Pairwise multilevel comparison using adonis. *R package version 0.4*, 1.

Références Bibliographiques

- Mbaka, J. G. (2023). Biomonitoring using stream invertebrates in Kenya: A review of status, challenges and future prospects. *International Journal of Biology Sciences*, 5(1), 171-181. Retrieved August 17, 2025, from <https://doi.org/10.33545/26649926.2023.v5.i1c.161>
- Mebarki, M. (2017). Bio-écologie et biogéographie des macroinvertébrés benthiques de quelques cours d'eau du Nord de l'Algérie et distribution spatiale des peuplements. *Faculté de Biologie*. Thèse Doctorat. USTHB Alger.
- Mebarki, M., Taleb, A., & Arab, A. (2017). Environmental factors influencing the composition and distribution of mayfly larvae in northern Algerian wadis (regional scale). *Revue d'écologie*, 72(3), 303-313.
- Meddi, M., & Hubert, P. (2003). Nord-ouest de l'Algérie. Paper presented at the Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions: Papers Selected for the International Conference on Hydrology of the Mediterranean and Semi-Arid Regions, Held in Montpellier, France from 1 to 4 April 2003. International Association of Hydrological Sciences, 2003. p. 229.
- Meddour, R., & Sahar, O. (2023). The contribution of protected areas to human health. A case study from Djurdjura Biosphere Reserve (Algeria), with new or rarely reported medicinal plants. *Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants*, 6(1), 7-26.
- Monk, W. A., Wood, P. J., Hannah, D. M., & Wilson, D. A. (2008). Macroinvertebrate community response to inter-annual and regional river flow regime dynamics. *River Research and Applications*, 24(7), 988-1001.
- Morghad, F., Samraoui, F., Touati, L., & Samraoui, B. (2019). The times they are a changin': impact of land-use shift and climate warming on the odonate community of a Mediterranean stream over a 25-year period. *Life and Environment*, 69(1), 25-33.
- Muigai, P., Shiundu, P., Mwaura, F., & Kamau, G. (2010). Correlation between dissolved oxygen and total dissolved solids and their role in the eutrophication of Nairobi dam, Kenya. *Int J Bio Chem Phys*, 18, 38-46.
- Mulat, K., & Mekoya, A. (2024). East African Journal of Forestry & Agroforestry. *East African Journal of Forestry and Agroforestry*, 7(1).
- Múrria, C., Väisänen, L. O., Somma, S., Wangenstein Fuentes, O. S., Arnedo, M. A., & Prat, N. (2020). Towards an Iberian DNA barcode reference library of freshwater macroinvertebrates and fishes. *Limnetica*, 39(1), 73-92.

Références Bibliographiques

Myrstener, M., Greiser, C., & Kuglerová, L. (2025). Downstream temperature effects of boreal forest clearcutting vary with riparian buffer width. *Water Resources Research*, 61(3), e2024WR037705.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.

N

Nel, J. L., Roux, D. J., Abell, R., Ashton, P. J., Cowling, R. M., Higgins, J. V., . . . Viers, J. H. (2009). Progress and challenges in freshwater conservation planning. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 19(4), 474-485.

Nicod, J. (1983). Nouvelles recherches géomorphologiques sur les karsts méditerranéens. *Karstologia*, 1(1), 33-38.

O

Oksanen, J. (2015). Vegan: community ecology package. *R package version*, 2, 3.

Omarjee, A., Taljaard, S., Ramjukadh, C.-L., & van Niekerk, L. (2021). pH variability in catchment flows to estuaries—A South African perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 262, 107605.

Orth, D. J., & Maughan, O. E. (1983). Microhabitat preferences of benthic fauna in a woodland stream. *Hydrobiologia*, 106(2), 157-168.

Orozco-González, C. E., & Ocasio-Torres, M. E. (2023). Aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality: A study of an ecosystem regulation service in a tropical river. *Ecologies*, 4(2), 209-228.

P

Pace, G., Andreani, P., Barile, M., Buffagni, A., Erba, S., Mancini, L., & Belfiore, C. (2011). Macroinvertebrate assemblages at mesohabitat scale in small sized volcanic siliceous streams of Central Italy (Mediterranean Ecoregion). *Ecological Indicators*, 11(2), 688-696.

Parc National du Djurdjura (PND). 2019. Rapport interne sur la flore et la biodiversité du Parc National du Djurdjura. Direction du Parc National du Djurdjura, Algérie.

Références Bibliographiques

Parc National du Djurdjura (PND). (2011). Rapport interne relative sur zonage de territoire du Djurdjura. Direction Générale des Forêts, Alger.

Parc National du Djurdjura (PND). (2007). Rapport interne sur la situation de la faune mammalogique du Djurdjura. Direction Générale des Forêts, Alger.

Pedrerros, P., Guevara-Mora, M., Stehr, A., Araneda, A., & Urrutia, R. (2020). Response of macroinvertebrate communities to thermal regime in small Mediterranean streams (southern South America): Implications of global warming. *Limnologica*, 81, 125763.

Peng, J., Chen, D., Liang, S., Tang, R., Hu, H., & Wang, H. (2024). Experiments on flow velocity profiles in mountain river channels. *Journal of Hydroinformatics*, 26(7), 1790-1805.

Pepin, N., Bradley, R., Diaz, H., Baraer, M., Caceres, E., Forsythe, N., . . . Liu, X. (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Clim Change*, 5: 424–430.

Q

Quézel, P., & Emberger, L. (1957). Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord : essai de synthèse biogéographique et phytosociologique. Paris : P. Lechevalier, *Encyclopédie biogéographique et écologique*, vol. 10. 463 pp.

Quinif, Y. (1978). Contribution à l'étude des cavités karstiques du Djurdjura (Algérie). Description morpho-hydrogéologique et cadre évolutif. *International Journal of Speleology*, 10(2), 1.

R

Rasmussen, J. J., Wiberg-Larsen, P., Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N., & Kronvang, B. (2012). Stream habitat structure influences macroinvertebrate response to pesticides. *Environmental Pollution*, 164, 142-149.

Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T., . . . Ormerod, S. J. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849-873.

Rogora, M., Frate, L., Carranza, M., Freppaz, M., Stanisci, A., Bertani, I., . . . Carbognani, M. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site

Références Bibliographiques

analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624, 1429-1442.

Rolls, R. J., Heino, J., Ryder, D. S., Chessman, B. C., Growns, I. O., Thompson, R. M., & Gido, K. B. (2018). Scaling biodiversity responses to hydrological regimes. *Biological Reviews*, 93(2), 971-995.

Romero, G. Q., Moi, D. A., Nash, L. N., Antiqueira, P. A., Mormul, R. P., & Kratina, P. (2021). Pervasive decline of subtropical aquatic insects over 20 years driven by water transparency, non-native fish and stoichiometric imbalance. *Biology Letters*, 17(6), 20210137.

Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (Eds.). (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York.

RStudio Team. (2025). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit, PBC, Boston, MA. Retried March 2025, <https://posit.co/>

R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retried March 2025, <https://www.R-project.org/>

S

Samraoui, B., Benyacoub, S., Mecibah, S., & Dumont, H. (1993). Afrotropical libellulids in the lake district of El Kala, NE Algeria, with a rediscovery of *Urothemis e. edwardsi* (Selys) and *Acisoma panorpoides ascalaphoides* (Rambur)(Anisoptera: Libellulidae). *Odonatologica*, 22(3), 365-372.

Samraoui, B., & De Belair, G. (1998). Les zones humides de la Numidie orientale: bilan des connaissances et perspectives de gestion. *Synthèse*, 4, 1-90.

Samraoui, B., & Menaï, R. (1999). A contribution to the study of Algerian Odonata. *International Journal of Odonatology*, 2(2), 145-165.

Samraoui, B., & Corbet, P. S. (2000). The odonata of Numidia, northeastern Algeria part I status and distribution. *International Journal of Odonatology*, 3(1), 11-25.

Samraoui, B., & Samraoui, F. (2008). Biodiversity and bionomics of the black flies (Diptera: Simuliidae) of northeastern Algeria. *Zootaxa*, 3796(1), 166–174.

Samraoui, B., Chaïb, N., Bouhala, Z., & Rossaro, B. (2012). Chironomid (Diptera, Chironomidae) species assemblages in northeastern Algerian hydrosystems. *Journal of Entomology and Acarology Research*, 44(1), 1–9.

Références Bibliographiques

- Samraoui, B., Bouhala, Z., Garcia, A. R., Marquez-Rodriguez, J., Ferreras-Romero, M., El-Serehy, H. A., & Samraoui, F. (2020). Trichoptera and Plecoptera of the Seybouse River, northeast Algeria: Distribution, phenology and new records. *Zootaxa*, 4845(4), zootaxa. 4845.4844. 4845-zootaxa. 4845.4844. 4845.
- Samraoui, B., Bouhala, Z., Chakri, K., Márquez-Rodríguez, J., Ferreras-Romero, M., El-Serehy, H. A., . . . Gattolliat, J.-L. (2021a). Environmental determinants of mayfly assemblages in the Seybouse River, north-eastern Algeria (Insecta: Ephemeroptera). *Biologia*, 76(8), 2277-2289.
- Samraoui, B., Márquez-Rodríguez, J., Ferreras-Romero, M., El-Serehy, H. A., Samraoui, F., Sartori, M., & Gattolliat, J. L. (2021b). Biogeography, ecology, and conservation of mayfly communities of relict mountain streams, north-eastern Algeria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(12), 3357-3369.
- Samraoui, B., Samraoui, F., Al-Misned, F. A., El-Serehy, H. A., & Adler, P. H. (2021c). Ecological determinants of black fly assemblages of relict mountain streams in northeastern Algeria, plus new records (Diptera: Simuliidae). *Global Ecology and Conservation*, 27, e01609.
- Samraoui, B., Vinçon, G., Marquez-Rodriguez, J., El-Serehy, H. A., Ferreras-Romero, M., Mostefai, N., & Samraoui, F. (2021d). Stonefly assemblages as indicators of relict North African mountain streams (Plecoptera). *Wetlands*, 41(6), 78.
- Samraoui, B., Vuataz, L., Sartori, M., Gattolliat, J.-L., Al-Misned, F. A., El-Serehy, H. A., & Samraoui, F. (2021e). Taxonomy, distribution and life cycle of the Maghrebian endemic *Rhithrogena sartorii* (Ephemeroptera: Heptageniidae) in Algeria. *Diversity*, 13(11), 547.
- Samraoui, B., Samraoui, F., & Oláh, J. (2024). Trichoptera of northeastern Algeria: New species, noteworthy records, and a review of the genus *Hydropsyche* (Hydropsychidae). *Opuscula Zoologica Instituti Zoosystematici et Oecologici Universitatis Budapestinensis*, 55.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*, 232, 8-27.
- Sánchez-Ortega, A., & Azzouz, M. (1997). *Leuctra ketamensis* a new species of Leuctridae from Northern Africa (Insecta, Plecoptera). *Aquatic Insects*, 19(4), 247-249.
- Rolls, J. I., Silva, C., Goncalves, F. J., Pereira, J. L., & Castro, B. B. (2023). Macroinvertebrate community structure and ecological status in Portuguese streams across climatic and water

Références Bibliographiques

scarcity gradients. *Hydrobiologia*, 850(4), 967-984.

Sarker, S. K., Zhu, J., Fryar, A. E., & Jeelani, G. (2023). Hydrological functioning and water availability in a Himalayan karst basin under climate change. *Sustainability*, 15(11), 8666.

Satour, A. (2025). Les macroinvertébrés des Hauts Plateaux du nord-est algérien. Thèse de doctorat. Univ de Guelma

Schmidt-Kloiber, A., Neu, P. J., & Graf, W. (2015). Metadata to the distribution atlas of European Trichoptera. *Freshwater Metadata Journal*, 9, 1-6.

Seidu, I., Nsor, C. A., Danquah, E., Tehoda, P., & Oppong, S. K. (2019). Patterns of Odonata assemblages in lotic and lentic systems in the Ankasa Conservation Area, Ghana. *International Journal of Zoology*, 2019(1), 3094787.

Slimani, N., Sánchez-Fernández, D., Guilbert, E., Boumaïza, M., & Thioulouse, J. (2019). Water quality shapes freshwater macroinvertebrate communities in northern Tunisia. Paper presented at the Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration.

Słowińska, I., & Jaskuła, R. (2021). Distributional patterns of aquatic Empididae (Diptera) along an elevational diversity gradient in a low mountain range: An example from central Europe. *Insects*, 12(2), 165.

Smith, R. F., Alexander, L. C., & Lamp, W. O. (2009). Dispersal by terrestrial stages of stream insects in urban watersheds: a synthesis of current knowledge. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(4), 1022-1037.

Solár, J., & Tomaškovič, J. (2023). Physicochemical properties of mountain streams in the High and Western Tatras. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1543.

Stewart, B., Shanley, J. B., Kirchner, J. W., Norris, D., Adler, T., Bristol, C., . . . Sterle, G. (2022). Streams as mirrors: Reading subsurface water chemistry from stream chemistry. *Water Resources Research*, 58(1), e2021WR029931.

Stewart, P. (1969). Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. *Bull. soc. hist. nat. agro*, 24-25.

Strayer, D. L. (2010). Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology*, 55, 152-174.

T

Références Bibliographiques

- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2000). Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie (Vol. 15): CNRS éditions Paris.
- Tachet, H., Richoux, P., & Bournaud, M. (2006). Usseglio-Polatera. Invertebres d'eau douce: systematique, biologie, ecologie. *CNRS 2eme Editions, Paris*, 588.
- Taïbi, S., Meddi, M., & Mahé, G. (2019). Seasonal rainfall variability in the southern Mediterranean border: Observations, regional model simulations and future climate projections. *Atmósfera*, 32(1), 39-54.
- Tampo, L., Kaboré, I., Alhassan, E. H., Ouéda, A., Bawa, L. M., & Djaneye-Boundjou, G. (2021). Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: their sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river. *Frontiers in Water*, 3, 662765.
- Taybi, A. F., Mabrouki, Y., Dakki, M., Berrahou, A., & Millán, A. (2020). Longitudinal distribution of macroinvertebrate in a very wet North African basin: Oued Melloulou (Morocco). Paper presented at the Annales de Limnologie-International Journal of Limnology.
- Thomas, A., & Gagneur, J. (1994). Compléments et corrections à la faune des Ephéméroptères d'Afrique du Nord. 6. *Alainites sadati*, 43-45.
- Thomas, C., Jones, T. H., & Hartley, S. E. (2019). “Insectageddon”: A call for more robust data and rigorous analyses. *Global change biology*, 25(6), 1891–1892.
- Thorp, J. H., Rogers, D. C., & Covich, A. P. (2015). Introduction to “Crustacea” *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (pp. 671-686): Elsevier.
- Tickner, D., Opperman, J. J., Abell, R., Acreman, M., Arthington, A. H., Bunn, S. E., . . . Edwards, G. (2020). Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. *BioScience*, 70(4), 330-342.
- Tihay, J. (1972). Modelés cryonival et glaciaire dans la haute montagne Algérienne: l'exemple de la chaîne du Djurdjura Grande Kabylie. *Revue de Géographie de Montréal*, 26, 447-463.
- Tukey, J. W. (1977). Exploratory data analysis. Reading, MA : Addison-wesley, Vol. 2 Springer.

V

- Santos, I., Rieradevall, M., Cooper, S. D., Melack, J. M., Dudley, T. L., & Prat, N. (2013). Fire as a disturbance in Mediterranean climate streams. *Hydrobiologia*, 719(1), 353-382.
- Vilenica, M., Stanković, V. M., Sartori, M., Kučinić, M., & Mihaljević, Z. (2017).

Références Bibliographiques

Environmental factors affecting mayfly assemblages in tufa-depositing habitats of the Dinaric Karst. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*(418), 14.

Vinçon, G., & Pardo, I. (1998). Three new Leuctra species from Tunisia (Plecoptera: Leuctridae). *Aquatic Insects*, 20(2), 109-123.

Gagneur, J. R. (2002). A guide to common freshwater invertebrates of North America.[en ligne]. mai 2002.

W

Wainwright, C. E., Entrekin, S. A., Stepanian, P. M., Mirkovic, D., Tank, J. L., & Kelly, J. F. (2020). Declines in an abundant aquatic insect, the burrowing mayfly, across major North American waterways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(6), 2987-2992.

Wang, X., Li, J., Tan, L., Yao, J., Zheng, Y., Shen, Q., & Tan, X. (2023). The impact of land use on stream macroinvertebrates: a bibliometric analysis for 2010–2021. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(5), 613.

Weigand, H., Beermann, A. J., Čiampor, F., Costa, F. O., Csabai, Z., Duarte, S., . . . Rulik, B. (2019). DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. *Science of the Total Environment*, 678, 499-524.

Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems (3rd ed.). Gulf Professional Publishing / Academic Press. ISBN 978-0-12-744760-5.

Wickham, H., & Grolemund, G. (2017). R for data science (Vol. 2): O'Reilly Sebastopol.

Y

Yand, Q, Chen, W, Qian, L, *et al.*(2022). The effect of environmental factors on the diversity of crane flies (Tipulidae) in mountainous and non-mountainous regions of the Qinghai-Tibet Plateau and surrounding areas. *Insects*. vol. 13, no 11, p. 1054.

Yasri-Cheboubi, N., Vinçon, G., & Lounaci, A. (2013). A review of the Algerian Leuctridae with the description of *L. dhyae* sp. n., from Central Algeria (Plecoptera: Leuctridae). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 86, 175-188.

Yasri-Cheboub, N., Vinçon, G., & Lounaci, A. (2016). The Nemouridae from Algeria (Insecta: Plecoptera). *Zoosystema*, 2016, vol. 38, no 3, p. 295-308

Références Bibliographiques

Yasri-Cheboubi, N. (2018). Recherches sur la faunistique, l'écologie et la zoogéographie des plécoptères d'Algérie. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.

Z

Zamora-Muñoz, C., & Alba-Tercedor, J. (1996). Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods. *Journal of the North American Benthological Society*, 15(3), 332-352.

Zouggaghe, F., & Moali, A. (2009). Variabilité structurelle des peuplements de macro-invertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie, Afrique du Nord). *Revue d'écologie*, 64(4), 305-321.

Zouggaghe, F. (2010). Étude des communautés de macro-invertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie). Thèse de Doctorat. Université A/Mira de Béjaia.

Zrelli, S., Boumaiza, M., Bejaoui, M., Gattolliat, J., & Sartori, M. (2016). New data and revision of the Ephemeroptera of Tunisia. *Inland Water Biology*, 3, 99-106.

Annexes

Tableau 28. Données climatique représentant les températures minimal (m), températures maximal (M) en °C et les Précipitations (P) en mm de la région de Djurdjura durant la période de 2010-2020 a une altitude de 500m

| Paramètres | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec | Annu |
|---------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|--------|
| Temp Max (M) | 20,71 | 24,6 | 27,5 | 30,0 | 37,6 | 42,3 | 43,5 | 43,2 | 39,2 | 37,9 | 29,6 | 23,1 | 33,28 |
| Temp Min(m) | -0,4 | -2,8 | -1,2 | 1 | 5,3 | 8,2 | 12,2 | 14,3 | 11,6 | 5,1 | 2,3 | -2,2 | 4,45 |
| Précipitations (P) | 105,5 | 91,4 | 85,3 | 70,6 | 44,9 | 17,5 | 4,1 | 12 | 30,2 | 59,2 | 101,9 | 81,3 | 704,27 |

Tableau 19. Données climatique représentant les températures minimal (m), températures maximal (M) en °C et les Précipitations (P) en mm de la région de Djurdjura durant la période de 2010-2020 a une altitude de 300m

| Paramètres | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec | Annu |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| Temp Max (M) | 22 | 26 | 29 | 31,3 | 38,9 | 43,6 | 44,8 | 44,5 | 40,5 | 39,2 | 30,9 | 24,4 | 34,61 |
| Temp Min(m) | 0,8 | -1,5 | 0,1 | 2,3 | 6,6 | 9,5 | 13,5 | 15,6 | 12,9 | 6,4 | 3,6 | -0,9 | 5,75 |
| Précipitations (P) | 84,4 | 73,1 | 68,2 | 56,5 | 35,9 | 14,0 | 3,31 | 9,6 | 24,1 | 47,4 | 81,5 | 65,05 | 563,39 |

Tableau 30. Données climatique représentant les températures minimal (m), températures maximal (M) en °C et les Précipitations (P) en mm de la région de Djurdjura durant la période de 2010-2020 a une altitude de 1000m

| Paramètres | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec | Annu |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|
| Temp Max (M) | 17,4 | 21,3 | 24,2 | 26,8 | 34,4 | 39,0 | 40,2 | 39,9 | 35,9 | 34,6 | 26,3 | 19,9 | 30,03 |
| Temp Min(m) | -3,7 | -6,0 | -4,4 | -2,2 | 2,0 | 4,9 | 8,9 | 11,0 | 8,3 | 1,8 | -0,9 | -5,4 | 1,20 |
| Précipitations (P) | 158,3 | 137,1 | 127,9 | 105,9 | 67,3 | 26,3 | 6,21 | 18 | 45,3 | 88,8 | 152,9 | 121,9 | 1056,3 |

Tableau31. Données climatique représentant les températures minimal (m),
températures maximal (M) en °C et les Précipitations (P) en mm de la région de
Djurdjura durant la période de 2010-2020 à une altitude de 1500m

| Paramètres | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Sept | Oct | Nov | Dec | Annu |
|--------------------------------|-------|-------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|-----------|-----------|-------|--------|
| Temp Max (M) | 14,2 | 18,1 | 21 | 23,5 | 31,1 | 35,8 | 37,0 | 36,7 | 32,7 | 31,4 | 23,1 | 16,6 | 26,78 |
| Temp Min(m) | -6,9 | -9,3 | -7,7 | -5,5 | -1,1 | 1,7 | 5,7 | 7,81 | 5,11 | -1,4 | -4,1 | -8,7 | -2,04 |
| Précipitatio ns (P) | 211,1 | 182,8 | 170, 6 | 141, 2 | 89,8 | 35,1 | 8,2 | 24 | 60,4 | 118, 5 | 203, 9 | 162,6 | 1408,5 |