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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de L'Univers
Département d´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- Environnement
Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Présentée par
HEZIL Wissam

Intitulée

Les macroinvertébrés de deux bassins versants du nord-est algérien : wilaya de Khenchela

Soutenue le : 09/12/2025 Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mr Nedjah Riad	Pr	Univ de Guelma	Président
Mm Samraoui Chenafi. Farrah	Pr.	Univ de Guelma	Encadreur
Mr Samraoui. Boudjéma	Pr.	Univ d'Annaba	Co-encadreur
Mme Chakri Khemissa	Pr	Univ d'Annaba	Examinatrice
Mme Yalles Amina	MCA	Univ. de Guelma	Examinatrice

Année Universitaire : **2025/2026**

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes parents qui se sont sacrifiés pour moi, pour tout le soutien qu'ils m'ont toujours témoigné et leur dévouement pour que je réussisse dans mes études et ma vie.

À la mémoire de mon grand-père avec lequel je n'aurais pas le plaisir de partager cet événement, mais qui est et demeurera dans mon coeur à jamais

À mon frère et mes soeurs avec mes souhaits de bonheur.

À ma chère Yasmina pour ses conseils et ses encouragements et pour son aide et son appui permanant durant mon cursus

À Mes chères neveux : Fatima Zohra, Khadidja, Aïcha, Maria et Mohamed

À toute ma famille

À toutes mes amies

WISSEM

Remerciements

Enfin nous y voici ...!!!

Une thèse, bien entendu c'est un travail de longue haleine, un défi que l'on se donne à soi-même, mais c'est surtout une formidable histoire de relation, de rencontres et d'amitié. Cette période de doctorat aura été probablement l'un des plus beaux chapitres de ma vie et j'aimerai remercier ceux et celles qui d'une manière ou d'une autre, ont participé à sa réalisation…

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Mme Pr SAMRAOUI Farah ; qui fut pour moi une directrice de thèse très attentive, à Mr Pr SAMRAOUI Boudjemaà, co-directeur de thèse, pour sa rigueur scientifique, son savoir et sa modestie m'ont beaucoup appris, ils ont été et resteront l'exemple idéal dans ma carrière professionnelle.

Je suis très honorée de remercier pour leur présence, les membres de jury de thèse :

-Professeur NEDJAH Riad , qui a accepté de présider ce jury,

-Professeur ChAKRI Khemissa , qui a accepté d'examiner cette thèse. Sincères remerciements,

-Professeur SATHA YALLES Amina, qui a accepté d'examiner cette thèse. Sincères remerciements.

Mes remerciements sont adressés à Mr le Pr NEDJAH Riad pour ses conseils les plus sincères, sa disponibilité permanente en tant que directeur de laboratoire LCZH, à ma chère collègue amie Mm Dr BOUHALA Zineb pour son soutien moral et son aide en terme scientifique durant mon cycle, à

mes chers collègues de laboratoire pour l'esprit de groupe qu'ils m'ont donné SATOUR Abdelatif, TAFRGHOUST Meriem, BOUCENNA Hayet.

Je souhaiterai aussi adresser ma gratitude à Mm HOUAM Lynda et Mm KELIL Hadia pour m'avoir fait confiance, pour leur disponibilité de m'avoir aidée d'une manière bénévole et généreuse, merci infiniment.

A celle qui a cru en moi quand moi-même je doutais, qui m'a tendu la main dans mes moments les plus sombres, et m'a murmuré avec force « tu es capable, l'échec n'a plus sa place ici ». A celle dont la voix pleine de joie m'a annoncée ma réussite avec un bonheur si grand qu'il remplissait le ciel « Ndjahti a 9arda ndjahti hhh » je lui dis du fond du coeur : jamais je n'oublierai ton soutien, ta foi en moi, ta douceur et ta force. Tu es une lumière dans mon chemin, un pilier dans mon parcours que Dieu te protège et te garde précieusement Ma chère Mm DELLAA Yasmina merci d'être là, simplement.

A titre plus personnel Je n'oublierai jamais de remercier chaleureusement Dr HEZIL Nabil, maitre de conférence et symbole de recherche, cousin et meilleur ami, pour son aide permanente et ses encouragements pour faire mes premiers pas dans la recherche scientifique, pour son soutien moral durant tout le cursus, malgré les distances.

A Mr KHALOUT Y., pour sa grandeur d'âme et son accueil chaleureux, son aide et son orientation dans le domaine de la cartographie, merci infiniment, que la paix soit sur son âme.

Table des Matières

	Désignation	Page
Dédicaces		
Remerciements		
Table des Matières		i
Liste des figures		v
Liste des tableaux		viii
Liste des abréviations		ix
Résumé		a
الملخص		c
Abstract		d
Introduction		1
	Chapitre I	
	Les zones humides et les macroinvertébrés	
	Revue de la littérature	7
I.1.	Les zones humides	17
I.1.1.	La définition des zones humides	17
I.1.2.	Les propriétés des zones humides	17
I.1.3.	L'importance des zones humides	17
I.1.4.	La valeur des zones humides	17
I.1.5.	Menaces et causes de dégradations	18
I.2.	Les eaux courantes	19
I.2.1.	Définition d'un cours d'eau	19
I.2.2.	Définition d'un oued	19
I.2.3.	Le bassin versant	20
I.2.4.	Les courants	20
I.2.5.	L'origine des courants	20
I.2.6.	L'importance des eaux courantes	20
I.3.	La pollution	20
I.3.1.	Définition de la pollution	20
I.3.2.	La pollution des eaux	21
I.3.3.	Eutrophisation des eaux courantes	22
I.4.	Les macroinvertébrés	22
I.4.1.	Définition des macroinvertébrés	22
I.4.2.	Les taxons les plus importants des macroinvertébrés	23
I.4.2.1.	Non insectes	23
I.4.2.2.	Les insectes	26
I.5.	Les caractéristiques des macroinvertébrés	41
I.6.	L'intérêt de l'étude des macroinvertébrés	42
I.7.	Les macroinvertébrés comme bio-indicateur	42
I.8.	Effet de la pollution sur les macroinvertébrés	43

Chapitre II

Présentation de la zone d'études

II.1.	Présentation générale	46
II.1.1.	Description générale et localisation de la wilaya de Khenchela	46
II.2.	Situation administrative	47
II.3.	Caractérisation de la Zone d'étude	47
II.3.1.	Caractères géomorphologiques	47
II.3.1.1	Relief	47
II.3.1.2.	La Pente	48
II.3.1.3.	La géologie	49
II.3.2.	Caractères pédologiques	49
II.3.3.	Caractères hydrographiques	50
II.3.4.	La richesse floristique	51
II.3.5.	Etude climatique de la zone d'étude	52
II.3.5.1.	Les indices climatiques	53
II.3.6.	Description des stations	56

Chapitre III

Matériel et méthodes

III.1.	Matériel d'étude	64
III.2.	Objectifs du travail	66
III.2.1	Choix des sites	66
III.2.2.	Plan d'échantillonnage	67
III.3.	L'échantillonnage des macroinvertébrés	69
III.3.1.	L'échantillonnage sur le terrain	69
III.3.2.	L'échantillonnage au laboratoire	70
III.4.	Analyse des données	70
III.4.1.	Analyse écologique	70
III.4.1.1.	L'organisation d'un peuplement	71
III.4.1.2.	La structure d'un peuplement	72
III.4.2.	Analyse multi variée	73
III.4.2.1.	Analyse en composante principale (ACP)	73
III.4.2.2.	Analyse Canonique des Correspondances (ACC)	74
III.4.2.3.	Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)	74

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1.	Influence des variables abiotiques sur les écosystèmes	77
IV.1.1.	La profondeur de l'eau	77
IV.1.2.	Largeur du lit	79
IV.1.3.	La vitesse de l'eau	81
IV.1.4.	La pente	83
IV.1.5.	La turbidité	84
IV.1.6.	Pollutions et actions anthropiques	85
IV.2.	Analyse des taxons faunistiques récoltés	85

IV.2.1. Analyse générale 85
IV.2.2. La liste taxonomique de la faune d'insectes recensés 87
IV.2.3. La répartition spatiotemporelle des insectes dans la wilaya de Khenchela 88
IV.2.3.1 Bassin Versant Nord 88
IV.2.3.2. Bassin Versant Sud 89
IV.3. Structure et Organisation des peuplements d'Odonates 91
IV.3.1. Analyse globale de l'inventaire 91
IV.3.2. Inventaire taxonomique de peuplement Odonatologiques 92
IV.3.3. Abondance des familles et des espèces recensées 96
IV.3.4. La fréquence d'occurrence des espèces recensées 97
IV.3.5. Répartition spatiale du peuplement des Odonates 98
IV.3.5.1. Abondance relative et effectif des espèces en fonction des sites d'étude 98
IV.4. Structure et Organisation des peuplements des Trichoptères 104
IV.4.1. Analyse globale du peuplement 104
IV.4.2. Abondance des familles et des espèces recensées 104
IV.4.3. Fréquence des espèces recensées 106
IV.4.4. Analyse de la distribution spatiale du peuplement Trichoptère 106
IV.4.4.1. Abondance des espèces 106
IV.4.4.2. La richesse taxonomique 107
IV.5. Hémiptères 117
IV.5.1. Gerridae 120
IV.5.2. Notonectidae 121
IV.5.3. Veliidae 123
IV.6. Les indices de biodiversité 126
IV.6.1. L'indice de Shannon (H') 127
IV.6.2. Indice de Simpson (1-λ) 127
IV.6.3. Équitabilité de Pielou (J) 127
IV.6.4. Comparaison entre les sites 127
IV.7. Analyse en Composantes Principales (ACP) 128
IV.7.1. Sélection des variables 129
IV.7.2. Analyse descriptive des données 129
IV.7.3. Analyse de Corrélation 130
IV.8. Analyse des composantes 133
IV.8.1. Corrélation des variables avec les axes 133
IV.8.2. Projection des individus (Oueds) 134
IV.9. Analyse Canonique des Correspondances (ACC) 136
IV.9.1. Variables Biologiques (Communautés d'Espèces) 137
IV.9.2. Variables Environnementales 137
IV.9.3. Contribution des sites dans la construction des axes 139
IV.9.4. Contribution des espèces dans la construction des axes 139
IV.9.5. Correspondance avec le graphe sites/objets 140
IV.10. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) 141
IV.10.1. Facteur 1 (F1) – Gradient altitudinal et qualité physique de l'eau 143
IV.10.2. Facteur 2 (F2) – Gradient trophique et végétation aquatique 143
IV.10.3. Facteur 3 (F3) – Nature du substrat 144

IV.10.4. Facteur 4 (F4) – Flux hydriques et dynamique sédimentaire 144
IV.10.5. Facteur 5 (F5) – LDLM et structure microhabitat 144
IV.11. Ordre des Ephéméroptères 146
IV.11.1. Résultats 153
IV.11.2. Discussion 158
Conclusion 163
Références bibliographiques 170
Liste des publications
Articles et travaux publiés

Liste des Figures

Nº	Titre	Page
Figure 1	Les Crustacés (les gammares).	23
Figure 2	Gastéropodes.	25
Figure 3	Les Annélides (Oligochètes).	25
Figure 4	Annélide – sangsue.	25
Figure 5	Nématode.	26
Figure 6	Morphologie de la larve d'Ephéméroptère.	27
Figure 7	Vue dorsale et latérale d'un Trichoptère.	31
Figure 8	Vue dorsale d'un Coléoptère adulte et vue latérale d'une larve.	34
Figure 9	Vue dorsale et latérale d'une larve d'Odonate.	35
Figure 10	Vue dorsale d'un Plécoptère.	37
Figure 11	Larves de Diptères.	38
Figure 12	Vue dorsale d'un Hémiptère.	39
Figure 13	Les lépidoptères (larve, nymphe).	41
Figure 14	Position de la wilaya de Khenchela dans les hauts plateaux algériens.	46
Figure 15	Zones naturelles de la wilaya de Khenchela.	46
Figure 16	Localisation de la wilaya de Khenchela dans le nord de l'Algérie.	46
Figure 17	Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela.	47
Figure 18	Carte des pentes de la wilaya de Khenchela.	48
Figure 19	Carte pédologique de la wilaya de Khenchela.	50
Figure 20	Carte hydrologique de la wilaya de Khenchela.	51
Figure 21	Diagramme de température pendant la période 2011-2020 dans la wilaya de Khenchela (station météorologique d'El Hamma, 2021).	52
Figure 22	Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2011-2021).	53
Figure 23	Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude (2011-2021).	55
Figure 24	Climagramme d'Emberger de la zone d'étude.	56
Figure 25	Localisations des stations de prélèvement.	66
Figure 26	Variations mensuelles de la profondeur dans les stations étudiées (Oued Lazrag, pendant la campagne 2019-2020).	77
Figure 27	Variations mensuelles de la profondeur dans les stations étudiées (Oued Noghis, 2019/2020).	78

Figure 28	Variations mensuelles de la profondeur dans les stations étudiées (Oued Ibikan, pendant la campagne 2019/2020).	78
Figure 29	La profondeur de l'eau des deux stations étudiées (Oued L'Arab, durant la campagne 2021).	79
Figure 30	Largeur du lit dans chaque station échantillonnée (Oued Lazrag, durant la campagne 2021).	79
Figure 31	La largeur du lit dans chaque station échantillonnée (Oued Noghis, pendant la campagne 2019/2020).	80
Figure 32	La largeur du lit dans chaque station échantillonnée (Oued Ibikan, pendant la campagne 2019/2020).	80
Figure 33	Largeur du lit des deux stations (Oued l'Arab, pendant la campagne 2021).	81
Figure 34	Variation mensuelle de la vitesse d'eau dans les stations étudiées (Oued Lazrag, pendant la campagne 2019/2020).	82
Figure 35	Variation mensuelle de la vitesse d'eau dans les stations étudiées (Oued Noghis, pendant la campagne 2019/2020).	82
Figure 36	Variation mensuelle de la vitesse de l'eau dans les stations étudiées (Oued Ibikan, pendant la campagne 2019/2020).	83
Figure 37	Paramètres Largeur du lit, Profondeur et Vitesse de l'eau dans les stations étudiées, pendant la campagne 2021.	83
Figure 38	Variation de la pente entre les stations de prélèvement.	84
Figure 39	Valeurs de la variation de turbidité dans les stations de prélèvement.	84
Figure 40	Répartition quantitative de la faune aquatique recensée pendant la période d'étude (pendant la campagne 2019-2021) (a) peuplement des vertébrés, (b) peuplement des invertébrés.	86
Figure 41	La répartition spatio-temporelle de l'effectif des différents ordres d'insectes dans le bassin versant nord à Khenchela durant la période de juin 2019 à mai 2020.	89
Figure 42	La répartition spatio-temporelle de l'effectif des différents ordres d'insectes dans bassin versant sud à Khenchela pendant le mois d'avril 2021.	90
Figure 43	La répartition spatio-temporelle de l'effectif des différents ordres d'insectes dans bassin versant sud à Khenchela pendant le mois d'avril et mai 2021.	91
Figure 44	Abondance relative des peuplements d'Odonates (Anisoptères et Zygoptères dans la zone d'étude.	92

Figure 45 Répartition en fonction de l'abondance des familles des Odonates dans la région d'étude. 96
Figure 46 Répartition des espèces des Odonates de la région d'étude. 97
Figure 47 Abondance relative des espèces d'Odonates présentées dans les différents sites d'étude. 99
Figure 48 L'effectif des espèces d'Odonates en fonction des stations d'étude. 100
Figure 49 Cartographie de la distribution des Odonates dans les stations d'étude. 103
Figure 50 L'abondance des familles des Trichoptères de la région d'étude. 105
Figure 51 L'abondance relative des taxons des Trichoptères de la région d'étude. 105
Figure 52 Abondance relative de Trichoptère présents dans les stations de prospection. 107
Figure 53 L'effectif des espèces Trichoptères en fonction des stations d'étude. 108
Figure 54 Cartographie de La distribution des Trichoptères dans les stations d'étude. 117
Figure 55 Abondance des Hémiptères dans les stations d'étude. 119
Figure 56 La répartition des Hémiptères dans les stations d'étude. 119
Figure 57 La répartition des espèces d'Hémiptères dans les stations d'étude. 125
Figure 58 Cartographie de La distribution des Hémiptères dans les stations d'étude. 125
Figure 59 Graphiques des indices de diversité. 128
Figure 60 Répartition des variables actives sur le plan factoriel (ACP axes 1 et 2). 132
Figure 61 Biplot de projection des Oueds. 135
Figure 62 Bi-plot sites/espèces de l'analyse ACC. 141
Figure 63 Représentation graphique de l'analyse factorielle des correspondances (AFC). 145
Figure 64 Scree plot des valeurs propres. 146
Figure 65 Carte nord-est Algerian avec la location de prélèvement dans les régions d'étude (Ordre Ephéméroptère). 151
Figure 66 Trois vues des localités : a) Oued Arab, Khenchela (L60), b) Oued Dahman, Oum El Bouaghi (L16), c) O. Agab, Mountagne d'Edough. 153
Figure 67 a) Larve d'E*phemera glaucops*, b) Adulte d'*Ephemera glaucops* c) Adulte *Ephoron virgo*, d) Larve *Potamanthus luteus.* 157
Figure 68 Larve d' *Ephoron virgo* (a & b). 158

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Les données géographiques des stations de prélèvement.	67
Tableau 2	Normes de vitesse de l'eau selon l'échelle de Berge	68
Tableau 3	Les caractéristiques environnementales des stations d'étude.	69
Tableau 4	Liste taxonomique de la faune d'insecte recensée (2019-2021).	87
Tableau 5	Liste taxonomique d'ordre Odonate dans la région d'étude.	92
Tableau 6	Fréquence des espèces recensées.	97
Tableau 7	Phénologie et liste de localité des Odonates recensés.	103
Tableau 8	Liste taxonomique de la faune de Trichoptère dans la région d'étude.	104
Tableau 9	Fréquence des espèces recensées.	106
Tableau 10	Phénologie et liste de localité des Trichoptères recensés dans les stations d'étude.	117
Tableau 11	Phénologie et liste de localité des Hémiptères recensés dans les sites d'étude.	126
Tableau 12	Résultats d'estimation des indices.	126
Tableau 13	Statistiques descriptives des variables.	130
Tableau 14	Matrice de corrélation des variables.	131
Tableau 15	Corrélations (r) des variables environnementales avec les deux premiers factoriels (F1 et F2) de l'ACP.	133
Tableau 16	Statistiques descriptives des variables biologiques et environnementales.	137
Tableau 17	Contribution des sites dans la construction des axes.	139
Tableau 18	Contribution des espèces dans la construction des axes.	140
Tableau 19	Statistique descriptive des variables.	141
Tableau 20	La matrice des saturations factorielles Factor pattern.	143
Tableau 21	Valeurs Propres, Variabilité et Pourcentage Cumulé des Composantes Factorielles.	145
Tableau 22	Coordonnées des sites d'échantillonnage localisés à Collo, Oum El Bouaghi, Khenchela et Batna.	152
Tableau 23	Liste des Ephéméroptères recensés au cours de cette étude à Collo, Oum El Bouaghi, Khenchela et Batna, dans le nord-est de l'Algérie.	154
Tableau 24	Liste actualisée des Ephéméroptères recensés entre 2018 et 2022 dans le nord-est de l'Algérie	154

Liste des abréviations

ACC	Analyse Canonique des Correspondances
ACP	Analyse en Composante Principale
AFC	Analyse Factorielle des Correspondances
GPS	Global Positioning System / Système de géolocalisation par satellite.
ha	Hectare
L.C. Z. H	Laboratoire de la Conservation des Zones Humides
LDLM	Largeur du lit mouillée
m/s	Mètre par second
MATET	Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme
NA	Not Available/ Non disponible
NMDS	Non-Metric Multidimensional Scaling / Analyse multidimensionnelle non métrique
NS	Nature de substrat
PERMANOVA	Permutational Multivariate Analysis of Variance / Analyse de la variance multivariée permutée
PLE	Profondeur de la lame d'eau
Pmm	précipitations moyennes mensuelles
RIP	Ripisylve
t	Température moyenne mensuelle en (°C)
T	Températures moyennes annuelles (°C)
µ	Micro

Résumé

Intitulé : Les macroinvertébrés de deux bassins versants Nord-Est Algérien : la wilaya de Khenchela

Résumé

Les zones humides sont vitales pour la survie de l'humanité et sont les milieux les plus productifs de la planète. Cependant, les études démontrent que les zones humides subissent un déclin continu et leur qualité suite aux menaces subies par la pollution et les changements climatiques. À l'instar d'autres pays, l'Algérie a déployé de nombreux efforts de conservation afin de freiner l'érosion de la biodiversité par le changement climatique, qui menace les fonctions des écosystèmes et leurs services. Les macroinvertébrés aquatiques constituent un important maillon dans la chaîne alimentaire, ils sont connus comme de bons bioindicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation des habitats. Notre problématique porte sur l'influence de la pollution du milieu sur l'abondance, la distribution spatiale et la diversité spécifique des macroinvertébrés benthiques. L'étude temporelle se situe entre 2019 et 2021, celle spatiale comprend des bassins versants dans la wilaya de Khenchela, en utilisant un échantillonnage simple aléatoire, sur 17 sites. L'inventaire englobe 12030 individus repartis sur 12 ordres, les peuplements sont composés d'invertébrés avec 98% et de 2% seulement de vertébrés. Parmi les invertébrés, les insectes sont dominants, représentés essentiellement par les Ephéméroptères (61%) et les Trichoptères (13%), les Coléoptères (7%), les Odonates (10%). Les Diptères et les Hémiptères représentent des valeurs faibles. Au cours de cette étude, les prospections ont permis de collecter un total de 273 individus de peuplement odonatologique majoritairement dominés par le sous-ordre des Anisoptères, représentant 71% du total des individus collectés, soit 193 spécimens. En comparaison, les Zygoptères représentent 29% des effectifs, avec 80 individus. Ces odonates appartiennent à un total de 4 familles se répartissant sur 4 espèces différentes dont la famille des Gomphidae montre une nette dominance avec l'espèce la plus abondante *Onychogomphus uncatus.* Dans le cadre des campagnes d'échantillonnage, 752 individus sont collectés, appartenant à trois familles distinctes, regroupant sept espèces. Parmi les Trichoptères collectés, la famille des Hydropsychidae se distingue comme la plus dominante, représentée par quatre espèces. En examinant les espèces, il apparaît que *Hydropsyche maroccana Navás*1936 est l'espèce la plus abondante, avec un effectif de 495 individus. Au cours de cette recherche,

nous avons recueilli 271 spécimens d'Hémiptères répartis en trois familles. Les Gerridae sont les plus nombreux avec 187 spécimens, constituant 69% de l'ensemble. Ensuite, les Notonectidae, avec 60 spécimens représentant 22%, les Veliidae sont en troisième position avec 24 spécimens, 9% du total. 36 espèces de l'ordre Ephéméroptère ont été recensées, dont dix nouvelles pour la science, parmi lesquelles *Centroptilum samraouii* ainsi que trois espèces endémiques récemment décrites : *Habrophlebia djurdjurensis, Ecdyonurus aurasius* et *Baetis dihyae*. Les résultats constitueront une étude pionnière sur les macroinvertébrés, offrant des données précieuses pour l'évaluation, le suivi et la conservation des écosystèmes de la wilaya de Khenchela.

Mots clés : Zone humide, Biodiversité, Macroinvertébrés, Bassin versant, Khenchela, Algérie.

العنوان : اللافقاريات الكبيرة في حوضي المياه شمال شرق الجزائر: ولاية خنشلة

الملخص

الأراضي الرطبة حيوية لبقاء البشرية وهي أكثر البيئات إنتاجية على كوكب الأرض. ومع ذلك، تشير الدراسات إلى أن الأراضي الرطبة تشهد تدهوراً مستمراً في جودتها نتيجة للتهديدات الناجمة عن التلوث وتغير المناخ. وكغيرها من البلدان، بذلت الجزائر العديد من الجهود للحفاظ على التنوع البيولوجي لوقف تآكل التنوع البيولوجي بسبب تغير المناخ، الأمر الذي يهدد وظائف وخدمات النظام البيئي. تعتبر اللافقاريات المائية الكبيرة حلقة مهمة في السلسلة الغذائية، ومن المعروف أنها مؤشرات حيوية جيدة لصحة النظم الإيكولوجية المائية بسبب تفاوت تحملها للتلوث وتدهور المحيط. وتكمن مشكلتنا في التداخل بين البيئة الملوثة ووفرة وتوزيع وتنوع اللافقاريات. تُجرى الدراسة الزمنية بين عامي 2019 و2021، بينما تغطي الدراسة المكانية مناطق مجمعات المياه في ولاية خنشلة باستخدام عينات عشوائية بسيطة في 17 موقعًا. ويغطي الجرد ما مجموعه 1230 فردًا في 12 رتبة، حيث تتكون 98٪ من المجموعات من اللافقاريات و 2٪ فقط من الفقاريات. ومن بين اللافقاريات، تهيمن الحشرات التي تمثلها بشكل رئيسي ، و"إفيمبيريبتيرا" (61 %) و"ترايكوبتيرا" (13 %)، و"غمدية الأجنحة" (7%) و"أودوناتا" (10%). في حين مثلت الغاطسة الغمدية الأجنحة والنحلبية أعدادًا منخفضة. خلال فترة الدراسة، جُمع 273 عينة من الأودوناتا، هيمنت على معظمها الرتبة الفرعية Anisoptera ، حيث شكلت 71% من إجمالي عدد العينات التي تم جمعها (193). وبالمقارنة، مثلت 29% Zygoptera من المجموع الكلي مع 80 عينة. تنتمي هذه الأودونات إلى 4 عائلات و4 أنواع مختلفة، من الواضح أن عائلة Gomphidae هي المهيمنة على هذه الأنواع، وأكثرها وفرةً هي *Onychogomphphus uncatus*. كجزء من حملات أخذ العينات، تم جمع 752 فرداً، تنتمي إلى ثلاث عائلات مختلفة وتجمع سبعة أنواع معاً. من بين الأنواع ثلاثية الأجنحة التي تم جمعها، تبرز عائلة Hydropsychidae باعتبارها الأكثر هيمنةً، حيث تمثلها أربعة أنواع. ويكشف فحص الأنواع عن أن *Hydropsyche maroccana* Navás1936 هو أكثر الأنواع وفرة بإجمالي 495 فرداً. في سياق هذا البحث، جمعنا 271 عينة من فصيلة هيميبتيرا مقسمة إلى ثلاث عائلات. كانت Gerridae هي الأكثر عدداً بـ 187 عينة، مما يشكل 69% من المجموع الكلي. وجاءت بعد ذلك فصيلة Notononectidae بـ 60 عينة تمثل 22%، وجاءت فصيلة Veliidae في المرتبة الثالثة بـ 24 عينة تمثل 9% من المجموع الكلي. تم تسجيل 36 نوعًا من رتبةEphemeropteroptera ، بما في ذلك عشرة أنواع جديدة للعلم، مثل *Centroptilum samraouii*وثلاثة أنواع من الكائنات الدقيقة التي وصفت مؤخرًا : *Habrophlebia djurdjurensis* و *Ecdyonurus aurasius*. و *Baetis dihyae* ستشكل هذه النتائج دراسة رائدة للافقاريات الكبيرة، مما يوفر بيانات قيمة لتقييم ومراقبة وحفظ النظم البيئية في ولاية خنشلة.

الكلمات المفتاحية : المنطقة الرطبة، التنوع البيولوجي، اللافقاريات الكبيرة، الحوض المائي، خنشلة، الجزائر.

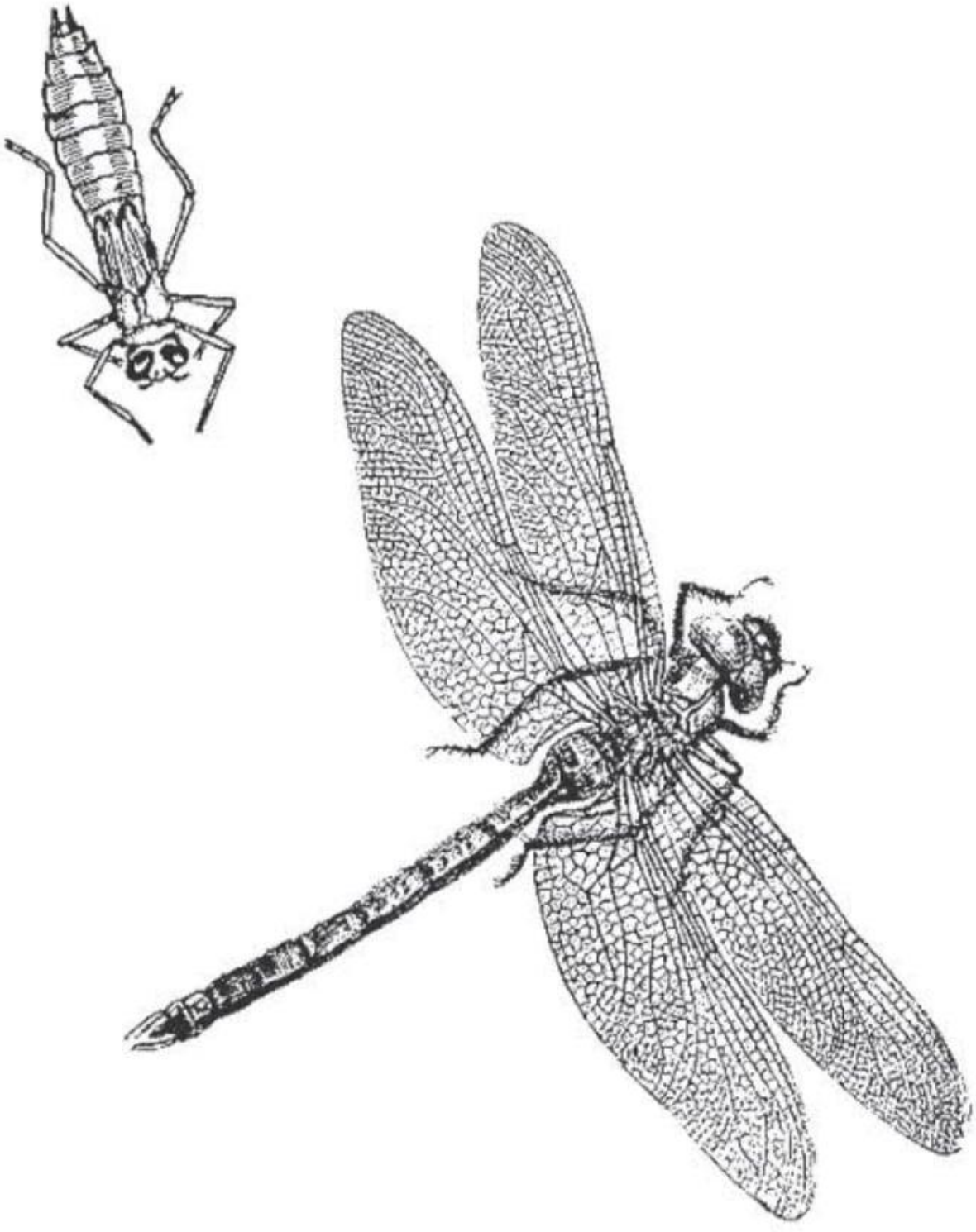
Entitled: **The macroinvertebrates of the two northeast Algerian watersheds** : **the wilaya of Khenchela**

Abstract

Wetlands are vital to human survival and are the most productive environments on the planet. However, studies show that the quality of wetlands is steadily declining as a result of threats from pollution and climate change. Like other countries, Algeria has made numerous conservation efforts to halt the erosion of biodiversity by climate change, which threatens ecosystem functions and services. Aquatic macroinvertebrates are an important link in the food chain, and are known to be good bioindicators of the health of aquatic ecosystems, due to their variable tolerance to pollution and habitat degradation. Our problem lies at the interface between the polluted environment and the abundance, distribution and diversity of benthic macroinvertebrates. The temporal study takes place between 2019 and 2021, while the spatial study covers watersheds in the wilaya of Khenchela, using simple random sampling at 17 sites. The inventory covers a total of 1230 individuals in 12 orders, 98% of which are invertebrates and only 2% vertebrates. Among invertebrates, insects dominate, represented mainly by, Ephemeroptera (61%) and Trichoptera (13%), Coleoptera (7%) and Odonata (10%). Diptera and Hemiptera represent low values. A total of 273 odonatological specimens were collected during this study, with the Anisoptera suborder dominating, accounting for 71% of the total, or 193 specimens. In comparison, Zygoptera represented 29% of the total, with 80 specimens. These odonates belong to a total of 4 families and 4 different species, of which the Gomphidae family clearly dominates, with *Onychogomphus uncatus* the most abundant species. During the sampling campaigns, 752 individuals were collected, belonging to three distinct families and grouping together seven species. Among the Trichoptera collected, the Hydropsychidae family stands out as the most dominant, represented by four species. An examination of the species reveals that *Hydropsyche maroccana* Navás1936 is the most abundant species, with a total of 495 individuals. In the course of this research, we collected 271 specimens of Hemiptera divided into three families. Gerridae were the most numerous with 187 specimens, making up 69% of the total. Next in line are the Notonectidae, with 60 specimens representing 22%, and the Veliidae are in third place with 24 specimens, 9% of the total. 36 species of the order Ephemeroptera were recorded, ten of which are new to science, including *Centroptilum samraouii* and three recently described endemics: *Habrophlebia djurdjurensis*, *Ecdyonurus aurasius* and *Baetis dihyae*. The results will constitute a pioneering study of macroinvertebrates, providing valuable data for the assessment, monitoring and conservation of ecosystems in the Khenchela wilaya.

Keywords: Wetland, Biodiversity, Macroinvertebrates, Watershed, Khenchela, Algeria.

Introduction



Introduction

Les zones humides font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et la productivité naturelle (Acreman, 2000 ; Bonnet et al., 2005). Elles fournissent de multiples services qui contribuent au bien-être de l'humanité et à la réduction de la pauvreté (Brink et al., 2013). Dès 1971, la communauté internationale a reconnu leur importance en signant la Convention sur les zones humides d'importance internationale, communément appelée Convention de Ramsar. D'après la sixième édition du manuel de la Convention de Ramsar en janvier 2013, 163 pays étaient contractants à la Convention et plus de 2060 zones humides, couvrant plus de 197 millions d'hectares figuraient sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale (Ramsar, Iran, 1971) (6e éd.).

Selon la convention de Ramsar, correspondent aux zones de marais, de marécages, tourbières ou eau libre, qu'elles soient naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, que l'eau soit stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, incluant les zones d'eaux marines littorales dont la profondeur ne dépasse pas six mètres à marée basse (Ramsar, 1971 in Dajoz, 2006).

Les zones humides contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau, retiennent les excédents d'eau et amortissent l'écoulement en aval. Les eaux ainsi retenues peuvent alors s'infiltrer et recharger les nappes souterraines, l'ensemble des zones humides d'un bassin agit comme une éponge, absorbe les écoulements et les pluies pour les restituer en période de sécheresse. Ce sont des filtres naturels qui participent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau, elles retiennent ou éliminant les matières en suspension, les polluants tels que les résidus toxiques ou les produits phytosanitaires. L'abondance des formes de vie dans les zones humides est étonnante : bactéries, plantes, insectes, crustacés, mollusques, amphibiens, poissons, oiseaux, mammifères…etc. Ce qui les rend un fabuleux réservoir de biodiversité. Elles offrent aux organismes qui y sont inféodés les facteurs essentiels à leur vie : l'alimentation - la présence des ressources alimentaires variées avec une richesse et une concentration en éléments nutritifs dans ces zones assurent la disponibilité de ressources alimentaires pour de nombreuses espèces- et la diversité des habitats constituent des éléments essentiels conditionnant la répartition et la reproduction de ces organismes, aussi bien sur le plan de la biodiversité que de la productivité naturelle (Dajoz, 1975).

Les zones humides sont des milieux complexes, fragiles et divers, elles font partie des écosystèmes les plus riches de la planète après les forêts tropicales (Pearce & Crivelli, 1994).

D'après un recensement effectué en 2006, l'Algérie dispose de 1451 zones humides dont 762 sont naturelles et 689 artificielles (Fekir, 2010). Parmi les 1451, 50 sites sont classés sur la liste de la convention de Ramsar des zones humides, avec une superficie de près 3 millions d'hectares, soit 50% de la surface totale estimée des zones humides se situe en Algérie. C'est le troisième pays en Afrique, après le Botswana, 6.8 millions d'ha, et la Tanzanie avec 3.5 millions d'ha. Sur le plan international, notre pays se classe en huitième position après le Canada (13 millions d'ha), la Russie (10.3 millions d'ha), l'Australie (5.2 millions d'ha), le Brésil (4.5 millions d'ha) et le Pérou (2.9 millions d'ha) (Annani, 2012).

Les zones humides en Algérie occupent des superficies plus ou moins importantes concentrées surtout à l'Est du pays. Ce complexe humide est surtout composé de lacs, de marais, de chotts, de sebkhas et de Gueltas, qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle (Boukli, 2012).

Les zones humides du nord-est algérien se caractérisent par :

- Une biodiversité faunistique et floristique importante (Samraoui & Belair, 1997).
- Une grande diversité de milieux (marais inondé, lacs salins).

Un ensemble de zones humides : lacs, marais, mares, étangs, dispersés dans le massif dunaire a fait l'objet de plusieurs études écologiques (Neffar, 1991 ; Belair & Samraoui, 1994 ; Terki, 1997 ; Layachi, 1997 ; Mekki, 1998). A la différence des mares, les étangs ne sont pas de simples points d'eau. En dépit de leur petit volume, ce sont des écosystèmes très riches et lieux de rencontre des milieux aquatiques et terrestres.

La conservation des zones humides passe obligatoirement par une parfaite connaissance de la distribution de la faune et de la flore qu'elles abritent. Plusieurs classes d'invertébrés, dont les insectes sont, en effet, utilisées pour servir comme phares pour évaluer la qualité des zones humides. Ils constituent plus de 50% de la diversité de la planète (Wilson, 1988) et près de 60% de celle du règne animal, ils prennent de plus en plus d'importance dans la recherche (Kevan, 1999) car ils participent à toute la gamme des processus naturels essentiels au maintien des systèmes biologiques. Leur importance écologique les rend utiles pour l'évaluation des perturbations ou des impacts environnementaux (Lehmekuhl et al., 1984).

Parmi les communautés biologiques, celles des macroinvertébrées sont les plus utilisées pour évaluer l'état de santé globale des écosystèmes aquatiques (Hellawell, 1986 in Barbour et al., 1999). Ce sont des organismes visibles à l'œil nu, tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers, qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs. Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils constituent une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux. Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat. Ils intègrent les effets cumulatifs et synergiques à court terme (allant jusqu'à quelques années) des multiples perturbations physiques (modifications de l'habitat), biologiques et chimiques dans les cours d'eau. Ils sont abondants dans la plupart des rivières et faciles à récolter. De plus, leur prélèvement a peu d'effets nuisibles sur le biote résident (Barbour et al., 1999).

Selon (Touzin, 2008) le suivi des macroinvertébrés benthiques est utile pour :

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

Les premières recherches en limnologie en Afrique du Nord remontent au 19ème siècle, et elles sont limitées le plus souvent à des notes zoologiques, l'écologie n'étant que sommairement abordée : Edwards (1923), Lestage (1925), Gauthier (1928), Navas (1929), Thomas et Dakki (1979). La recherche en écologie sur les invertébrés dans les écosystèmes aquatiques continentaux de l'Algérie était rare et incomplète jusqu'aux années 1980 (Benzina, 2018). Ce n'est qu'après les années 1980 que plusieurs travaux ont été réalisés dans différentes parties du pays. Les principaux travaux connus sont ceux de Gagneur et al., (1986) sur les Oligochètes d'Algérie, Lounaci (1987) sur la faune des cours d'eau d'Oued Aissi, Gagneur et Clergue-Gazeau (1988) sur les Diptères Simuliidae d'Algérie, Gagneur et Thomas

(1988) sur les Ephéméroptères d'Algérie, Arab (1989) sur les macroinvertébrés d'Oued Chiffa et Mouzaia, Gagneur et Aliane (1991) sur les Plécoptères de la Tafna, Moubayed et al., (1992) sur les Diptères Chironomidae d'Algérie, Lounaci Daoudi (1996) sur les macroinvertébrés du réseau hydrographique du Sébaou, Thomas (1998) sur les Ephéméroptères d'Algérie, du Maroc et de Tunisie, Samraoui et Menai (1999) sur les Odonates d'Algérie, Lounaci et al., (2000) sur la faune benthique du bassin d'Oued Sébaou, Mebarki (2001) sur la faune benthique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie, Arab (2004) sur la faune benthique des réseaux hydrographiques du Chélif et du Mazafran, Lounaci et Vinçon (2005) sur les Plécoptères de Kabylie, Moubayed et al., (2007) sur les Diptères Chironomides d'Algérie, Yasri (2009), sur l'hydrobiologie du réseau hydrographique du Mazafran, Hamzaoui (2009), sur la macrofaune benthique de l'Oued Saoura (wilaya de Bechar), Sekhi (2010) sur les macroinvertébrés des cours d'eau Tiout, Hadjadj et Moghrar (wilaya de Naâma), Haouchine (2011) sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie, Djellab et al., (2013) sur les Diptères : Syrphidae du Nord Est de l'Algérie, Fergani et Arab (2013) sur l'utilisation des macroinvertébrés benthiques comme bioindicateurs de pollution d'Oued El-Harrach, Lakhdara et al., (2014) sur la caractérisation des macro invertébrés et les Amphibiens dans différents plans d'eau de l'extrême Nord-est Algérien, Cherairia et al., (2014) sur la biodiversité des Diptères: Simuliidae du Nord Est de l'Algérie, Zouggaghe et al., (2014) sur la qualité biologique du réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam (nord de l'Algérie), Bebba et al., (2015) sur le peuplement d' Ephéméroptères de l'oued Abdi, Bouchelouche et al., (2015) sur la déterminants du statut et de l'environnement de la distribution des Odonates de Wadi Isser (Kabylie, Algérie), Sellam et al., (2016) sur l'utilisation des Coleoptera, Ephemeroptera et Diptera comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques Oueds en Algérie, Belhaouari et al., (2017) sur l'utilisation des macroinvertébrés et des macrophytes pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau de l'Oued Chelef, Benzina, Si Bachir et al.,(2018) sur les Diptères: Chironomides du Nord Est d'Algérie, Bouhala et *al.*, 2019; Benhadji et *al.*, 2020 ; Dambri et al.,2020 sur les Trichoptères.

La région de Khenchela est située à l'extrémité Nord oriental du massif des Aurès, à 120 Km au sud-est de Constantine. Comme le reste du pays, elle se localise sous la dominance du climat méditerranéen. Ce climat est caractérisé par une sécheresse estivale qui

varie de quatre à cinq mois et une pluviométrie assez irrégulière dont la plus grande quantité est notée durant l'hiver.

La wilaya de khenchela est caractérisée par un réseau hydrographique important avec la présence de plusieurs Oueds. A nos connaissances l'aspect écologique de ces milieux n'a jamais été étudié et pour combler cette lacune nous projetons dans cette étude au niveau de cette wilaya de réaliser un suivi systématique d'une classe d'animaux très importante comme bio-indicateur de la qualité biologique des écosystèmes aquatiques représentés par les macroinvertébrés.

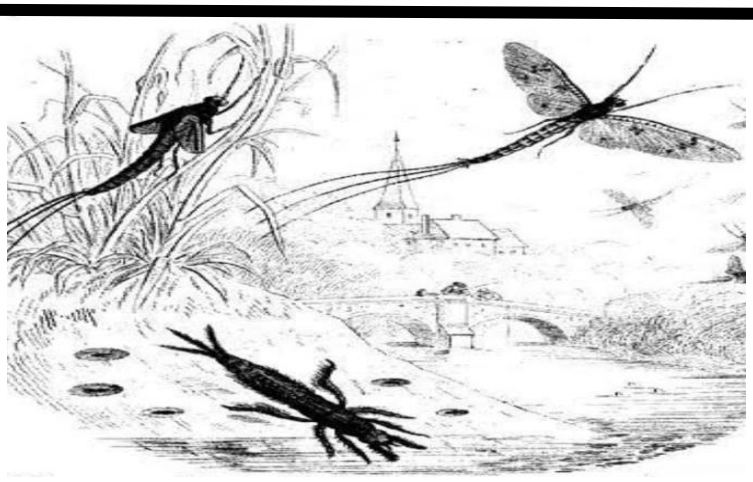
L'objectif de cette étude est :

- Etablir une check-list des principaux groupes taxonomiques des macroinvertébrés des écosystèmes aquatiques de la wilaya de Khenchela,
- Cartographier la distribution des espèces à l'échelle locale et régionale,
- Etablir la phénologie des espèces,
- Evaluation du statut des espèces,
- Typologie des milieux et caractérisation des niches écologiques,
- Identification des principales menaces concernant les milieux.

Ce travail est structuré par une introduction suivie par le premier chapitre qui aborde les zones humides et les macroinvertébrés, suivi du deuxième chapitre relatif à la description générale des sites d'étude, suivi par le troisième chapitre, dans lequel est effectuée une étude climatique de la zone d'étude et le quatrième chapitre réservé au matériel et méthodes utilisés. Enfin, les résultats de ce travail ainsi que leur discussion seront présentés dans le cinquième chapitre et nous terminerons par une conclusion où nous ferons le point sur la connaissance des macroinvertébrés et nous explorerons les perspectives d'avenir.

Chapitre I

Les zones humides et les macroinvertébrés



Revue de littérature sur les macroinvertébrés

L'étude des macroinvertébrés est essentielle pour comprendre la biodiversité et la dynamique des écosystèmes aquatique à l'échelle mondiale. Ces organismes jouent un rôle clé dans la régulation des processus écologiques et la conservation des écosystèmes les plus menacés. Les recherches menées à travers le monde contribuent à l'élaboration de stratégies globale de restauration et de protection de l'environnement, parmi ces recherches on mentionne :

En 1988, Hilsenhoff a mis au point un indice biotique, connu sous le nom d'Indice de Tolérance Biotique de Hilsenhoff (HBI), afin d'évaluer la qualité de l'eau des cours d'eau. Cet indice repose sur la sensibilité des macroinvertébrés benthique à la pollution organique. Chaque taxon se voit attribuer un score de tolérance allant de 0 (très sensible) à 10 (très tolérant). Plus la valeur de l'indice est élevée, plus le cours d'eau est considéré comme pollué. Cet outil est largement utilisé en bioindication pour surveiller l'état écologique des écosystèmes aquatique.

Barber-James, Sartori et al., (2008) ont mené une étude approfondie sur la diversité des éphémères en eau douce à l'échelle mondiale. Leur recherche met en évidence la richesse et la répartition de ces insectes aquatiques, en soulignant notamment des observations spécifiques pour la Suisse. L'étude apporte un éclairage précieux sur la biodiversité et l'écologie de ces espèces, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de leur rôle dans les écosystèmes d'eau douce. **Schneider et Hering (2010)** ont étudié l'utilisation des macroinvertébrés comme bio-indicateurs pour évaluer la qualité écologique des rivières. Leur analyse met en évidence la sensibilité de ces organismes aux variations environnementales, permettant ainsi d'obtenir une évaluation précise de l'état écologique des cours d'eau.

Sartori (2011) a travaillé sur le développement d'indicateurs écologiques visant à évaluer la qualité des écosystèmes aquatiques en Suisse. Son étude propose des outils basés sur l'observation des communautés biologiques, notamment les macroinvertébrés benthiques, afin de mieux comprendre l'état écologique des cours d'eau et des plans d'eau. **Daugeron et Lemaire (2015)** ont étudié l'impact de la végétation riveraine sur la composition et la diversité des communautés de macroinvertébrés aquatiques.

Maria et Chrysoula (2018) ont étudié les assemblages de macroinvertébrés et l'état biologique des rivières du nord et du centre de la Grèce. Leur recherche, publiée dans *The*

Rivers of Greece; Evolution, Current Status and Perspectives, analyse la diversité et la répartition de ces organismes afin d'évaluer la qualité écologique de ces cours d'eau. **Lefebvre et al., (2018)** ont évalué la qualité écologique des rivières en s'appuyant sur l'étude des communautés de macroinvertébrés benthique, ces organismes étant reconnus comme de précieux bioindicateurs des conditions environnementales en France. **Müller et al., (2018)** ont exploré l'impact du changement climatique sur la biodiversité des écosystèmes d'eau douce, mettant en évidence des modifications dans la répartition des espèces et des perturbations des interactions écologiques. **Sartori et al., (2018)** ont analysé la diversité et les réseaux écologiques des macroinvertébrés aquatiques en Suisse, avec une attention particulière aux Ephemeroptera, Plecoptera et Trichoptera, groupes bioindicateurs clés de la qualité des milieux aquatiques.

Odountan et al., (2019) ont étudié la variation spatio-temporelle des variables environnementales et des communautés de macroinvertébrés aquatiques dans le lac Nokoué, un site RAMSAR au Bénin. Leur recherche, publiée dans *African Journal of Aquatic Science*, met en évidence l'influence des fluctuations saisonnières et des conditions locales sur la composition des macroinvertébrés. Les résultats soulignent l'importance du suivi écologique pour la gestion durable de cet écosystème aquatique. **Jacobus, Macadam et Sartori (2019)** ont étudié les services écosystémiques fournis par les éphémères dans les environnements aquatiques. Leur recherche met en lumière le rôle essentiel de ces insectes dans la chaîne alimentaire, en tant que source de nourriture pour de nombreux prédateurs, ainsi que leur contribution au cycle des nutriments et à la qualité de l'eau.

Çinar et al., (2020) ont étudié la répartition spatiale des macroinvertébrés vivant en association avec la moule noire *Mytilus galloprovincialis* dans la mer de Marmara. Leur recherche, publiée dans le *Journal of Marine Systems*, met en lumière la diversité et la distribution de ces organismes au sein de cet habitat spécifique. En analysant les communautés benthiques présentes sur les colonies de moules, les auteurs ont apporté de nouvelles connaissances sur l'écologie de ces espèces et leur rôle dans l'écosystème marin.

L'étude de **Prud'homme et al., (2020)** explore la biodiversité des lacs des Pyrénées, situés entre la France et l'Espagne. Les chercheurs y analysant la faune et la flore de ces écosystèmes d'altitude afin d'améliorer les connaissances scientifiques et d'orienter des stratégies de conservation adaptées. L'article, publié dans *Dynamiques environnementales*,

met en lumière les enjeux écologiques de ces milieux sensibles et propose des pistes pour une gestion durable.

Abdelhady et al., (2021) ont étudié l'impact de la montée du niveau de la mer à la fin du Cénomanien sur les écosystèmes côtiers du sud de la Téthys, couvrant la Jordanie, l'Égypte et la Tunisie. En utilisant une approche quantitative d'éco-biostratigraphie, ils ont analysé les changements environnementaux et leurs effets sur la faune marine. **Boets et al., (2021)** se sont interrogés sur l'efficacité des investissements en faveur de la qualité de l'eau et de la restauration des habitats aquatiques. Leur étude s'est concentrée sur un cours d'eau de plaine situé dans le bassin de la rivière Zwalm, en Belgique. En analysant à la fois la qualité chimique et biologique de l'eau, les chercheurs ont évalué les bénéfices concrets des mesures mises en place. Leurs conclusions apportent un éclairage précieux sur l'impact des politiques environnementales dans la gestion et la préservation des écosystèmes aquatique.

Gouy et al., (2021) présentent le bassin versant Ardières-Morcille, situé dans le Beaujolais, en France, comme un site de recherche dédié à l'étude du transport et des effets de la pollution diffuse d'origine agricole sur les cours d'eau. Ce bassin versant sert de terrain d'investigation pour analyser les dynamiques hydrologiques et écologiques en lien avec les contaminants agricoles, permettant ainsi une meilleure compréhension de leur impact sur les écosystèmes aquatiques. **Tampo et al., (2021)** ont exploré l'utilisation des macroinvertébrés benthiques comme indicateurs écologiques en analysant leur sensibilité à la qualité de l'eau et aux perturbations humaines dans une rivière tropicale à la région de Togo. **Samuel et al. (2022)** explorent la diversité des macroinvertébrés benthiques dans plusieurs cours d'eau côtiers du sud du Cameroun. Leur étude, publiée dans l'**African Scientific Journal,** met en lumière la richesse et la répartition de ces organismes, soulignant leur rôle écologique et l'importance de leur préservation.

L'étude de **Juliette Becquet et al., (2022)** s'intéresse à la répartition des macroinvertébrés dans les cours d'eau alpins. Elle analyse l'influence des paramètres environnementaux tels que la température, la vitesse du courant et la composition du substrat sur la structure des communautés. Ces travaux permettent de mieux comprendre comment ces organismes s'adaptent aux conditions spécifiques des milieux de montagne. **Becquet et al., (2023)** ont étudié les préférences hydrauliques des macroinvertébrés dans les cours d'eau alpins en développant des modèles permettant de mieux comprendre leur répartition en fonction des conditions hydrodynamiques. Leur travail, publié dans *Hydrological Processes,*

met en évidence les liens entre les caractéristiques du débit et la présence des différentes espèces, offrant ainsi des perspectives pour la gestion écologique de ces milieux sensibles.

Byns, Groffen et Bervoets en (2024) se penchent sur l'impact des substances perfluoroalkylées (PFAS) sur les communautés de macroinvertébrés aquatiques en Belgique. Leur étude, publiée dans *Science of the Total Environment*, explore la manière dont ces organismes réagissent à la pollution par les PFAS et cherche à déterminer s'il est possible d'établir des seuils de contamination corporelle au-delà desquels des effets écologiques significatifs se manifestenet. **Simaika et al., (2024)** ont appelé à une harmonisation des standards de surveillance de la biodiversité et d'évaluation biologique en eau douce à l'échelle internationale, soulignant l'importance des macroinvertébrés pour les programmes de bioindication.

Par ailleurs, plusieurs recherches ont été menées pour mieux comprendre la biodiversité aquatique et évaluer la qualité des eaux à travers l'étude des macroinvertébrés benthiques sont menées dans le bassin méditerranéen en raison de la présence de zones humides revêtent une grande importance écologique, parmi ces recherches on peut citer :

El Azhari et al., (2012) ont exploré la diversité des macroinvertébrés dans les écosystèmes fluviaux du pays, mettant en évidence leur richesse et leur rôle écologique au Marroc. L'étude de **Gallardo et al., (2013)** explore comment les macroinvertébrés benthiques réagissent aux variations de la connectivité hydrologique dans différents types de plaines inondables. En comparant des écosystèmes tempérés, subtropicaux, méditerranéens et semi-arides, les auteurs mettent en évidence des différences dans la composition et la diversité des communautés en fonction du degré de connexion entre les habitats aquatiques et le cours principal.

Belgacem et Hassine (2013) ont ainsi étudié les assemblages de macroinvertébrés associés aux herbiers de posidonie, mettant en lumière leur importance dans ces écosystèmes marins, **Martínez-Rivas et al., (2015)** se sont intéressés à la diversité et à l'organisation des communautés biologiques dans les rivières méditerranéennes, mettant en évidence les dynamiques influençant ces écosystèmes. **Slimani et al., (2016)** ont contribué à l'étude de la biodiversité aquatique au sein des aires protégées, avec un focus particulier sur le Parc Naturel de Bouhachem. **Khalfallah et Belhadj (2016)** ont évalué la qualité des eaux en analysant les communautés de macroinvertébrés aquatiques, confirmant leur pertinence en tant qu'indicateurs écologiques fiables. **Azzouzi et Eddine (2017)** se sont intéressés à l'impact

des changements climatiques sur ces communautés, soulignant les modifications observées dans leur composition et leur répartition.

Bouchelouche et al., (2018) ont examiné la bioaccumulation du mercure chez le genre *Baetis* (éphéméroptères), mettant en lumière le rôle des macroinvertébrés dans le transfert des contaminants au sein des écosystèmes aquatiques. **Tounsi et al., (2018)** ont étudié l'influence des facteurs environnementaux et anthropiques sur la variabilité de la macrofaune benthique dans la lagune nord de Tunis, identifiant les principaux éléments déterminant la composition des communautés. **Nahli et al., (2018)** ont étudié la diversité taxonomique et la structure des peuplements macrobenthiques de l'oued Hassar après l'installation d'une station d'épuration à Mediouna, au Maroc. Leur travail, publié dans le *Bulletin de l'Institut Scientifique de Rabat*, examine l'évolution de la qualité de l'eau et de la biodiversité après la mise en place du traitement des eaux usées. **Karrouch et al., (2018)** ont mené une étude de bio surveillance environnementale intégrée des eaux de l'oued Ouislane (Meknès, Maroc), en évaluant leur qualité à l'aide de bioindicateurs. Leur recherche, publiée dans l'*International Journal of Innovation and Applied Studies*, met en avant l'utilité des macroinvertébrés dans l'évaluation de la pollution aquatique. **Mabrouki et al., (2019)** ont étudié la biotypologie des macroinvertébrés benthiques dans l'Oued Za un cours d'eau du Maroc situé en zone semi-aride. Leur recherche, publiée dans *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, met en lumière la diversité et la répartition de ces organismes en fonction des caractéristiques environnementales locales. L'étude contribue à une meilleure compréhension de la structure écologique des cours d'eau nord-africains et de leur réponse aux variations hydrologiques et anthropiques.

Camargoe et al., (2019) ont étudié la réponse positive des macroinvertébrés benthiques à la diminution de la pollution de l'eau en aval d'une pisciculture de truites en Espagne. L'étude, publiée dans *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, met en évidence une amélioration progressive de la biodiversité avec la réduction des contaminants. **Slimani et al., (2019)** ont évalué l'efficacité de différents groupes d'organismes comme indicateurs de la biodiversité des macroinvertébrés dans les écosystèmes aquatiques méditerranéens d'Afrique du Nord. Leur recherche met en évidence des substituts potentiels permettant une évaluation rapide et fiable de la biodiversité. **Boggero et al., (2019)** ont étudié les facteurs environnementaux qui déterminent la diversité des macroinvertébrés et des diatomées dans les lacs alpins du parc national du Stelvio, en Italie. Leur recherche, publiée dans le *Journal of*

Limnology, apporte de nouvelles perspectives sur la biodiversité aquatique en altitude. **Piazza et al., (2019)** ont examiné la réduction de la taille des macroinvertébrés benthiques comme un signe avant-coureur de l'extinction du Toarcien inférieur (Jurassique précoce) dans le bassin lusitanien au Portugal.

Arifi et al., (2019) ont étudié la diversité des macroinvertébrés aquatiques du barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah, près de la confluence avec l'oued Grou, dans la région de Rabat (Maroc). Leur travail, publié dans *Entomologie Faunistique-Faunistic Entomology*, évalue la qualité de l'eau à travers une approche bio-indicatrice. **Erba et al., (2020)** ont analysé la réponse des métriques des macroinvertébrés aux altérations morphologiques des rivières italiennes. Leur article dans *Hydrobiologia*, met en évidence les impacts des modifications anthropiques sur ces écosystèmes. **Taybi et al., (2020)** ont étudié la répartition longitudinale des macroinvertébrés dans l'Oued Melloulou, un bassin très humide du nord de l'Afrique, offrant un aperçu des variations écologiques selon l'altitude et les conditions hydrologiques.

Calabrese et al., (2020) se sont intéressés aux influences combinées de plusieurs stress environnementaux sur les communautés de macroinvertébrés et les attributs écosystémiques dans les rivières et cours d'eau pré-alpins du nord de l'Italie. Leur étude, publiée dans *Ecological Indicators*, analyse les impacts de ces pressions sur la structure des communautés aquatiques. **Specchia et al., (2020)** ont réalisé une analyse des lacunes dans les bibliothèques de codes-barres ADN pour les macroinvertébrés aquatiques de la région des Pouilles, en Italie. Leur article, paru dans le *Journal of Marine Science and Engineering*, souligne la nécessité d'une base de données de référence plus complète pour la bio-indication. **Fornaroli et al., (2020)** ont exploré les variations spatiales et temporelles des assemblages de macroinvertébrés dans le bassin du Pô, en Italie du Nord. Leur travail, publié dans *Water*, met en lumière les facteurs influençant la composition de ces communautés aquatiques.

Menchetti et al., (2021) ont réalisé un inventaire des macroinvertébrés dans la zone spéciale de conservation *Poggi di Prata* (Toscane, Italie centrale) en combinant une approche scientifique et une participation citoyenne. Leur étude, publiée dans *Redia*, souligne l'apport des sciences participatives à la connaissance de la biodiversité. **Boulaaba et al., (2021)** ont décrit la distribution spatio-temporelle des Chironomidae dans les oueds du nord de la Tunisie, révélant les effets des variations saisonnières et des pressions locales sur ces communautés indicatrices. **Slimani et al., (2021)** ont exploré l'influence de la qualité de l'eau

sur les communautés de macroinvertébrés en Tunisie septentrionale présentée dans les actes du 2ème Congrès Euro-Méditerranéen pour l'Intégration Environnementale, leur étude souligne le lien entre les paramètres physico-chimiques de l'eau et la structuration des peuplements aquatiques en **(2022)** ont utilisé des indicateurs de biodiversité pour identifier les zones prioritaires de conservation en eau douce dans le hotspot méditerranéen africain, proposant des outils pour une gestion durable des ressources.

Abessolo et al., (2021) ont étudié la réponse des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères aux pressions anthropiques dans le bassin de l'Ourika (Haut-Atlas du Maroc) en contexte de changement climatique, mettant en évidence leur sensibilité aux perturbations environnementales. **Bouhala et al., (2009, 2020, 2021)** ont mené plusieurs études sur la biodiversité des ruisseaux méditerranéens, en se concentrant particulièrement sur les Odonates ainsi que sur d'autres espèces aquatiques. Leurs recherches ont permis de mieux comprendre la diversité et la répartition de ces organismes dans ces écosystèmes fragiles.

Feriani et al., (2022) se sont intéressés aux communautés macrofauniques des formations cénomaniennes-turoniennes de la région de Kasserine, en Tunisie centrale. Leur étude, basée sur des analyses paléontologiques et stratigraphiques, met en lumière la diversité et la répartition des espèces dans un contexte paléoenvironnemental. **Beltrami et al., (2022)** ont étudié l'impact du drainage estival artificiel sur les communautés de macroinvertébrés benthiques dans une zone humide d'eau douce du nord-est del'Italie. Leur recherche, publiée dans *Hydrobiologia*, met en évidence les effets de cette pratique sur la biodiversité aquatique. **Abellán et al., (2022)** ont étudié les communautés de Coléoptères aquatiques dans les lacs alpins de la Sierra Nevada, en Espagne, mettant en évidence leur composition et les facteurs influençant leur répartition. **Raposeiro et al., (2022)** ont exploré la diversité et la distribution des macroinvertébrés aquatiques dans les cours d'eau de l'île de Madère au Portugal, fournissant un aperçu détaillé de leur assemblage écologique.

Melo et al., (2022) ont démontré que les décharges d'eau souterraine influencent localement la composition des communautés de macroinvertébrés sur les rivages rocheux du sud-ouest du Portugal. **Guellaf et al., (2023)** ont évalué les réponses à court terme des écosystèmes aquatiques et des communautés de macroinvertébrés suite à des actions de réhabilitation dans la rivière Martil (Maroc), mettant en évidence les bénéfices de ces interventions. **Nahli et al., (2023)** ont suivi les réponses structurelles et fonctionnelles des

macroinvertébrés après la dépollution d'un cours d'eau résilient à Casablanca, soulignant la capacité de récupération des écosystèmes après l'amélioration de la qualité de l'eau. **Samraoui et al., (1993 et 2023)** ont mené des recherches approfondies sur les Odonates ainsi que d'autres groupes d'invertébrés en Algérie. Leurs travaux ont mis en évidence l'importance écologique de ces espèces et leur rôle clé en tant que bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes aquatique. À travers plusieurs études, ils ont contribué à une meilleure compréhension de la biodiversité et des impacts environnementaux sur ces communautés. **Dekanová et al., (2024)** ont analysé les relations longueur-masse des macroinvertébrés de mares, révélant des différences significatives entre les populations du nord et du sud de l'Europe.

L'essor et l'évolution des recherches en limnologie et écologie des invertébrés aquatiques en Algérie à partir des années 1980 :

Jusqu'aux années 1980, les études sur les macroinvertébrés aquatiques en Algérie étaient rares et incomplètes. Ce n'est qu'après cette période que les recherches se sont intensifiées, couvrant différentes régions et groupes taxonomiques. Parmi les premières études marquantes, **Gagneur et al., (1986)** ont étudié les Oligochètes d'Algérie, un groupe de vers aquatique jouant un rôle important dans la décomposition de la matière organique. **Lounaci (1987)** a mené des recherches sur la faune benthique de l'Oued Aissi, apportant de nouvelles connaissances sur les écosystèmes de Kabylie. **Gagneur et Clergue-Gazeau (1988)** se sont intéressés aux Diptères Simuliidae, un groupe d'insectes d'importance médicale et écologique. Parallèlement, **Gagneur et Thomas (1988)** ont travaillé sur les Ephéméroptères, des insectes bioindicateurs de la qualité des eaux. **Arab (1989)** a étudié les macroinvertébrés des oueds Chiffa et Mouzaïa, deux cours d'eau importants du nord de l'Algérie.

Les années 1990 ont vu une diversification des thématiques et des régions étudiées. **Gagneur et Aliane (1991)** ont exploré les Plécoptères de la Tafna, contribuant à la connaissance de cette famille d'insectes sensibles à la pollution. **Moubayed et al., (1992)** se sont concentrés sur les Diptères Chironomidae, une famille d'insectes largement utilisée pour l'évaluation de la qualité de l'eau. **Lounaci Daoudi (1996)** a mené une étude approfondie sur les macroinvertébrés du réseau hydrographique du Sébaou, offrant une analyse détaillée des espèces présentes et de leur répartition écologique. En **1998**, **Thomas** a poursuivi ses travaux sur les Ephéméroptères, élargissant son étude aux espèces d'Algérie, du Maroc et de Tunisie, ce qui a permis une comparaison régionale précieuse. **Samraoui et Menai (1999)** ont étudié

les Odonates d'Algérie, un groupe comprenant les libellules et demoiselles, dont la diversité est souvent liée à la qualité des habitats aquatiques. **Lounaci et al., (2000)** ont réalisé une analyse approfondie de la faune benthique du bassin de l'Oued Sébaou, mettant en évidence les variations spatio-temporelles des communautés d'invertébrés.

Les recherches du début des années 2000 ont renforcé la connaissance des invertébrés aquatiques en Algérie. **Mebarki (2001)** a étudié la faune benthique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie, offrant une vision comparative entre différents cours d'eau de cette région montagneuse. **Arab (2004)** a poursuivi ces travaux en étudiant la faune benthique des oueds Chélif et Mazafran, deux bassins versants influencés par les activités humaines. En **2005**, **Lounaci et Vinçon** ont enrichi la connaissance des Plécoptères de Kabylie, tandis que **Moubayed et al., (2007)** ont complété les études sur les Diptères Chironomidae d'Algérie.

En **2009**, plusieurs recherches ont porté sur l'hydrobiologie et les macroinvertébrés benthiques **Yasri** a étudié le réseau hydrographique du Mazafran, tandis que **Hamzaoui** s'est intéressé à la macrofaune benthique de l'Oued Saoura, une rivière du sud-ouest algérien.

À partir de 2010, de nombreuses études ont mis l'accent sur l'utilisation des macroinvertébrés comme bioindicateurs de la qualité des eaux. **Sekhi (2010)** a analysé les macroinvertébrés des cours d'eau de la wilaya de Naâma, tandis que **Haouchine (2011)** s'est concentré sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des rivières de Kabylie. En **2013**, **Djellab et al.,** ont étudié les Diptères Syrphidae du nord-est de l'Algérie, et **Fergani et Arab** ont évalué l'usage des macroinvertébrés pour détecter la pollution dans l'Oued El-Harrach.

D'autres travaux ont approfondi la caractérisation écologique des écosystèmes aquatiques : **Lakhdara et al., (2014)** ont étudié les macroinvertébrés et Amphibiens du nord-est algérien, tandis que **Cherairia et al., se** sont intéressés aux Simuliidae de cette région. **Zouggaghe et al.,** ont évalué la qualité biologique du bassin versant de la Soummam, et **Bebba et al., (2015)** ont analysé les Ephéméroptères de l'Oued Abdi. Parmi les travaux les plus récents, **Sellam et al., (2016)** ont utilisé les Coléoptères, Ephéméroptères et Diptères comme bioindicateurs de la qualité de l'eau. **Belhaouari et al., (2017)** ont examiné les macroinvertébrés et macrophytes pour évaluer la dégradation de l'Oued Chélif. En **2018**, **Benzina, Si Bachir et al.**, ont poursuivi l'étude des Chironomidae du nord-est algérien, et

d'autres études ont suivi : **Bouhala et al., (2019)** et **Benhadji et al., (2020)** ont analysé la diversité benthique dans différentes régions, tandis que **Dambri** et ses collaborateurs ont mené une série d'études entre **2020** et **2023** sur les macroinvertébrés aquatiques, en particulier les Trichoptères et les Baetidae. Leurs travaux ont permis d'identifier plusieurs nouvelles espèces endémiques, enrichissant ainsi les connaissances sur la biodiversité de ces groupes. Enfin, ces dernières années, des recherches plus spécifiques ont été menées sur certains groupes taxonomiques.

Boucenna (2023) s'est concentrée sur les Trichoptères, un groupe d'insectes d'eau douce très sensibles aux perturbations environnementales. Plus récemment, **Satour et al., (2024)** s'appuient sur les travaux de Samraoui et Samraoui (1993 et 2023) pour explorer les facteurs environnementaux influençant les assemblages d'Odonates dans le nord-est de l'Algérie. Au-delà de l'impact de l'usage des terres, leur étude met en évidence divers paramètres écologiques jouant un rôle clé dans la répartition et la diversité de ces insectes aquatiques, renforçant ainsi la compréhension des dynamiques écologiques des milieux aquatiques en Algérie publiée dans l'*International Journal of Odonatology*, cette recherche apporte un éclairage nouveau sur la relation entre les libellules et leur habitat.

Ces différentes études apportent une meilleure compréhension des écosystèmes aquatiques d'Afrique du Nord et soulignent l'importance de la surveillance de la biodiversité pour la préservation des ressources en eau.

I.1. Les Zones humides

I.1.1 La définition des zones humides

Conformément à la convention de Ramsar de 1971, à laquelle l'Algérie a adhéré et qui concerne les zones humides d'importance internationale, ces dernières sont définies comme suit : « les surfaces de marais, de fagnes, de tourbières, d'eaux naturelles ou superficielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est statique ou courante, douce, saumâtre ou salée y compris les étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (Samraoui & De Belair, 1997).

I.1.2. Les propriétés des zones humides

L'identification des zones humides et de leurs caractéristiques repose principalement sur les conditions météorologiques, leur emplacement géographique et leur environnement géomorphologique. Par exemple, les zones humides qui se trouvent en position sommitale se distinguent de celles qui recouvrent des cours d'eau, de celles qui se forment le long du littoral ou de celles qui s'étendent sur de vastes surfaces dans des régions à faible altitude. La taille et la configuration de ces éléments sont déterminées par les caractéristiques des roches hôtes et les conditions de leur formation. Les conditions hydrologiques régissent le fonctionnement écologique des zones humides, ce qui permet de les distinguer des environnements terrestres fortement drainés et des écosystèmes aquatiques en eau profonde (Fustec & Lefeuvre, 2000).

I.1.3. L'importance des zones humides

Les zones humides acquièrent à travers toute la planète une importance de plus en plus grande. Ces milieux sont exceptionnellement riches en être vivant et extrêmement productifs. En outre, ces zones humides présentent à travers tout le globe une source non négligeable de revenus pour une population croissante, et ont de ce fait une importance socio-économique significative pour les populations locales (Raachi, 2007).

Les zones humides méditerranéennes constituent un remarquable héritage naturel, formant une zone de transition entre les systèmes terrestre et aquatiques. Elles sont caractérisées par une grande richesse biologique et assurent d'importantes fonctions dans l'écosystème (Williams, 1990).

I.1.4. Valeur des zones humides

Les zones humides offrent de nombreux bénéfices à l'humanité. Leur biodiversité représente une réserve génétique de grande valeur économique pour l'industrie

pharmaceutique et la culture de plantes commerciales comme le riz. De plus, elles jouent un rôle économique important à travers les loisirs et l'exploitation de ressources. Grâce à leur attrait naturel et à la diversité de leur faune et flore, les zones humides constituent des lieux touristiques parfaits.

Les sites les plus beaux sont protégés dans des parcs nationaux où des biens du patrimoine mondiale et peuvent générer un revenu considérable du tourisme et des utilisations pour les loisirs, on peut résumer tout ça en quelque points (Samraoui & De Belair, 1997) sont :

- Zones de pêche en eau douce et côtière.
- Pâturage.
- Barrage.
- Alimentation, renouvellement et écoulement des eaux souterraines.
- Stockage d'énergie et de dioxyde de carbone.
- Prévention des inondations.
- Stabilisation et protection du littoral.
- Protection contre les tempêtes.
- Rétention d'éléments nutritifs.
- Captage de sédiments et de produits toxiques.
- Création d'un méso climat favorable pour le maintien d'une activité agro-pastorale.
- Epuration des eaux.
- Voies de communication.
- Habitat de la faune et de la flore.
- Conservation des ressources génétiques.
- Régulation des eaux de crues.
- Soutien de la chaine trophique.
- Contribution à la promotion d'une image de marque du pays au niveau international.

I.1.5. Menace et cause de dégradations

Les principales causes de la régression des zones humides sont :

- **Drainage :** les projets de valorisation, ainsi que les programmes d'assèchement et d'irrigation, qui entraînent une modification du régime hydrologique, mettent constamment en péril les zones humides, souvent de manière exacerbée.
- **L'agriculture :** on trouve divers types de milieux humides (marais, zones inondables) exploités pour l'élevage et l'extraction de matériaux (bois, roseaux, tourbe, etc.), à

l'image du marais de Mekhada qui sert au pâturage extensif. Ceci est particulièrement visible dans sa partie sud où le marécage se transforme progressivement en prairie humide, entraînant une transformation de la superficie de cette zone humide et l'apparition d'espèces étrangères (Samraoui & De Belair, 1997).

De même le pompage illicite pour l'agriculture et les modes d'irrigation archaïque qui dilapident une considérable quantité d'eau vitale pour l'avifaune aquatique.

- **Pollution :** au cours des dernières années, les eaux douces ont connu une altération considérable due à la pression humaine et aux métaux lourds, entraînant finalement une modification de la qualité de l'eau (Samraoui & De Belair, 1997).
- **Perturbation et perte de l'habitat :** l'élimination des habitats naturels a entraîné des effets dévastateurs sur la flore et la faune. Certaines espèces ont disparu, d'autres ont subi une réduction significative de leur superficie et de leur densité, sans compter les modifications induites par les interventions de gestion et de revitalisation (Samraoui & De Belair, 1997).

I.2. Les eaux courantes

I.2.1. Définition d'un cours d'eau

Du fait de leur nature dynamique, les cours d'eau représentent le principal moyen de transport de l'eau sous forme liquide de la terre vers les océans. Il ne faut pas négliger que ces derniers permettent également un stockage temporaire de l'eau (Musy & Higy, 2004), en plus de cet aspect.

I.2.2. Définition d'un Oued

Un Oued désigne un cours d'eau des zones arides de l'Afrique du Nord, dont le débit est intermittent. Le terme provient de l'arabe « wad », « wadi », qui signifie rivières. Les Oueds peuvent devenir rapidement des torrents suite à de rares mais intenses précipitations dans ces zones où le ruissellement n'est entravé ni par les arbres ni par les herbes, souvent absentes de ce genre d'écosystèmes. Les Oueds sont les traces des anciens systèmes hydrauliques qui occupaient les zones sèches avant l'avènement de la désertification, il y a entre 4 et 5 millions d'années. Bien que quelques Oueds parviennent jusqu'à la mer, la majorité se termine dans des dépressions closes ou s'évanouissent petit à petit du fait de leur écoulement éphémère (Encarta 2008 in Narsis, 2008).

I.2.3. Le bassin versant

Le bassin versant est une zone géographique délimitée à partir d'un tronçon spécifique d'une rivière, englobant toute la surface qui se trouve en amont de ce tronçon. Ainsi, dans l'idéal, toute l'eau qui arrive sur cette zone doit passer par ce tronçon spécifique. On désigne souvent ce dernier comme l'émissaire ou le déversoir du bassin versant. La caractéristique principale du bassin versant est son exutoire, qui sert de référence pour établir le point initial et final de la ligne de partage des eaux qui en marque les limites. Cependant, cette définition ne suffit pas si l'on considère que le véritable bassin versant de partage des eaux n'est pas forcément le même que la ligne de partage des eaux de surface du bassin versant (Musy & Higy, 2004).

I.2.4. Les courants

Les courants correspondent aux mouvements d'eau dans une direction déterminée et à une vitesse spécifique. Les forces d'impulsion varient et l'assemblage des diverses sources de courants n'est pas identique en fonction du type de corps hydraulique considéré, que ce soit un océan, une mer, un lac ou un cours d'eau (Tachet, 2003).

I.2.5. L'origine des courants

Dans les rivières, la gravité est la source du courant dominant. Ainsi, sa vitesse augmente avec la hausse de la pente et de l'épaisseur de la coupe d'eau, ainsi qu'avec la diminution de la rugosité des rives et du lit (Tachet, 2003).

I.2.6. Importance des eaux courantes

Les eaux courantes ont une grande importance dans la vie quotidienne et les activités anthropiques, parmi lesquelles on peut citer :

Hydroélectricité, eau potable, épuration des eaux usées, navigation, reproduction d'espèces d'importance commerciale et tourisme.

I.3. La pollution

I.3.1. Définition de la pollution

La pollution se définit comme une altération néfaste de l'environnement, qui apparaît en totalité ou en partie comme un dérivé de l'activité humaine, par le biais d'effets directs ou indirects modifiant les paramètres de distribution des flux énergétiques, les niveaux de radiation, la composition physico-chimique de l'environnement naturel et la profusion des

espèces vivantes. Ces changements peuvent avoir un impact sur l'homme de manière directe ou indirecte par le biais des ressources agricoles, de l'eau et des produits biologiques. Elles peuvent également avoir un impact sur lui en détériorant les objets matériels qu'il possède (Ramade, 2002).

I.3.2. La pollution des eaux

La contamination de l'eau est une détérioration physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses caractéristiques naturelles, causée par les activités humaines. Elle trouble les conditions d'existence de la flore et de la faune aquatiques ; elle met en péril les usages de l'eau et l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Les cours d'eau naturels, ainsi que les lacs et les étangs, présentent des possibilités de régénération beaucoup plus importantes. En général, la majorité des substances organiques sont oxydées par des micro-organismes ou par les plantes qui bordent les cours d'eau et les rives (Larousse, 1973).

La pollution aquatique à pour origines principales :

- l'activité humaine : pollution domestique.
- les industries : pollution industrielle.
- l'agriculture : pollution agricole.

✓ La pollution domestique

La mauvaise qualité des eaux fluviales et marines est en partie due aux rejets urbains, qui proviennent de l'utilisation domestique quotidienne de l'eau : eaux usées provenant des toilettes, eaux savonneuses rejetées avec le linge, bains ou vaisselles, produits versés dans les éviers. Il convient d'ajouter également les eaux usées déversées (effluents) par les infrastructures collectives, comme les hôpitaux, les établissements scolaires, les commerces, ainsi que les hôtels et restaurants, entre autres (Ngô & Regent, 2008).

✓ La pollution agricole

L'agriculture est un facteur majeur de pollution, notamment dans les zones où de nombreux fleuves côtiers serpentent et où l'élevage est pratiqué de manière intensive. Les engrais et pesticides souvent mal employés contaminent les eaux souterraines (en s'infiltrant dans le sol avec l'eau de pluie et d'irrigation) et superficielles (par ruissellement). L'utilisation abusive d'engrais a considérablement accru la concentration de nitrates dans les rivières et les nappes phréatiques superficielles. Cependant, il est important de comprendre qu'une

concentration de 50 milligrammes ou moins de nitrate par litre d'eau ne pose aucun risque. Les entreprises de distribution d'eau s'assurent rigoureusement de ne pas dépasser cette norme (Ngô & Regent, 2008).

- ✓ **La pollution industrielle**

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité, suivant l'utilisation qui est faite de l'eau au cours du processus industriel.

Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

- Des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires..., etc).
- Des hydrocarbures (industries pétrolières, transports…, etc).
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie…, etc).
- Des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries..., etc).
- Des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Progressivement, des solutions sont mises en œuvre afin de maîtriser le risque de pollution en zone de captation d'eau (Ngô & Regent, 2008).

I.3.3. Eutrophisation des eaux courantes

La pollution la plus grave est imputable à une action indirecte. L'accroissement en substances nutritives organiques, comme les opportunités d'expansion des organismes, est momentanément accru. Cependant, la prestation d'oxygène reste inchangée. L'évolution de la vie cause une réduction du niveau d'oxygène dissous. Ainsi, après un laps de temps très court, seules des bactéries anaérobies sont en mesure de se développer : elles entraînent une transmutation de la matière organique en surplus. Les eaux deviennent troubles et dégagent une odeur désagréable. La majorité des espèces disparaissent. Les cours d'eau ne possèdent plus de vie autonome. Ils ne sont désormais que des canalisations. Il s'est produit une eutrophisation, la purification par le système naturel est possible sans perturbation grave (Larousse, 1973).

I.4. Les macroinvertébrés

I.4.1. Définition des macroinvertébrés

Les macroinvertébrés sont des êtres vivants qui résident principalement au fond d'un cours d'eau ou s'en éloignent très peu pendant la majeure partie de leur existence. Ils sont sans colonne vertébrale et clairement visibles à l'œil nu. Cette catégorie comprend des larves

d'insectes vivant dans l'eau, certains insectes aquatiques adultes, des crustacés, des mollusques ainsi que des vers. Cette catégorie d'organismes comprend plusieurs ordres d'insectes aquatiques majeurs : les Éphémères, les Plécoptères, les Trichoptères, les Diptères les Coléoptères, les Mégaloptères, les Hémiptères, les Odonates et les Lépidoptères (Touzin, 2008).

I.4.2. Les taxons les plus importants des macroinvertébrés

I.4.2.1 Non insectes

a). Les Crustacés

Alors que les arachnides et les insectes ont prospéré sur la terre, la majorité des crustacés sont demeurés dans les océans et les étangs, comptant près de 40 000 espèces. Les crustacés sont les uniques arthropodes qui disposent de deux pêtes d'antennes, trois paires d'appendices ou plus constituent des pièces buccales, notamment des mandibules rigides. Leurs membres se développent à partir du thorax et, contrairement aux insectes, ils possèdent des appendices sur l'abdomen (Figure1). Selon (Mathieu, 1995), les crustacés ont la capacité de régénérer un membre qui a été perdu.

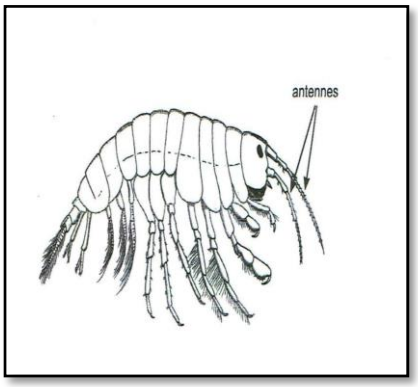


Figure 01 : Les Crustacés (les gammares) (Moisan, 2010).

Quelques ordres de la classe de crustacés :

- *Ordre des Amphipodes*
- *Ordre des Isopodes*
- *Ordre des Décapodes*
- *Ordre des Cladocères*
- *Ordre des Ostracodes*
- *Ordre des Copépodes* (Moisan, 2006).

La classe des Crustacés comprend un très grand nombre d'espèces en milieu marin. En milieu doux trois sous-classes correspondent à des macroinvertébrés :

- Sous-classe des Branchiouves
- Sous-classe des Branchiopodes
- Sous-classe des Malacostracés (Tachet et al., 2000).

b). Les Mollusques

Les mollusques sont des invertébrés qui possèdent un corps sans dureté. Unité massive, non métamérisée, sans squelette interne qui présente une couverture externe solide (une coquille de calcaire) (Moisan, 2006 ; Mouthon, 1980). Cependant, au fil de l'évolution, certains mollusques ont perdu partiellement (comme les calmars) ou complètement (comme les pieuvres) leur coquille. En fait, ce groupe comprend plus de 80 000 espèces identifiées (Maissait et al., 2005). En règle générale, les mollusques sont des animaux qui vivent dans l'eau. La majorité réside en mer, certains préfèrent les eaux douces, et d'autres encore choisissent de vivre sur la terre, surtout dans des endroits humides ou ombragés. Néanmoins, chez certains êtres terrestres, on a pu observer qu'ils supportent généralement bien les ardeurs d'un soleil éclatant (Lamark, 2003).

Les principales classes des mollusques :

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

c). Les Gastéropodes

Il s'agit généralement de mollusques adaptés à la locomotion par reptation. Bien plus mobiles que les lamellibranches, ils possèdent une coquille (Figure 2) de disque musculaire ventral située à l'extérieur du manteau. Il enveloppe la masse viscérale, bien qu'il soit plutôt réduit. Hormis le pied, il y a la tête qui est particulièrement développée chez les gastéropodes. Cette tête porte une ou deux paires de tentacules, et présente des yeux ainsi qu'une radula remarquable pour son long ruban cartilagineux recouvert de petites dents chitineuses. La silhouette et l'agencement de ces dents diffèrent selon les sexes et sont largement exploités par les zoologistes (Moret, 1966).

On dénombre plus de 40 000 espèces de gastéropodes. La majorité d'entre eux habite en mer, mais un bon nombre se trouve en eau douce et certains, tels que les escargots et les limaces, se sont acclimatés à l'existence terrestre (Mathieu, 1995). Selon la classification traditionnelle, les gastéropodes d'eau douce se répartissent en deux sous-classes : celle des Prosobranches et celle des Pulmonés (Tachet et al., 2000).

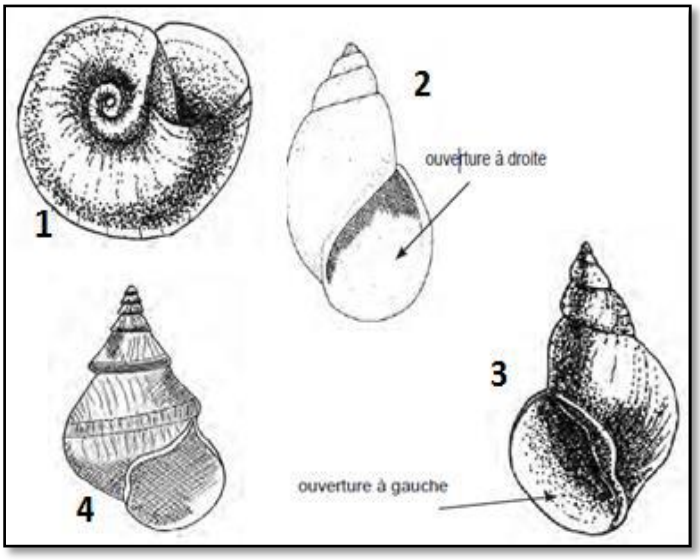


Figure 2 : Gastéropodes : **1** (sans opercule ou pulmonés) ; **2** (Lymnaeidae ouverture à droite) ; **3** (Physidae ouverture à gauche) ; **4** (avec opercule ou prosobranches) (Moisan et al., 2008).

d). Les Annélides

Les annélides ou polymères possèdent une symétrie bilatérale et leur corps est subdivisé en segments successifs (métamères) ayant des composants identiques (Grasse et al., 1998). Ils habitent dans la mer, les eaux saumâtres, l'eau douce et sur la terre, bien qu'ils soient restreints à de petits habitats humides (Jurd, 2000). Cette branche regroupe près de 15 000 espèces, dont les dimensions fluctuent entre moins de 1 et 3 mm (Mathieu, 1995) (Figure 3 et 4).

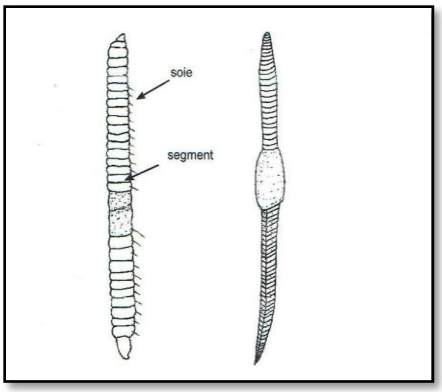


Figure 3 : Les Annélides (Oligochètes) (Moisan, 2010).

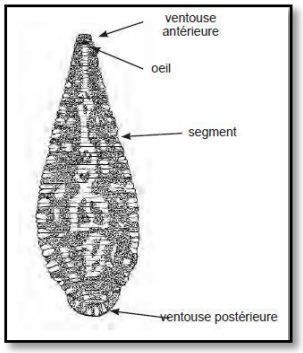


Figure 4 : Annélide – sangsue (Moisan, 2010).

e). Les Nématodes

Les nématodes sont des organismes triploblastiques bilatéralisés qui possèdent une cuticule robuste et flexible. Ils ne présentent pas de segmentation, et l'épiderme enveloppe leurs muscles longitudinaux. On recense approximativement 80 000 espèces de nématodes décrites, bien que ce nombre soit sans doute inférieur à la réalité. Les dimensions peuvent aller de 100 µ à plus de 100 cm (Figure 5). Les nématodes sont habituellement des vers étirés, de forme cylindrique avec des extrémités effilées et arrondies, bien que certaines variétés parasites puissent avoir une forme semblable à celle d'un sac (Jurd, 2000).

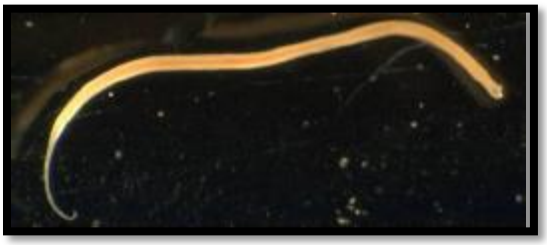


Figure 5 : Nématode **(**Moisan, 2010).

I.4.2.2. Les insectes

a). Les Ephéméroptères

Il est probable que les Ephéméroptères, les insectes aquatiques les plus anciens, descendent d'une forme ancestrale des Thysanoures. On les connaît depuis l'époque carbonifère (Tachet et al., 2012). Cette classification comprend douze (12) familles : Leptophlebiidae, Potamanthidae, Polymitarcidae, Ephemeridae, Prosopistomatidae, Caenidae, Ephemerellidae, Ameletidae, Baetidae, Siphlonuridae, Oligoneuriidae et Heptageniidae.

Les Ephéméroptères constituent un ordre d'insectes hémimétaboles dont les larves vivent uniquement dans l'eau. Ces dernières se distinguent généralement par la présence d'yeux formés de trois (ou parfois deux) cercles multiarticulés, de pattes dotées d'une seule griffe au

niveau du tarse et de branchies abdominales (au minimum chez les larves plus âgées), situées en position latérale ou latéro-dorsale (Figure 6) (Tachet et al., 2012).

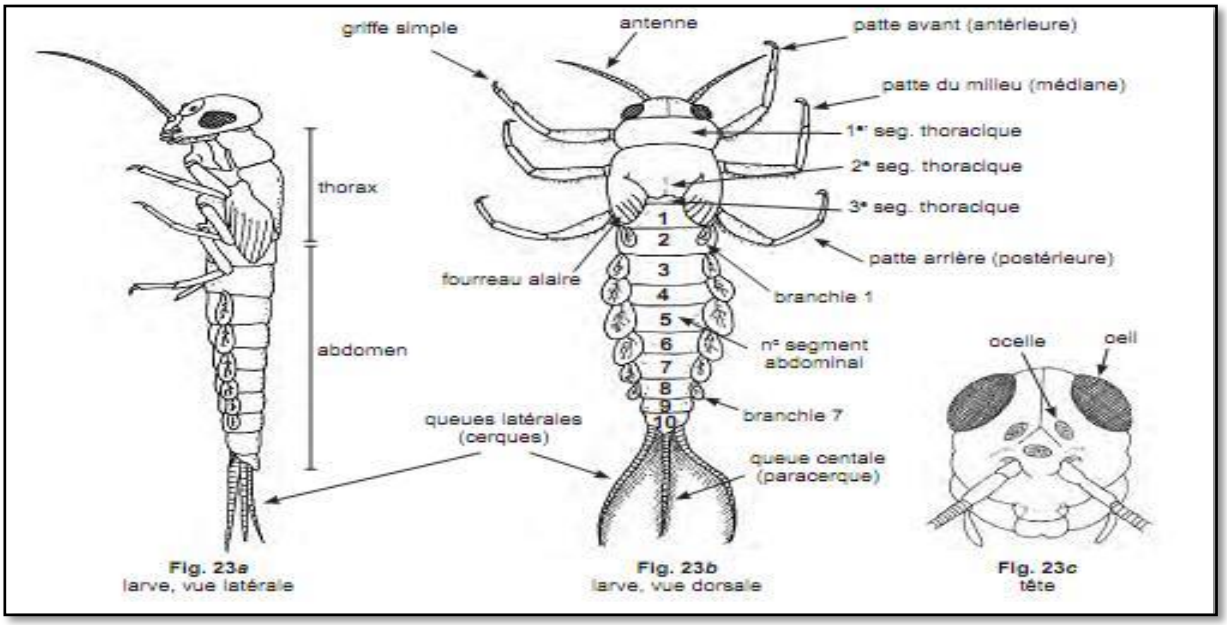


Figure 6 : Morphologie de la larve d'Ephéméroptère (Tachet et al., 2012).

NB/ La forme des branchies est un critère d'identification des genres.

❖ **Classification**

Règne : Animalia **/ Embranchement :** Arthropoda **/ Classe :** Insecta

Sous Classe : Ptérigota **/ Ordre :** Ephemeroptera

a).1. Morphologie

Les larves conservent toujours des pièces buccales de type broyeur, cylindrique et comprimé dorso-ventralement. Bien que la forme générale des larves puisse différer d'une famille à l'autre, certains traits sont caractéristiques et partagés par toutes les larves d'éphéméroptères : la présence de deux ou trois longs filaments caudaux (deux cerques et un paracerque), des branchies trachéennes abdominales, et une seule griffe sur chaque patte (Hoarau & Hoarau, 1999).

• La tête

Elle possède deux yeux composés, localisés latéralement (comme c'est le cas chez les Baetidae), ou dorsalement, et présente fréquemment une première manifestation du dimorphisme sexuel des adultes avec des yeux composés de plus grande taille chez les mâles par rapport aux femelles. Trois ocelles se trouvent sur les régions dorsales de la tête, alors que

les antennes, filiformes et d'une longueur variable, sont fixées à la partie antérieure. Selon (Hoarau & Hoarau, 1999), l'appareil buccal de type broyeur est constitué de sept éléments distincts : un labre, deux mandibules, des maxilles, un hypopharynx et un labium.

• Le thorax

En général, les larves ont un thorax qui est bien divisé en trois sections : le prothorax, le mésothorax et le métathorax. Les faces dorsales (comme le pronotum, mésonotum et métanotum) sont connectées aux faces ventrales (à savoir le prosternum, mésosternum et métasternum) par les pleures latérales. Chaque segment thoracique possède une paire de pattes bien élaborées, composées de cinq segments (coxa, trochanter, fémur, tibia et tarse) et dotées d'une unique griffe qui peut être dentelée (cette griffe peut être bifide). Durant la phase larvaire, les ailes se forment à l'intérieur de gaines portées par le mésonotum et le métanotum (Hoarau & Hoarau, 1999).

• L'abdomen :

Il est formé de dix segments qui sont visibles par le dos (les tergites) et par le ventre (les sternites). Le dixième tergite a deux longs cerques et présente un troisième filament caudal, nommé paracerque ou filament terminal, qui peut être partiellement ou totalement réduit. Les cerques et le paracerque sont variés en termes de phanères et de soies, ces dernières pouvant être positionnées des deux côtés (à l'exception des Baetidaes). Les segments abdominaux avant ont des branchies trachéennes qui facilitent l'absorption de l'oxygène dissous dans l'eau pour le transporter vers les organes via un réseau de trachées extrêmement minces. L'appareil respiratoire trachéen est entièrement clos, les branchies varient en nombre de 5 à 7 (7 chez les Baetidae) ces branchies sont de formes variables selon les espèces (simple ou double, en microlamelles juxtaposees ou en feuillet) (Hoarau & Hoarau, 1999).

a).2. Biologie et écologie

On les trouve dans les eaux courantes et stagnantes, et elles sont très sensibles tant à la pollution qu'aux changements anthropiques de leur habitat. Ils servent donc d'instrument de biomonitoring largement employé (de bons indicateurs de la qualité des eaux). Les Ephéméroptères forment un groupe extrêmement varié, que ce soit en termes de répartition (eau courante, eau stagnante), de relation avec le fond (creuseurs, rampants et nageurs) ou de régime alimentaire (broyeurs de détritus, raclants de substrat, filtreurs, prédateurs). Comme l'indiquent Tachet et al. (2012), des rapports de phorésie (commensalisme) existent entre les

larves de quelques espèces de Chironomidae Orthocladiinae et celles des Ephémeridaes ainsi que des Heptageniidae.

b). Trichoptères

Les larves, qui sont principalement aquatiques, sont familières aux pêcheurs. Certaines d'entre elles produisent une gaine en soie protectrice sur laquelle elles attachent différents éléments : brindilles, horloges, micro-coquillages, feuilles. Uniquement la tête et le thorax émergent du fourreau, ce qui permet à l'insecte de se déplacer avec son abri. Cette caractéristique leur a valu le nom de « porte-bois » (Figure 7).S'il est extrêmement difficile de différencier les adultes volants, on peut observer des différences notables chez les larves ; et pour simplifier, on peut distinguer trois groupes :

- Les larves à fourreau ou porte-bois.
- Les larves sans fourreau.
- Les larves sans fourreau et errantes

❖ **Classification**

Règne : Animalia **Embranchement :** Arthopoda **Sous-embranchement :** Hexapoda

Classe : Insecta **Sous-classe :** Pterigota **Ordre :** Trichoptera,

b).1. Morphologie

Les larves, qui pourraient être confondues avec celles des coléoptères, se différencient par la présence d'une paire de crochets anaux. Ces crochets sont soit positionnés sur le flanc à la terminaison de l'abdomen chez les formes à étui (ce qu'on appelle la larve éruciforme), soit fixés à la fin sous forme de fausses pattes (appelées pygopodes) chez les larves dépourvues d'étui (les larves campodeiformes) (Tachet et al., 2012).

• Tête

La tête est entièrement sclérifiée et forme une capsule constituée de plusieurs éléments : l'apotome frontoclypeal à l'arrière, les genae sur les côtés, et l'apotome ventral, qui peut parfois être absent, à l'avant. Les yeux se limitent à de simples points visuels avec une atténuation au niveau de la cuticule ; chez les limnephilidae, on observe une légère protrusion de la cuticule au niveau des yeux. En général, les antennes sont assez courtes et parfois sessiles ; elles sont dotées de quelques sensilles. Toutefois, chez les Leptoceridae ainsi que le genre Beraeodes (Beraeidae), les antennes présentent une longueur relativement importante.

Les pièces buccales comprennent un labre, une paire de mandibules dont l'apparence change selon le régime alimentaire ; On observe fréquemment des bouquets de soies sur leur face intérieure. Le complexe maxillo-labial est constitué par les maxilles et le labium, avec des palpes maxillaires de longueur très réduite et des palpes labiaux qui peuvent parfois être absents. Une voie labiale est toujours présente, où se déversent les canaux des deux glandes séricigènes (Tachet et al., 2000).

• Thorax

Les degrés de sclérification des tergites thoraciques varient. Le pronotum est constamment entièrement sclérifié. Le prothorax peut présenter une ou plusieurs pièces sclérifiées sur sa face ventrale : le prosternite. Au sein des Limnephilidae, Goerdae, Phryganeidae et Lepidostomatidae. Le prothorax possède, sur sa face ventrale, une corne prosternale à l'extrémité de laquelle s'ouvre le canal d'une glande dont l'utilité reste encore peu claire. Le mésonotum est soit entièrement durci, soit totalement membraneux ; il peut également comporter certains sclérites ou quelques marques de sclérification. Sur son côté ventral, le mésothorax peut être soit membraneux, soit montrer quelques marques sclérifiées : La disposition pour le métathorax est identique à celle du mésothorax. Les pattes sont assez longues (en comparaison avec celles des chenilles de Lépidoptères qui possèdent un article unique au niveau du hanche, trochanter, fémur, tibia et tarse ; ce dernier étant terminé par une sclérite (pleurite) étroitement accolée). Le trochanter, qui correspond au pleurite prothoracique antérieur, affiche fréquemment une forme distinctive en fonction des groupes (Tachet et al., 2012).

• Abdomen

Il comporte neuf segments. Excepté quelques types d'Hydroptilidae, il y a toujours une membrane du premier au huitième segment. Un sclérite dorsal impair peut être présent sur le dernier tergite abdominal. Sur certaines espèces à carapace, le premier segment abdominal peut supporter des mamelons (des renflements turgescents sur l'animal vivant, souvent flasques chez les animaux fixes). Dans la famille des Uenoidae, on observe, en plus du mamelon dorsal, deux mamelons sur les côtés et deux protubérances ventrales. Le mamelon dorsal peut être absent (lepidostomatidae) ; de plus, certaines larves à étui ne montrent pas de différenciation sur le premier segment abdominal (Brachycentridae). Les branchies peuvent être présentes ou absentes, elles sont généralement de type digitiforme, et parfois ramifiées dans le cas des Hydropsychidae et d'une grande partie des Rhyacophilidae.

Les formes à étui utilisent une insertion directe sur l'abdomen pour les crochets anaux, tandis que ceux sans étui les portent à l'extrémité du pygopode. De nombreuses formes à étui présentent une bordure latérale composée d'une frange de soies. Il pourrait y avoir une ligne de spinules sur le huitième segment abdominal, en position latérale. Notamment chez les Hydropsychidae, on trouve des papilles anales qui ont un rôle dans l'osmoregulation (Tachet et al., 2012).

• Etui (= fourreau) et autres constructions larvaires

Tout au long de leur phase larvaire, les larves de Trichoptères (à l'exception des Rhyacophilidae) produisent de la soie. Cette soie est de caractère protéique ; elle possède une consistance liquide et adhésive lorsqu'elle est émise. Les larves à étui peuvent construire leur fourreau uniquement en soie ou en utilisant des éléments variés liés entre eux par de la soie. Habituellement, l'intérieur du fourreau est revêtu de soie alors que l'extérieur n'en possède pas. Un orifice postérieur est toujours présent. L'étui permet à l'eau de s'écouler tout en irriguant les branchies ou les téguments au cours du processus. Il se pourrait que le rôle de la larve dans l'accélération de l'étui respiratoire soit aussi crucial que son rôle habituellement associé à la protection. Cette housse est constamment ajustée de telle sorte que la larve doit l'élargir à chaque mue. Pour prévenir la formation d'un étui excessivement long, la larve l'allonge en avant et le raccourcit en arrière.

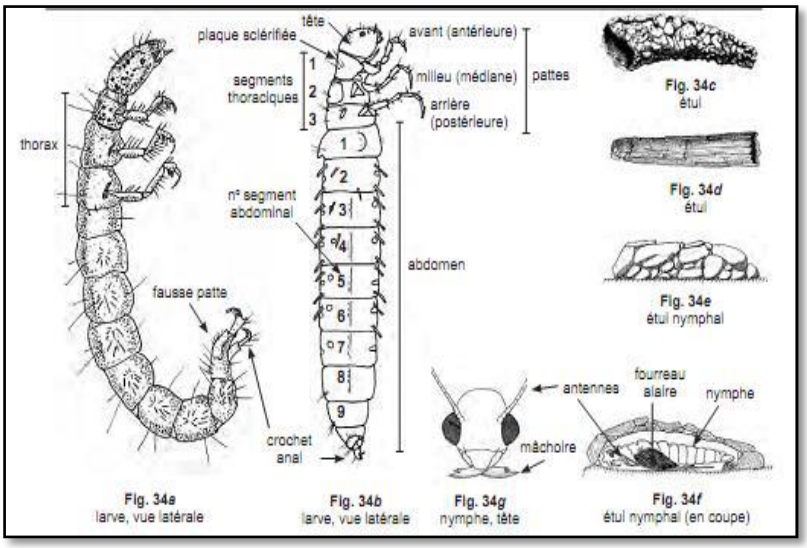


Figure 7 : Vue dorsale et latérale d'un Trichoptère (Moisan et al., 2008).

Dans la famille des Hydroptilidae, seules les larves du stade final construisent un étui, tandis que les larves des étapes antérieures n'en possèdent pas. Pour les formes sans étui, soit

il n'y a pas de construction larvaire comme pour les Rhyacophilidae où seul le cocon nymphal est édifié, soit des constructions larvaires de types divers existent : structures filtrantes chez les Hydropsychidae et les Philopotamidae, système de piège chez les Ecnomidae et les Polycentropodidae, galerie collée au substrat chez les Psychomyiidae (Figure 7) (Tachet et al., 2000).

b).2. Biologie

Bien qu'ils aient une apparence similaire aux papillons, les trichoptères (à leur stade adulte) manquent de trompe et n'ont pratiquement pas d'alimentation. Ainsi, leur brève existence vise à garantir la pérennité de l'espèce. Suite à l'accouplement, les œufs sont déposés dans l'eau ou sur la végétation avoisinante. Parfois, les larves éclosent après l'hiver et subissent plusieurs mues avant d'atteindre le stade nymphal. Durant cette phase, elles se logent dans un fourreau fermement attaché au substrat. La nymphe, dotée de mandibules robustes, sort de son cocon pour rejoindre la surface de l'eau ou le rivage en vue de sa transformation ; l'adulte émerge généralement... durant la nuit ! L'ensemble de ce processus a lieu sur une période d'un an. Les trichoptères constituent d'excellents indicateurs de la qualité de l'eau et on compte au moins quinze taxons dans les calculs d'indices biologiques (Tachet et al., 2012).

b).3. Ecologie

Les larves peuvent être libres et mobiles (comme c'est le cas pour les Rhyacophilidae et la plupart des formes à étui), ou bien elles peuvent adopter une position stable. Dans ce dernier scénario, on distingue soit des formes filtrantes : Hydropsychidae, Brachycentridae Brachycentrus et Oligoplectrum, Limnephilidae Drusus discolor, soit des formes prédatrices (polycentropodidae et Ecnomidae) ou racleuses de substrat (psychomyiidae, Hydroptilidae du genre Stactobia). La plupart des larves de trichoptères sont épibenthiques, toutefois, il est possible de découvrir des Sericostomatidae ou des odontoceridae enfouis à quelques centimètres sous les sédiments meubles. On trouve aussi des formes qui nagent, comme le leptocerus et les leptocéridés.

L'appareil buccal est essentiellement de type broyeur, bien qu'il y ait quelques variations des mandibules chez certains genres d'Hydroptilidae qui leur confèrent la capacité de perforer les cellules algales dont elles aspirent le contenu. Les larves de trichoptères sont une source de nourriture pour un grand nombre d'invertébrés, même si la coque des larves adultes offre véritablement une protection (Tachet et al., 2012).

c). Coléoptère

Selon Ouchtati (1993), les Coléoptères représentent l'un des ordres les plus diversifiés en termes d'espèces au sein de la classe des insectes. Ces derniers sont holométaboles, c'est-à-dire qu'ils subissent des métamorphoses complètes et traversent au moins quatre stades : œuf, larve, nymphe et imago (Auber, 1999). Selon Mathieu (1995), les Coléoptères sont des insectes dotés de deux paires d'ailes. Les ailes antérieures sont repliées sous les ailes postérieures qui ont été transformées en étuis protecteurs ou en élytres. Appareil buccal de type broyeur (Figure 8) (Blot, 1993).

Classification

Règne : Animalia **Embranchement :** Arthropoda **Sous-embranchement :** Hexapoda

Classe : Insecta **Sous-classe :** Pterigota **Ordre :** Coleoptera

c).1. Morphologie

Les larves de coléoptères sont très polymorphes. Elles sont également de tailles variées.

- La tête et toujours bien différenciée et constitue une capsule céphalique.
- Les yeux sont constitués de stemmates.
- Les antennes sont de taille variable mais comprennent normalement quatre articles pouvant se subdiviser en fouet.

-Thorax : le prothorax est légèrement plus développé que les deux autres segments.

-Les pattes thoraciques sont toujours présentes.

-L'abdomen de 8 à 10 segments visibles, des branchies latérales et/ou dorsales, des pseudopodes (Tachet et al., 2012).

Les coléoptères ont occupé tous les environnements d'eaux continentales disponibles. Ils se retrouvent à la fois en milieu peu profond et phréatique, dans des zones eutrophes comme oligotrophes, tant en eau douce qu'en milieu saumâtre (Tachet et al., 2000).

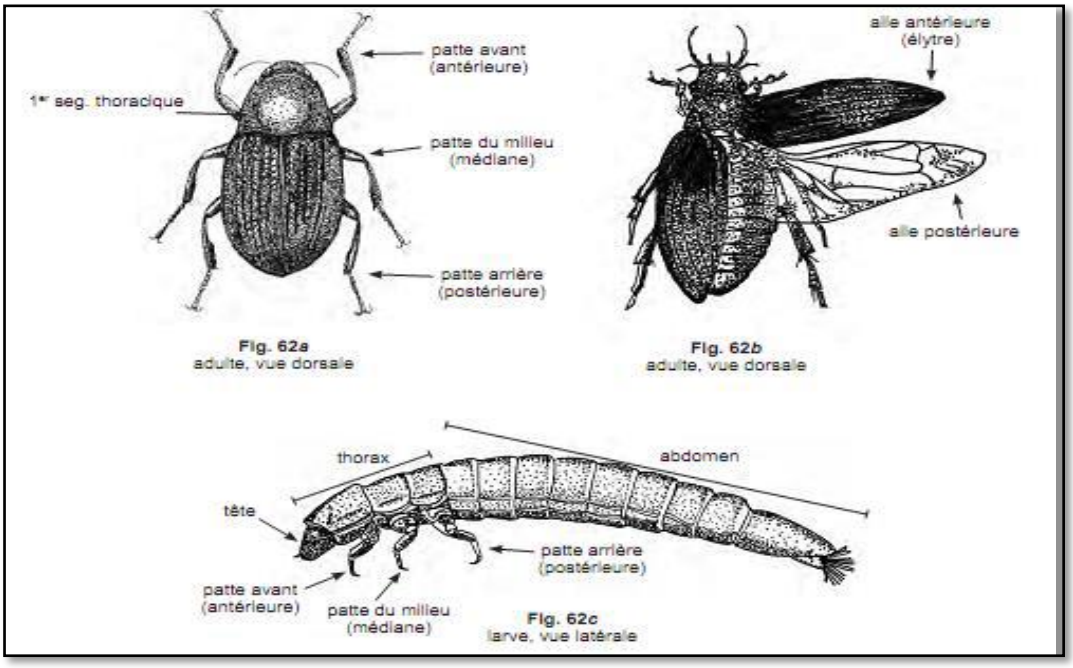


Figure 8 : Vue dorsale d'un Coléoptère adulte et vue latérale d'une larve (Moisan et al., 2008).

c).2. Biologie et écologie

Les "scarabées d'eau" déposent leurs œufs au milieu de la végétation aquatique. Après plusieurs semaines, les larves sortent de l'eau pour se métamorphoser en nymphes ; cette phase a généralement lieu dans la mousse ou le sol humide des rives. Plus tard, une fois devenues adultes, elles retournent à l'élément aquatique. Leurs ailes leur offrent la capacité de voler, leur permettant ainsi de se déplacer vers une autre mare ou un autre étang. Les adultes ont la possibilité de passer la saison difficile sous une pierre ou dans de la mousse. Les coléoptères ont envahi tous les milieux d'eau douce disponibles. La majorité de ces larves de coléoptères sont marcheuses, bien que quelques genres soient nageurs (Tachet et al., 2012).

d). Les Odonates

Les Odonates comme tous les insectes sont très anciens (Bouchlaghem, 2008). L'ordre des odonates se divise en deux sous-ordres principaux :

- **Les Zygoptères :** sont des individus petits et grêles au vol peu soutenu. Au repos, les ailes sont le plus fréquemment jointes au-dessus de l'abdomen ou entrouvertes à l'oblique vers l'arrière ;

- **Les Anisoptères :** dont le corps est beaucoup plus massif, ont un vol puissant et soutenu. Au repos, les ailes sont écartées du corps en position horizontale (Figure 9). Comme tous les insectes, le corps est divisé en trois parties : la tête, le thorax et l'abdomen. Les critères

morphologiques les plus utilisés pour l'identification des adultes concernent le type de nervation alaire (surtout pour le genre), la coloration de l'abdomen, la forme des pièces copulatrices (Barbarin, 2006). Elles appartiennent à l'ordre des insectes dont les larves sont exclusivement aquatiques (Moisan, 2006). Les 55 000 espèces et 30 familles appartenant à l'ordre des Odonata sont plus connus sous le nom de Libellules et demoiselles **(**Mc Gavin, 2000). Les métamorphoses sont incomplètes, les larves aquatiques sont prédatrices et possèdent un "masque" déployable, pièces buccales pour saisir les proies (Bouchlaghem, 2008).

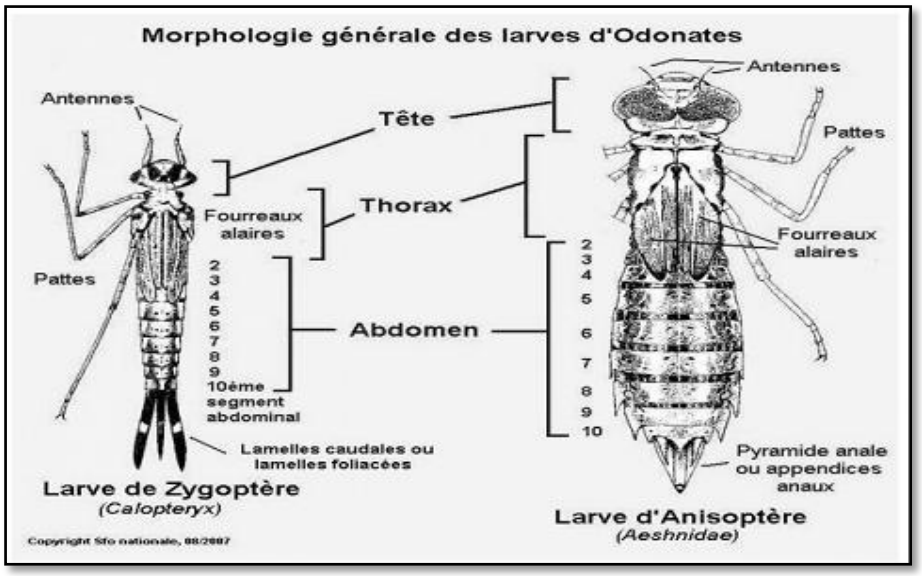


Figure 9 : Vue dorsale et latérale d'une larve d'Odonate
(Société Française d'Odonatologie, 2007 in Bouchlaghem, 2008).

d).1. Morphologie des larves

La forme générale des larves de zygopétales est très allongée, courte et élargie chez les Anisoptères. Comme l'adulte, le corps de la larve se divise en trois parties :

La tête : peu mobile, se rattache au thorax par un court et large cou, les yeux sont réduits, les ocelles sont peu distincts, les antennes composées de 3 à 7 articles, le front et le clypeus ne sont pas divisés, les mandibules sont peu différents de celles des adultes.

Le labium : organe de préhension pour la capture des proies, il est forme d'un submentum, un mentum, deux palpes labiaux mobiles munis de soies dont l'extrémité se termine par un crochet. Ces pièces sont des caractères de distinction des espèces.

Le thorax : se divise en 2 parties : le prothorax et le méso-métathorax sur lequel apparaissent les 4 fourreaux alaires ; les pattes sont plus longues que celles de l'adulte et adaptées à la marche.

L'abdomen : composé de 10 segments discernables et un onzième résiduel. Chez les Zygoptères, il est mince, cylindrique et étiré. Dans le groupe des Anisoptères, le corps est aplani et élargi, et sur chaque segment, on peut observer la présence ou l'absence d'épines ou de tubercules médiodorsaux (au centre de l'abdomen) ou d'épines latérales. L'organe de reproduction est réduit à de simples vestiges visibles sur la face ventrale des segments 8 et 9. Il convient d'observer la partie inférieure du segment 2, qui chez le mâle montre des indications d'organes copulateurs.

Les appendices anaux : chez les Zygoptères : ils sont constitués par 3 lamelles caudales ou branchies anales qui se composent de deux lamelles latérales ou (paraproctes) et d'une lamelle médiane ou épiprocte. Chez les Anisoptères : les appendices anaux forment une pyramide anale qui se compose de deux appendices supérieurs, les paraproctes ou lames infra-anale et d'un appendice médian, l'épiprocte ou lame supra-anale ou épiprocte (Satha, 2017).

d).2. Biologie et écologie

Les larves sont uniquement des prédateurs, elles identifient leurs proies par l'intermédiaire de leurs yeux composés. À la fin de leur stade larvaire, ils trouvent un support sur lequel ils émergent et subissent alors une mue imaginale. Cette émergence a généralement lieu au crépuscule ou la nuit. On trouve principalement des odonates dans des environnements stagnants, toutefois, Cordulegaster et Calopteryx sont fréquemment observés dans les rivières et cours d'eau. La majorité des espèces se rencontrent dans la végétation ou sur les sédiments, cependant Cordulegaster et Gomphidae creusent le sol (Tachet et al., 2012).

e). Les Plécoptères

Les Plécoptères, un groupe d'insectes anciens, se compose uniquement de 700 espèces (Baumont & Cassier, 1983). Les perles ont vu le jour sur notre planète il y a approximativement 60 millions d'années. Les larves qu'ils produisent, mesurant de 1 à 3 cm, ressemblent aux stades ailés. Actuellement, plus de 2000 espèces, réparties sur tous les continents sauf l'Antarctique et l'Arctique, sont recensées, y compris 110 espèces présentes en Suisse. Elles possèdent un cycle de vie incomplet (processus de transformation en plusieurs phases sans phase de cocon), qui va du stade larvaire au stade adulte capable de se reproduire. La majorité des larves de perles présentent une couleur sombre. On distingue ces créatures par leur silhouette élancée et l'absence d'appendices branchiaux sur leur abdomen, contrairement aux larves d'éphémères. Cependant, elles possèdent toujours deux cerques (queues) à l'extrémité de leur corps. Leurs pattes sont composées de trois segments et deux griffes

(Figure 10). Les plus grandes espèces présentent des trachéo-bronchites au niveau du thorax. Les larves se déplacent en effectuant des mouvements de reptation sur les côtés. L'adulte (imago), généralement sombre ou noire, a quatre ailes de taille approximativement égale qui se replient horizontalement au-dessus de son corps lorsqu'il est inactif. Il possède de longues antennes, des yeux à facettes et des ocelles (un œil plus petit en forme de point) (Samraoui & De Belair, 1997).

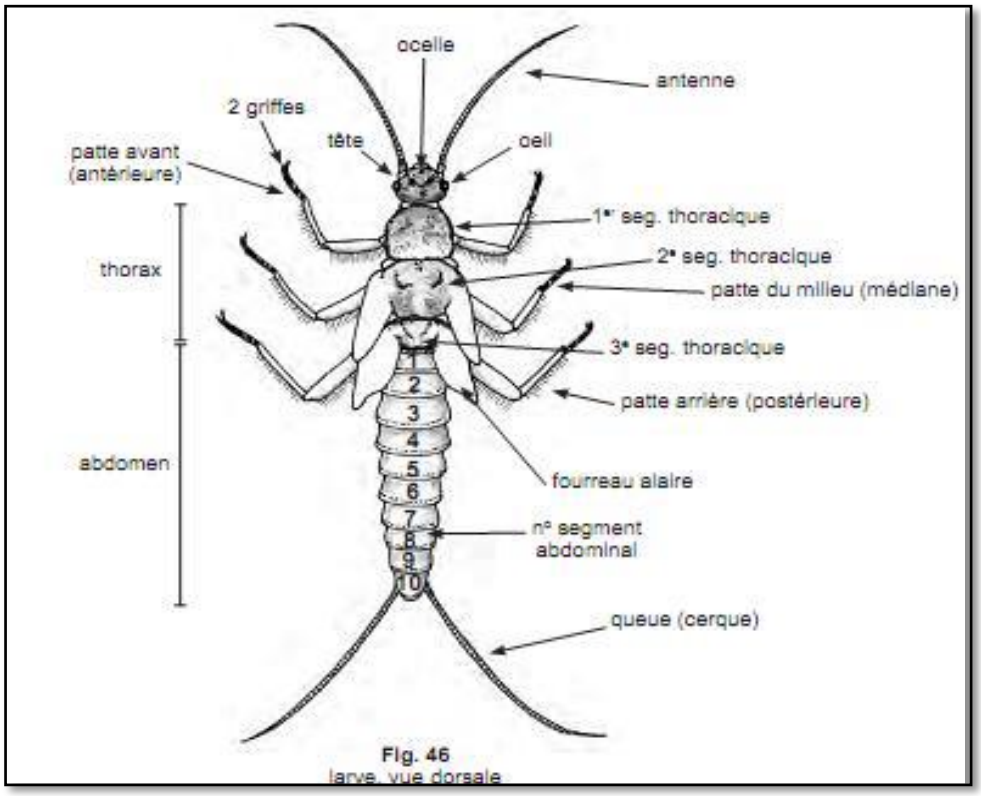


Figure 10 : Vue dorsale d'un Plécoptère (Moisan et al., 2008).

f). Les Diptères

On compte une grande variété de Diptères, qui représentent jusqu'à 90% ou plus de l'entomofaune à ailes, dans divers biotopes, qu'ils soient naturels ou artificiels. Grâce à leur abondance en espèces et individus et leur capacité d'adaptation aux habitats larvaires, les diptères prédominent dans de grandes étendues (Leclercq, 1971).

Les Diptères possèdent une paire d'ailes et une paire de balanciers, leur appareil buccal est de type suceur ou piqueur-suceur, ils présentent une métamorphose complète (Mathieu, 1995). De nombreux problèmes sont encore à analyser, même au sein des familles. Ainsi, on dénombre 95 familles (Leclercq, 1971). On dénombre plus de 30 000 espèces (Ayral, 1966), bien que d'autres auteurs évoquent plutôt un total de 80 000 espèces (Mathieu, 1995).

Les Chironomidae sont des insectes diptères qui appartiennent au groupe morphologique des culiciformes, ce qui signifie qu'ils présentent une apparence générale semblable à celle d'un moustique. Il s'agit de Nématocères, qui se distinguent par la longueur de leurs antennes, comparable à celle de leur tête. L'appareil buccal dont ils disposent est très rudimentaire et l'atrophie de leurs mandibules à l'âge adulte les empêche de piquer. Leur cycle de développement comprend trois phases morphologiquement distinctes qui, bien qu'elles partagent une apparence générale identique d'une sous-famille à l'autre, montrent des variations automatiques qui sont fondamentales pour la systématique (Debbiche Zerguine, 2010) (Figure 11).

Les Chironomidés parmi les diptères aquatiques sont un groupe digne d´intérêt pour l'hydrologie. Leur importance dans la chaine trophique est souvent un élément majeur dans la production de certains milieux (Bouda, 2002).

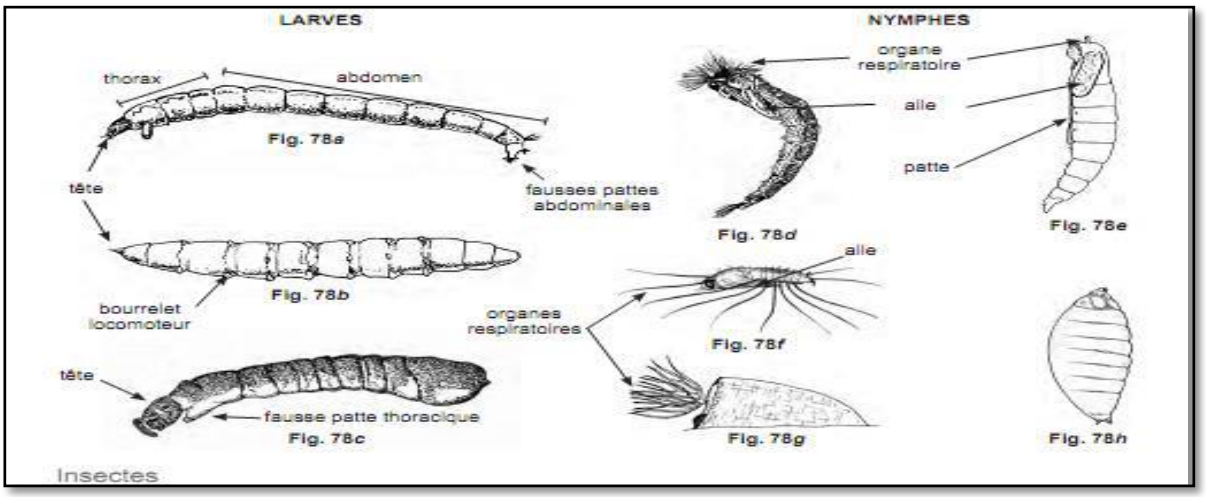


Figure 11 : Larves de Diptères (Moisan et al., 2008).

f).1. Biologie et écologie

La reproduction se fait toujours par voie sexuelle. L'union des sexes peut conduire à la création d'essaims pouvant comporter parfois des milliers d'individus (comme c'est le cas pour certains chironomidés). La possibilité de voler permet aux adultes de se disperser largement, tandis que les œufs sont déposés en une masse dans l'eau ou pondus individuellement à la surface, leur quantité variant de quelques centaines à quelques milliers. La durée de vie varie considérablement, allant de quelques semaines à un ou deux ans en fonction des espèces. On trouve des diptères ayant des larves aquatiques dans toutes les principales régions du globe, certaines espèces de chironomidés habitent même des environnements pollués (zone côtière).

Le régime alimentaire des larves de diptères est très varié :

- Broyeuses détritivores (Tipulidae)
- Racleuses de substrat (certain Chironomidae)
- Filtreuses (Simuliidae, certains Chironomidaes, Culicidae, Syrphidae)
- Prédatrices (Chaoboridae, Athericidaes, Tabanidaes) **(**Tachet et al., 2012).

g). les Hémiptères

Les Hémiptères se distinguent par la métamorphose de leur appareil buccal en rostre. Le labium, qui constitue ce dernier, forme un tube, que celui-ci soit segmenté ou non (Figure 12). Dans ce contexte, les maxilles et mandibules se transforment en styles, permettant une alimentation liquide. Selon Tachet et al. (2000), ce groupe se divise en deux sous-catégories : les Hétéroptères et Homoptères.

g).1.Morphologie

• **la tête** : la larve et l'adulte possèdent des yeux, les antennes sont constituées d'un à cinq segments, le rostre est orienté vers l'avant, et un labium est présent bien que les palpes labiaux et maxillaires soient absents. Les labres, les maxilles et les mandibules se transforment en stylets qui délimitent un canal de salive ou un canal d'aspiration.

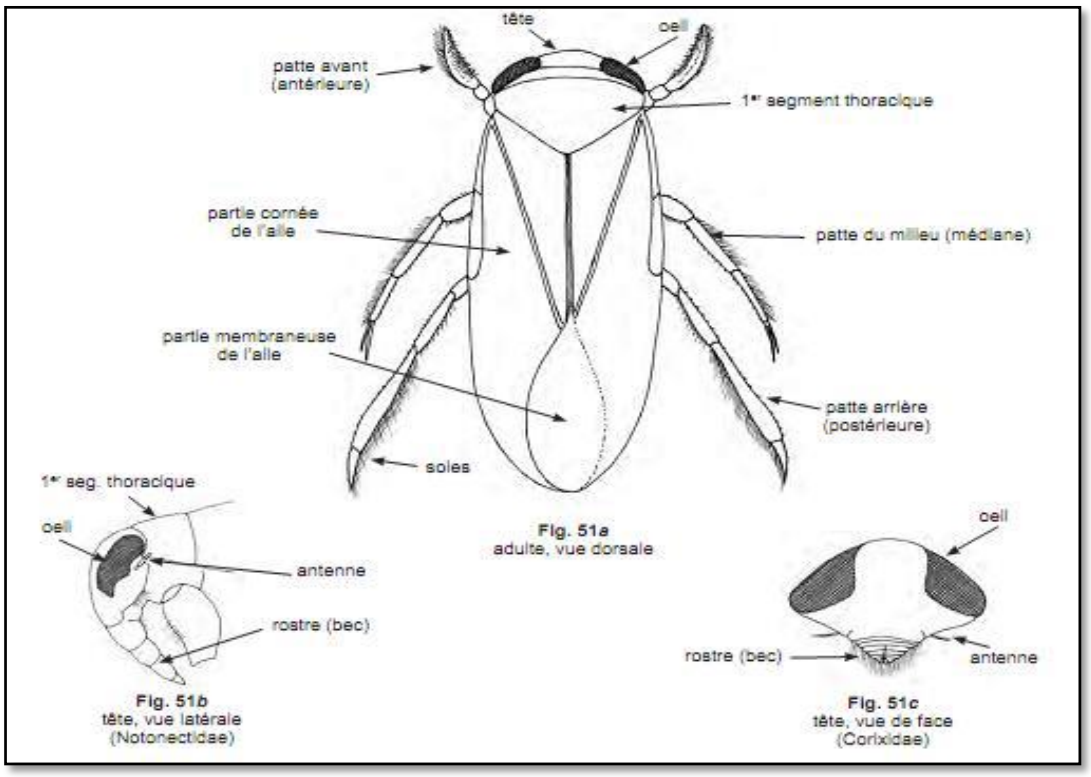


Figure 12 : Vue dorsale d'un Hémiptère (Moisan et al., 2008).

• **Le thorax** : dans la région du mésothorax, on trouve un élément de forme triangulaire : le scutellum (écussion). Les pattes présentent des formes diversifiées, le tarse ayant 1 à 3 segments chez l'adulte et un seul chez la larve. On observe une ou deux marques. Les ailes antérieures se replient à plat sur l'abdomen et présentent une section proximale durcie et une section membranaire, tandis que les ailes postérieures sont entièrement membraneuses.

• **L'abdomen :** L'orifice génital femelle s'ouvre sur le segment numéro 8 et celui des males sur le segment numéro 9 (Satha, 2014).

g).2. Biologie et écologie

On compte cinq phases larvaires, les deux premières respirent à travers la peau et l'oxygène est conservé dans l'espace entre les ailes et l'abdomen. La ponte endophyte. Le cycle est généralement monovoltin, et rarement bivoitlin ou polyvoltin. Les Nepomorpha sont des Hétéroptères aquatiques, mais les adultes ont la capacité de quitter temporairement leur habitat aquatique.

Bien qu'ils soient des prédateurs, certaines espèces de corixidae se nourrissent de détritus ou d'algues. Selon Satha (2014), les Gerridae agissent en tant que prédateurs, se nourrissant de cadavres d'insectes ou d'invertébrés immergés.

h). Les Lépidoptère

Les papillons (Figure 13) ont une proximité phylogénétique avec les Trichoptères. Bien que la plupart ait un cycle de vie terrestre, certains genres aquatiques existent au sein de la famille des Crambidae. Au vu des 123 familles et 156500 espèces identifiées, il est évident que les Lépidoptères présentent une diversité biologique et comportementale marquée. Ces insectes sont holométaboles et traversent quatre phases de développement : œuf, larve (chenille), nymphe (chrysalide) et adulte (papillon).

Chez certains papillons il n'y a qu'une seule génération par an (espèces univoltines), d'autres espèces produisent deux générations (espèces bivoltines) ou plus le nombre de génération ne dépend aussi du climat (Bensaidi & Kirane, 2014).

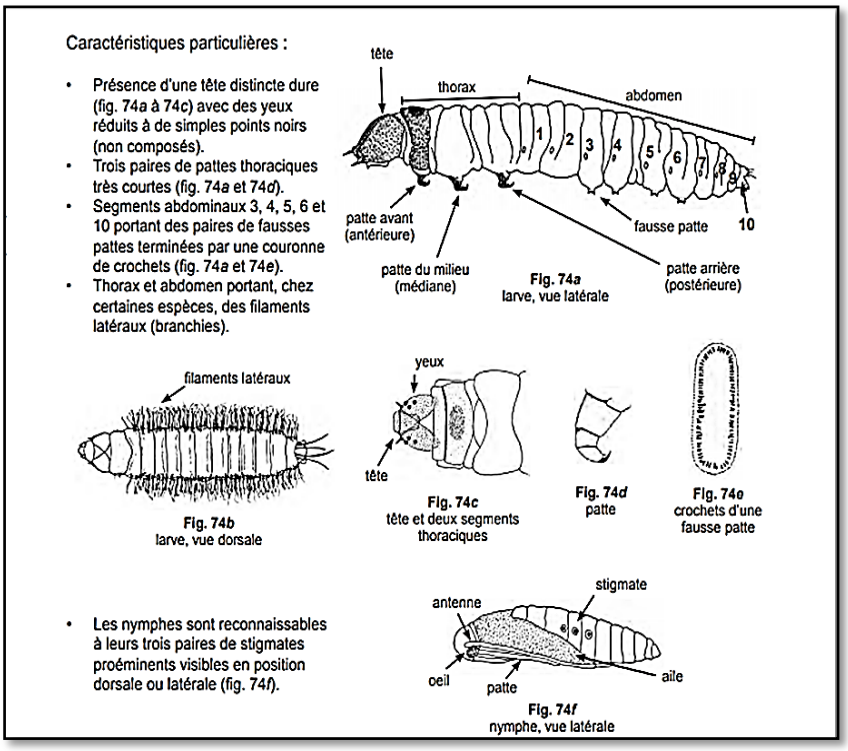


Figure 13 : Les Lépidoptères (larve et nymphe) (Moisan et al., 2010).

I.5. Les caractéristiques des macroinvertébrés

Les macroinvertébrés possèdent de nombreuses caractéristiques :

- Le rôle clé dans la chaine trophique.

- Les macroinvertébrés sont relativement sédentaires, et plus ont une durée de vie relativement longue (quelques mois à quelques années).

Ces caractéristiques leur permettent d'intégrer la qualité de leur habitat.

- Le groupe des macroinvertébrés est constitué d'un grand nombre de taxons, appartenant à plusieurs phyla, et présentant une très grande diversité de formes.

- L'évolution spatiotemporelle et l'omniprésence.

- L'affinité adaptative de quelques taxons (morphologique, physiologique, comportementale) aux paramètres environnementaux à long terme (Bernadet, 2013).

- La polluo-sensibilité de certains taxons.

- La facilité d'échantillonnage avec une bonne conservation de ce matériel biologique.

- La facilité d'identification avec la disponibilité des clés de détermination.

- Les caractéristiques économiques (Roset, 2013).

I.6. Intérêt de l'étude des macroinvertébrés

Les macroinvertébrés sont examinés comme un indicateur scientifique indiquant l'effet négatif et/ou positif sur les habitats. Ce groupe comprend divers taxons partageant des caractéristiques similaires. Les espèces réagissent aux modifications abiotiques de l'environnement. Leur profusion et leur variété témoignent de la santé d'un biotope. Dans un cours d'eau sain, on observe une densité supérieure qu'au sein d'un cours d'eau contaminé, car ces organismes requièrent des conditions optimales dans ce biotope (Bensaidi & Kirane, 2014). Le suivi de ces espèces est donc pour :

- Dresser un inventaire aussi exhaustif que possible et avoir des connaissances sur leur systématique, leur écologie ainsi que leur biogéographie (Haouchine, 2011).
- Améliorer les programmes d'étude concernant la qualité des écosystèmes aquatiques.
- Evaluer l'état de santé d'un cours d'eau long terme.
- Evaluer des risques toxiques au niveau des écosystèmes (Virginie et al., 2010).
- Protéger l'écologie d'un environnement afin d'améliorer les relations entre les composantes d'un écosystème.

I.7. Les macroinvertébrés comme bio-indicateurs

Les approches biologiques s'appuient sur l'emploi de bio-indicateurs dans les environnements aquatiques. Un bio-indicateur se compose d'une espèce ou d'un ensemble d'espèces qui nous informe sur les changements biotiques ou abiotiques d'un cours d'eau, et par conséquent, sur les fluctuations de divers éléments environnementaux. Ces changements peuvent influencer la population du bio-indicateur, soit en l'augmentant, soit en la diminuant, selon qu'ils ont des effets positifs ou négatifs sur divers paramètres de vie de ces organismes à l'échelle comportementale, morphologique, tissulaire ou physiologique (Touzin, 2008).

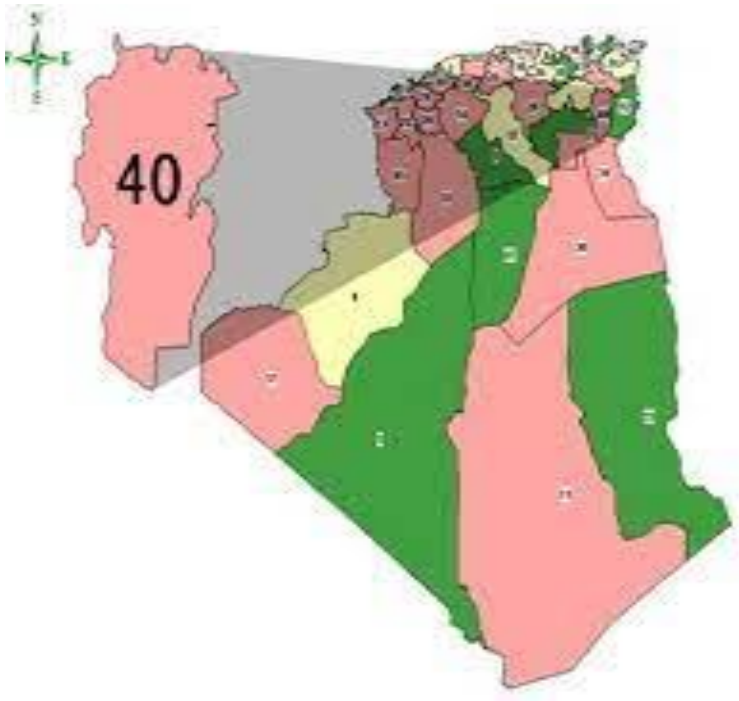
Le suivi des macroinvertébrés est utile pour :

- Evaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques ;
- Suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau au fil du temps ;
- Evaluer et vérifier l'effet d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème ;
- Evaluer les impacts des efforts de restauration (habitat et qualité de l'eau) ;
-Apporter un complément biologique au programme de surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des cours d'eau ;
- Documenter la biodiversité des macroinvertébrés dans les cours d'eau (Moisan et al., 2008).

I.8. L'effet de la pollution sur les macroinvertébrés

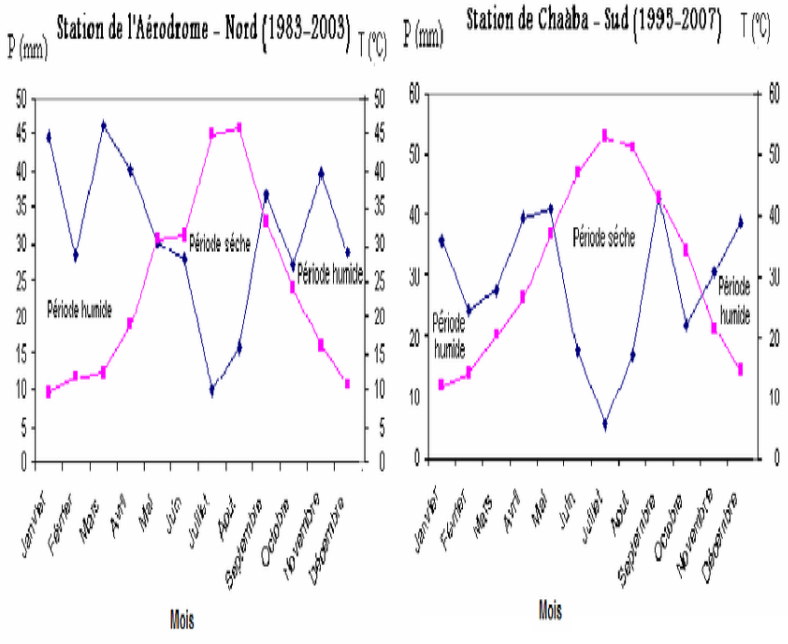
Tous les organismes vivants dans un environnement stable sont adaptés à des conditions abiotiques spécifiques. Cet intervalle est essentiel à la communauté des macroinvertébrés benthiques pour sa survie et son évolution dans le temps et l'espace. Elle nous fournit des renseignements instantanés sur la qualité biotique et abiotique des eaux et des milieux. Il convient de noter que les Trichoptères, les Ephéméroptères et les plécoptères sont les groupes d'insectes qui réagissent le plus aux polluants.

Les macroinvertébrés, qui ne jouent pas un rôle direct dans les processus d'autoépuration d'un écosystème marin, sont sensibles aux différentes formes de pollution et leur interaction est principalement liée aux microorganismes comme les bactéries. On les emploie comme un témoin fiable et efficace pour identifier une pollution aiguë plusieurs mois après, bien que les contaminants toxiques aient disparu. Il faut également noter que la réaction des macroinvertébrés n'est pas spécifique, elle signale uniquement une situation anormale étant donné que la pollution diminue la biodiversité et dans certains cas, elle éradiquer complètement les espèces, genres ou familles les plus sensibles à la pollution (Tachet et al., 2010).



Présentation de la zone d'étude

Chapitre II



Introduction

En raison de sa localisation géographique, la wilaya de Khenchela est intégrée à l'unité régionale des hautes plaines Constantinoises. Toutefois, elle est officiellement classée au sein du vaste ensemble régional des hauts plateaux, s'établissant à proximité des principales villes du sud algérien ainsi que des grandes cités métropolitaines de l'est algérien (Figure 14).

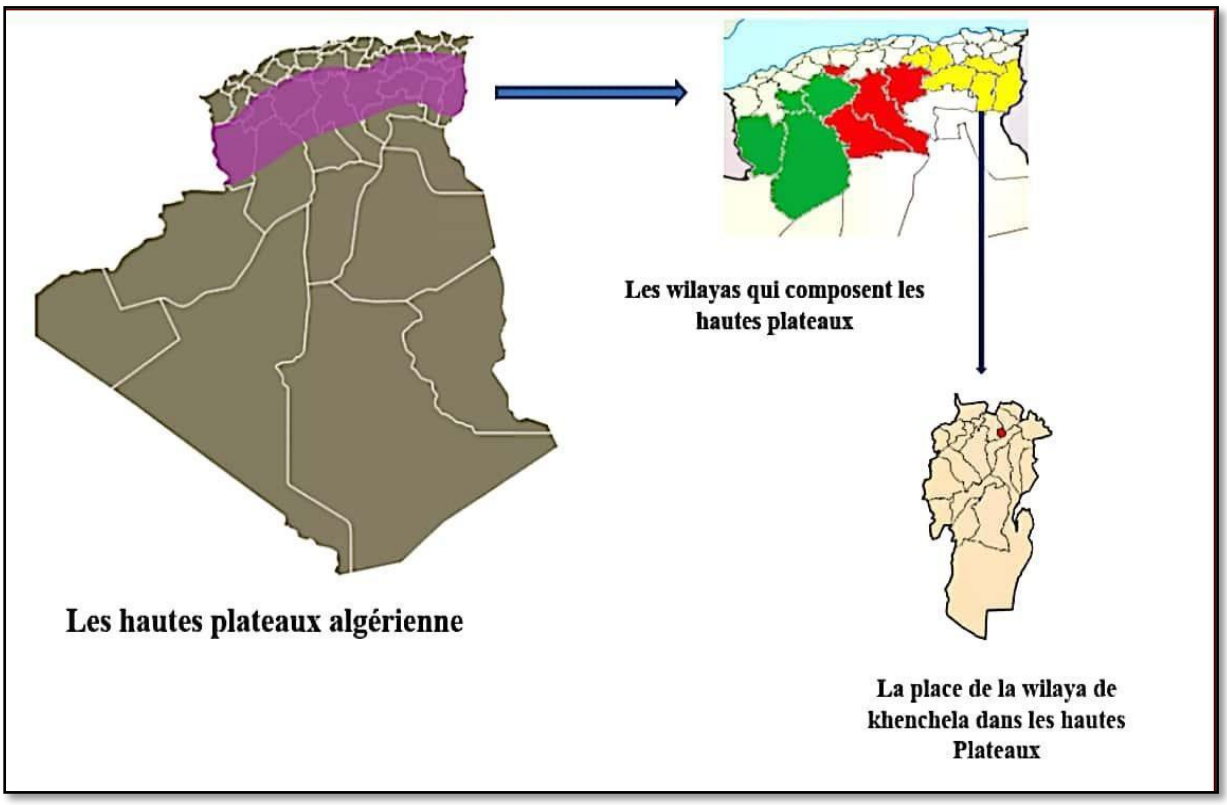


Figure 14 : Position de la wilaya de Khenchela dans les hauts plateaux algériens.

De plus, la wilaya se distingue par une complexité de relief et une diversité biologique significatives. Elle offre également des variations altitudinales notables, avec un sommet atteignant 2328 m (Ras Kaltoume) et une dépression allant jusqu'à -26 m sous le niveau de la mer à chott Melghir.

La wilaya, grâce à sa diversité, a une vocation agro-sylvo-pastorale et saharienne qui détermine quatre zones agricoles : les montagnes, les plateaux, les plaines et les parcours steppiques (Figure 15) (CF, 2012).

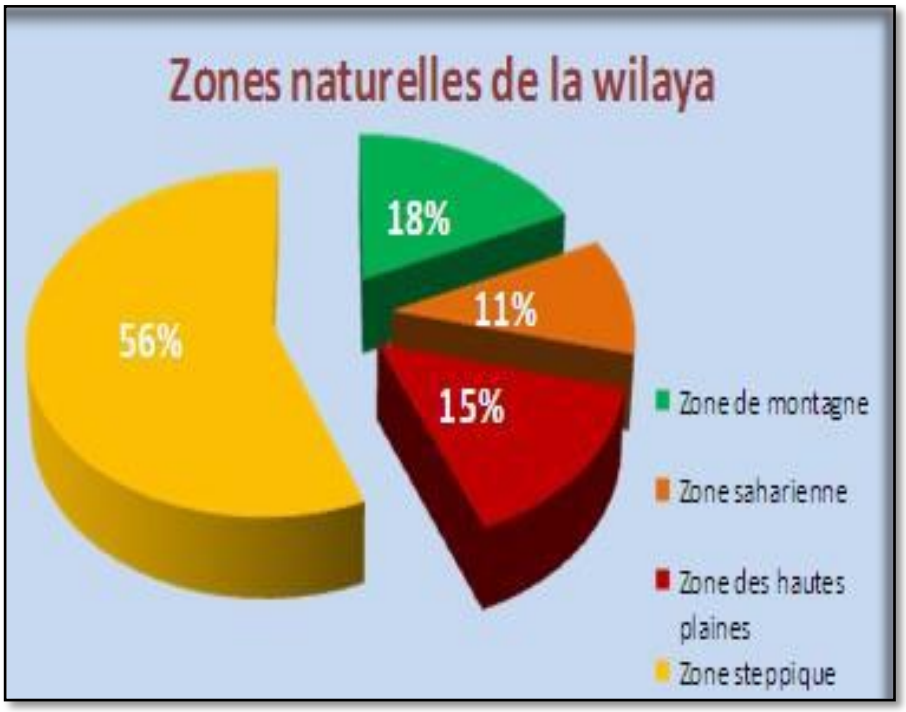


Figure 15 : Zones naturelles de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

II.1. Présentation générale

II.1.1. Description générale et localisation de la wilaya de Khenchela

La wilaya de Khenchela se positionne dans la partie orientale du pays, près des monts des Aurès. Elle est localisée entre la longitude 6° 32' et 7° 34' Est ainsi que la latitude 35° 7' et 35° 38' Nord. Elle est bordée au nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi, au nord-ouest par la wilaya de Batna, au sud-ouest par la wilaya de Biskra, au sud par la wilaya d'El Oued et à l'est par la wilaya de Tébessa (Figure 16).

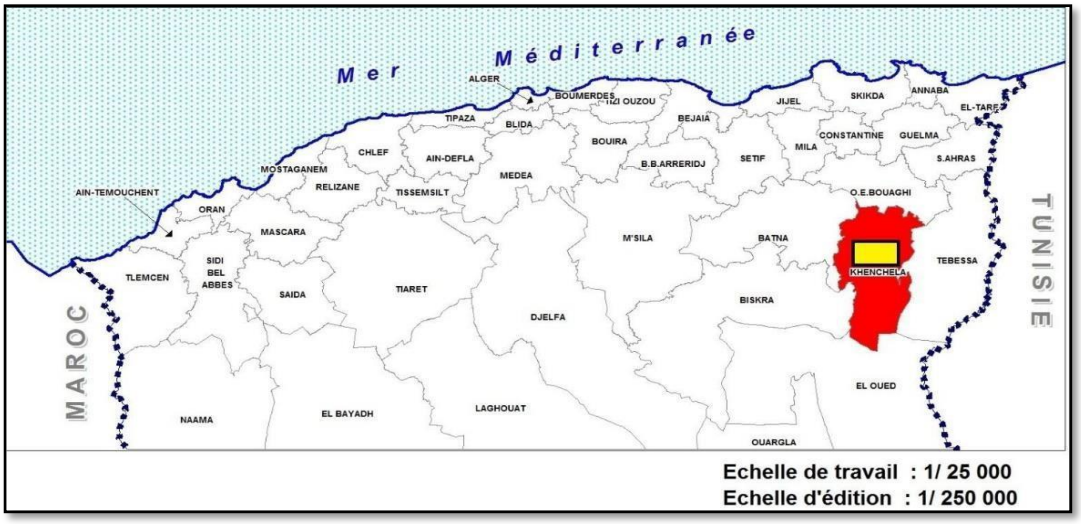


Figure 16 : Localisation de la wilaya de Khenchela dans le nord de l'Algérie (DSA, 2011).

II.2. Situation administrative

La wilaya de Khenchela est une des 48 wilayat du pays. Née du découpage administratif de 1984 de la wilaya mère de Batna et elle était rattachée à trois wilayates différentes :

▪ Oum El Bouaghi pour daïra de Khenchela.

▪ Tébessa pour la daïra de Chechar.

▪ Batna pour la daïra de Kais.

Elle couvre une superficie de 9715,6 Km2, soit 0,4 % du territoire national. Elle est composée de 08 Daïrat subdivisées en un total de 21 Communes.

II.3. Caractérisation de la Zone d'étude

II.3.1. Caractères géomorphologiques

II.3.1.1. Relief

La structure physique de la wilaya de Khenchela est très hétérogène. Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes (Figure 17) :

- Les hautes plaines du nord : constitués par le bassin de Gareat Tarf qui comprend les plaines de Remila Boudrehem et de M'toussa, ainsi que le plateau des Ouled Rechache, plaines de Mahmel et de Zoui et la plaine de Khenchela.

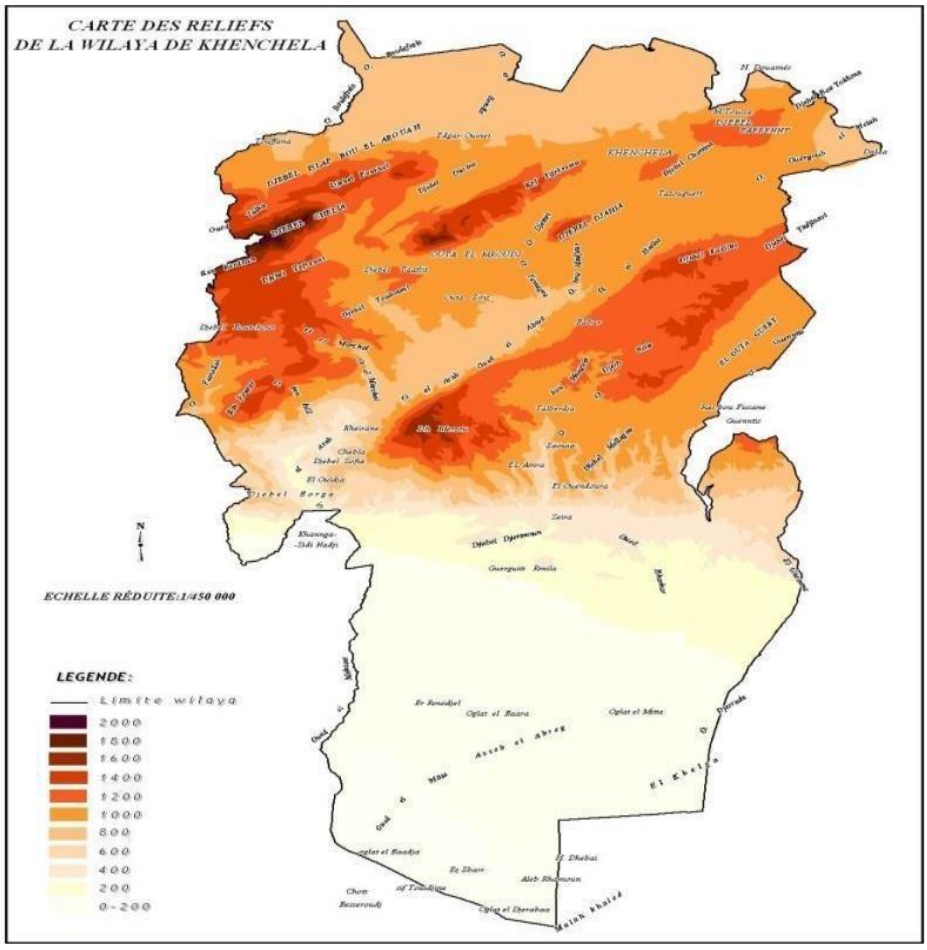


Figure 17 : Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

- La zone montagneuse : occupe les parties centrales ouest de la wilaya. Constituée de deux massifs importants : les Aurès et les monts de Nemamcha.

- Les parcours steppiques et sahariens : couvrent la moitié sud de la wilaya.

II.3.1.2. La Pente

Nous avons élaboré une carte des classes de pente qui décrit le territoire de la wilaya (Figure 18), en nous basant sur la grille choisie par le MATET (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme) pour catégoriser les zones montagneuses. Cette matrice, qui prend en considération l'usage souhaité des terres, propose quatre catégories :

- Classe 1 : pente comprise entre 0 et 3,5 % : Relativement favorable à l'intensification agricole (mécanisation et irrigation) et à la réalisation d'infrastructures technique.

- Classe 2 : pente comprise entre 3 à 12,5 % : Elle est favorable au développement d'une agriculture intensive à semi intensive.

- Classe 3 : pente comprise entre 12,5 et 25 % : Favorable à l'arboriculture fruitière et autres culture pérennes fixatrices du sol au déterminent des cultures annuelles et notamment les grandes cultures.

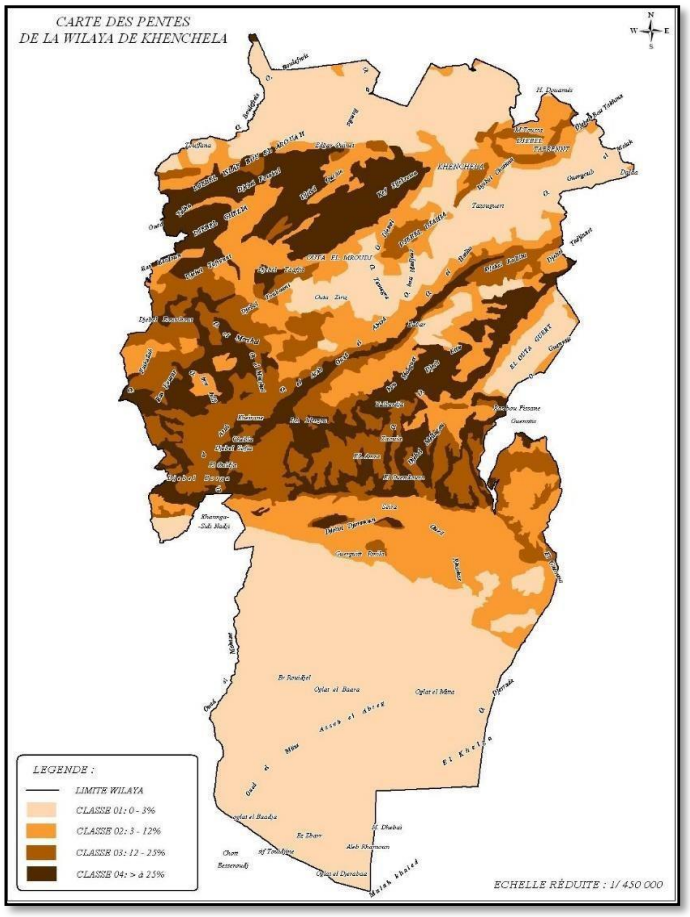


Figure 18 : Carte des pentes de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

- Classe 4 : pente supérieure à 25 % : constituant de ce fait une contrainte majeure pour la pratique des activités agricoles et un handicap pour la réalisation des infrastructures socioéconomiques. A ce titre, l'occupation du sol au niveau de cette doit privilégier la sylviculture.

II.3.1.3. La géologie

Ses sols se situent sur les structures géologiques de Chélia et de Khenchela, ainsi qu'au centre du synclinal de Djebel Aurès, avec des caractéristiques gréseuses, marno-calcaire et dolomitiques (B.N.E.F, 2004). Selon Faurel et Laffite (1949), les calcaires, marnes, argiles et parfois le gypse constituent des roches mères.

II.3.2. Caractères pédologiques

On identifie six catégories de sols, auxquelles il faut ajouter la catégorie des sols minéraux bruts où la roche mère affleure, ainsi que la catégorie des sols halomorphes (Figure 19) :

- **Les sols calcaires humifères** : ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1000 et 1500 mètres.
- **Les sols insaturés humifères** : ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par des forêts.

- **Les sols calciques :** ces sols sont rencontrés sur les bas piémonts, et sur les hautes plaines longeant la route qui mène de Khenchela à Faïs en passant par Kaïs et Remila. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Ain Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela.

- **Les roches mères :** ces roches, résultant d'une érosion intense due à une conjugaison de facteurs négatifs (relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts de Nemamcha.

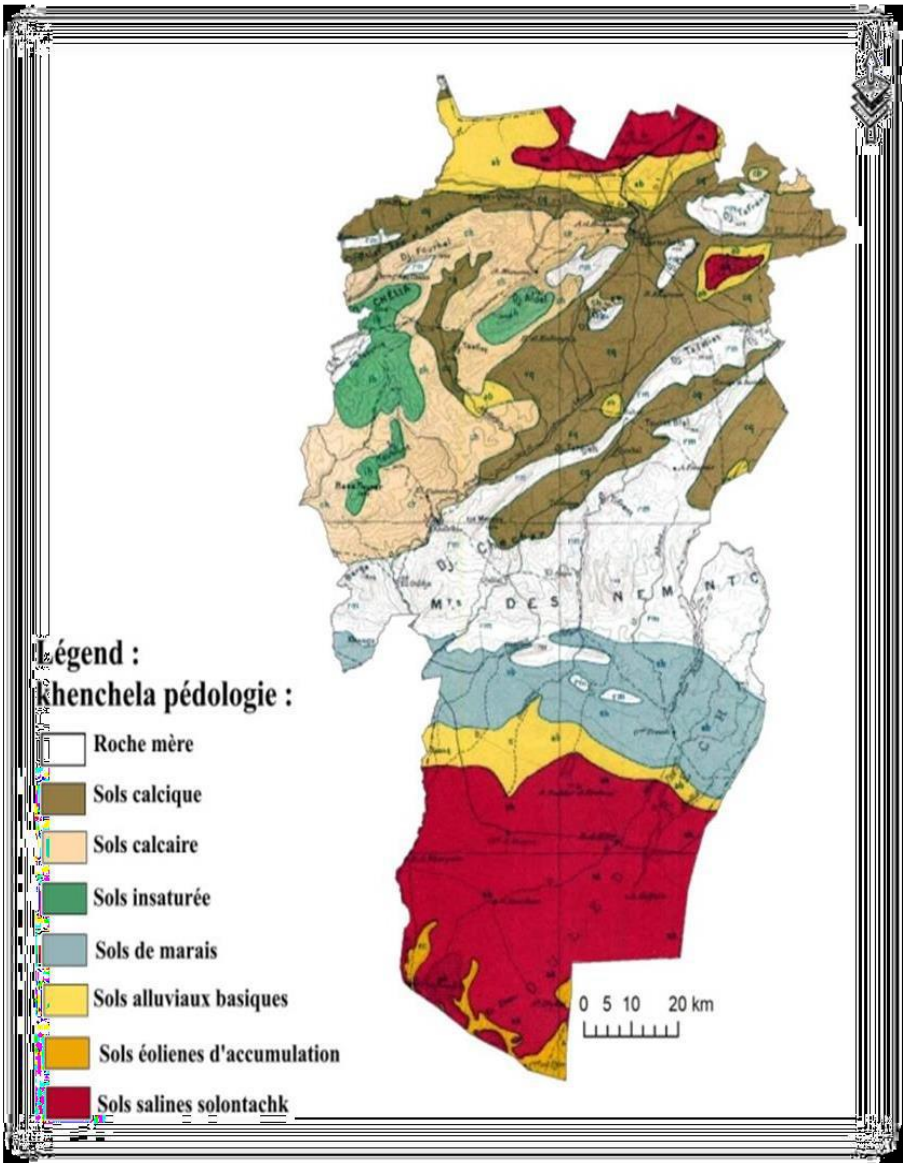


Figure 19 : Carte pédologique de la wilaya de Khenchela (DPAT, 2012).

II.3.3. Caractères hydrographiques

La wilaya de Khenchela s'inscrit dans les limites géographiques de trois bassins versants, la (Figure 20) illustre une carte hydrologique de la wilaya de Khenchela.

- **Le bassin versant des Hautes Plaines constantinoises :** qui correspond à la partie nord de la wilaya (piémonts nord des Aurès et zone des dépressions) ;
- **Le bassin versant de la Médjerdah :** pour la partie nord-est correspondant aux versants sud des djebels : Chettaia, Tafrem1t et Bou Tokhma, et, aux versants nord des Djebels : Tadilist et Tadjinnart ;

- **Le bassin versant du Chott Melghir :** pour les parties médianes et sud de la wilaya, correspondant au massif des Aurès, aux monts des Nemenchas, aux vallées des oueds El Arab et Mellagou, ainsi qu'aux plaines steppiques et présaharienne du sud (C.F ,2016).

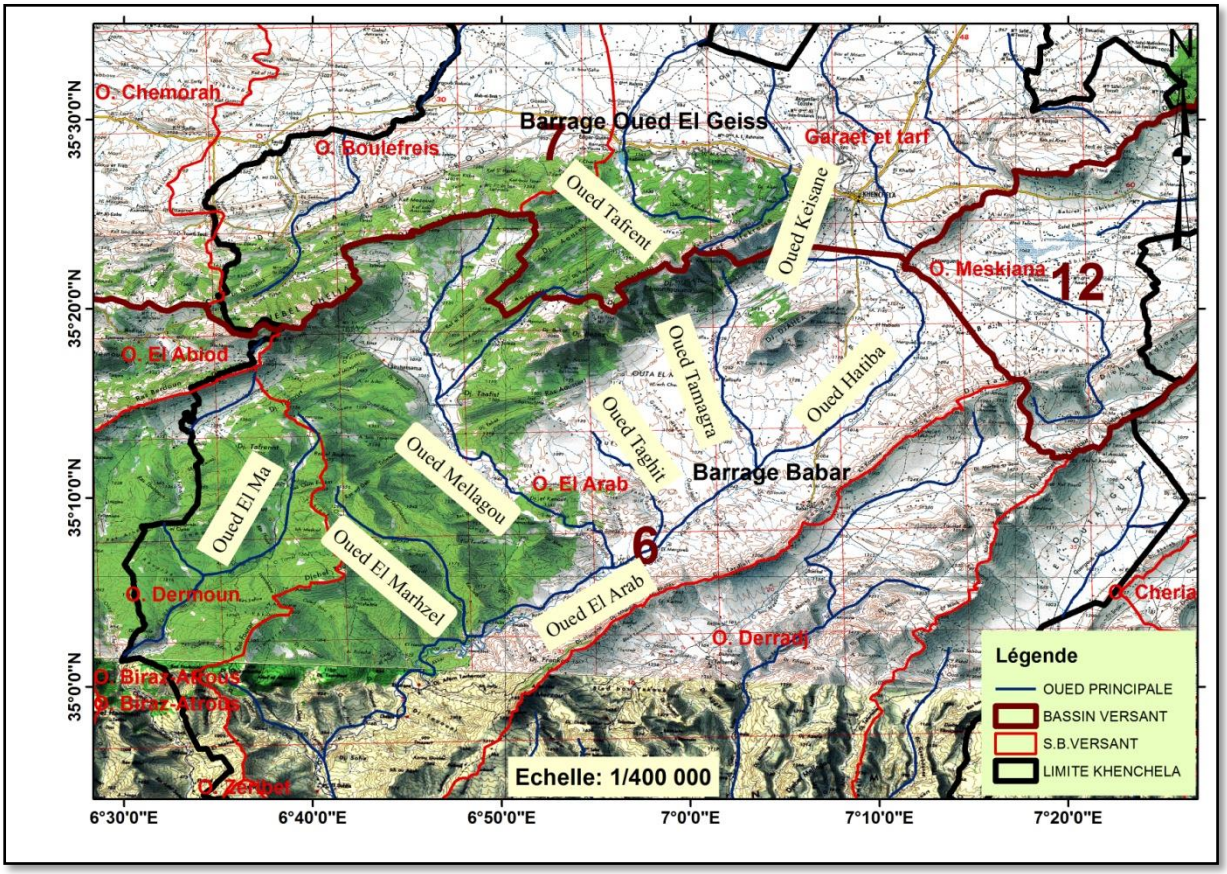


Figure 20 : Carte hydrologique de la wilaya de Khenchela.

II.3.4. La richesse floristique

La wilaya de Khenchela abrite une riche couverture végétale, qui regroupe diverses associations végétales naturelles et constitue l'une des plus magnifiques forêts d'Algérie. Ces forêts sont catégorisées en forêts de production et de protection, et elles s'étendent sur trois grands ensembles : Beni-Imloul, Beni-Oudjana et Ouled Yagoub. Le couvert forestier de la wilaya, qui comprend les reboisements du Barrage Vert, s'étend sur une superficie de 128.898 ha, correspondant à un taux de couverture de 30 % légèrement plus élevé que la moyenne nationale de 10 %.

Les différents types d'espèces présents dans la zone d'étude, classés par ordre d'importance : Les espèces prédominantes dans cette région comprennent : le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica M*), le chêne vert (*Quercus ilex*) et le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) (B.N.E.F 2004). On peut également trouver des essences secondaires en association avec le cèdre ou le chêne vert, telles que : l'if (*Taxus baccata*), le

sorbier (*Sorbus aria*), l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*), le frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*) (B.N.E.F, 2004).

II.3.5. Etude climatique de la zone d'étude

a) Température

Nous sommes principalement liés à la température en tant que grandeur physique. Le concept de la météo est intrinsèquement associé à la sensation de chaleur et de fraîcheur (Delmas, 2012). Elle régule les mécanismes de météorisation des rochers, notamment à travers les cycles de gel/dégel, influence l'évaporabilité physique et biologique (évapotranspiration) et joue un rôle majeur dans le flux des cours d'eau, tout en imposant aux organismes vivants des frontières variées de distribution (Figure 21) (Estienne & Godrad, 1970).

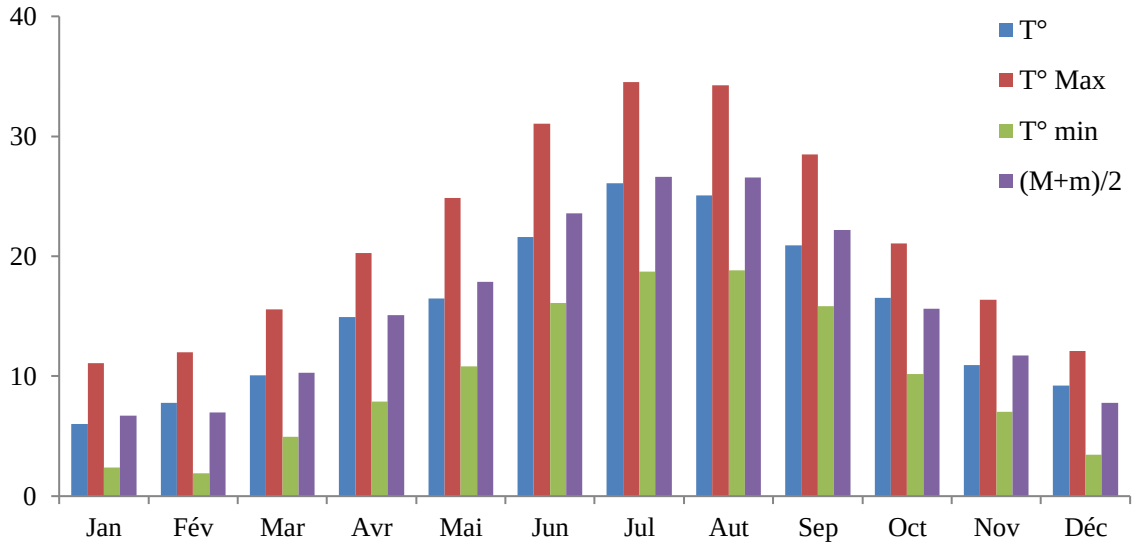


Figure 21 : Diagramme de température pendant la période 2011-2020 dans la wilaya de Khenchela (station météorologique d'El Hamma, 2021).

b) Les précipitations

Les précipitations sont le facteur primordial pour établir le bilan hydrique, car elles représentent la circulation des eaux de surface et souterraines, les précipitations, sous diverses formes telles que la pluie, la neige, la grêle ou la rosée, représentent le retour de l'eau atmosphérique à la surface de l'écosphère (Ramade, 2008) (Figure 22). Les pluies sont le facteur déterminant pour le débit saisonnier et par conséquent, le régime des rivières et nappes d'eau.

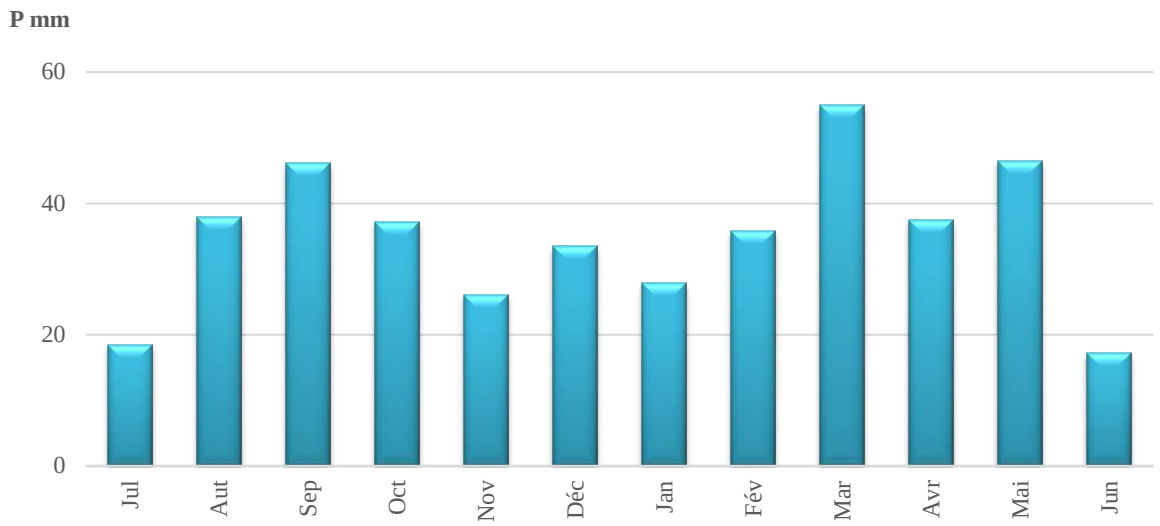


Figure 22 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (2011-2021).

La moyenne mensuelle des précipitations sur la période de 2011 à 2021 s'élève à 419,29 mm. Le printemps est la saison la plus humide avec une moyenne de 138,95 mm, suivi de l'automne qui affiche 109,46 mm, puis vient l'hiver avec une moyenne de 97,13 mm. Avec une moyenne de 74,09 mm de pluie, mai est le mois qui reçoit le plus d'eau, alors que juin, avec seulement 17,26 mm, est considéré comme le mois le plus aride.

II.3.5.1. Les indices climatiques

Les indices facilitent la mise en relation ou la comparaison de deux aspects climatiques majeurs. L'indice de sécheresse, qui représente le rapport entre le pouvoir humidifiant (précipitations) et le pouvoir desséchant (évaporation), permet de caractériser la chaleur complexe eau. Ainsi, plusieurs indices sont fréquemment employés (Ramade, 2008).

a) Indice d'aridité de De MARTONNE

Cet indice mesure le degré d'aridité d'un climat, il tient compte de la valeur des précipitations observées et de l'évapotranspiration potentielle dans un biotope semi-aride ou désertique (Ramade, 2008).

$$I_a = P/T+10$$

Avec:

- **Ia :** Indice d'aridité.
- **P** : Précipitations moyennes annuelles (mm).
- **T** : Températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement suivant :
Quant

- **I < 5** : le climat est hyperaride.
- **5 < I < 7.5** : le climat est désertique.
- **7.5 < I <10** : le climat est steppique.
- **10 < I < 20** : le climat est semi-aride.
- **20 < I < 30 :** le climat est tempéré.
- **I > 30 :** le climat est humide.

Pour ce qui est de notre station météorologique d'EL Hamma :
P (mm) [Juillet 2011-Juin 2021] = 419,29
T°= 17, 99
$\mathbf{I_a}$ = 419, 29 / (17, 99+10) = 14, 98

I=14, 98 < 20 ; Donc le climat est semi-aride.

b) Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

La sécheresse ne se définit pas uniquement par l'absence totale de précipitations, mais elle se produit lorsque les faibles pluies s'accompagnent d'une forte chaleur. Selon Gaussen (1954), on considère qu'un mois est sec si le total mensuel des précipitations, en millimètres, ne dépasse pas le double de la température moyenne en degrés Celsius.

P< 2T (indice de Gaussen)

De cela, le graphique des courbes ombrothermiques (Figure 26) comportera les précipitations mensuelles (P) et les températures moyennes mensuelles (T). Les deux échelles (P) et (T) sont tellesque1°C = 2 mm
Les précipitations (p) et les températures (T), où la pluviosité est égale au double de la température.

P (mm) = 2 T (°C)

La saison sèche s'étale entre les deux interactions des deux courbes p et T. L'interaction des deux courbes p et T permet de définir selon (Figure 23) (Soltner, 1984)

- La période sèche lorsque p < 2T.
- La période humide lorsque p > 2T.

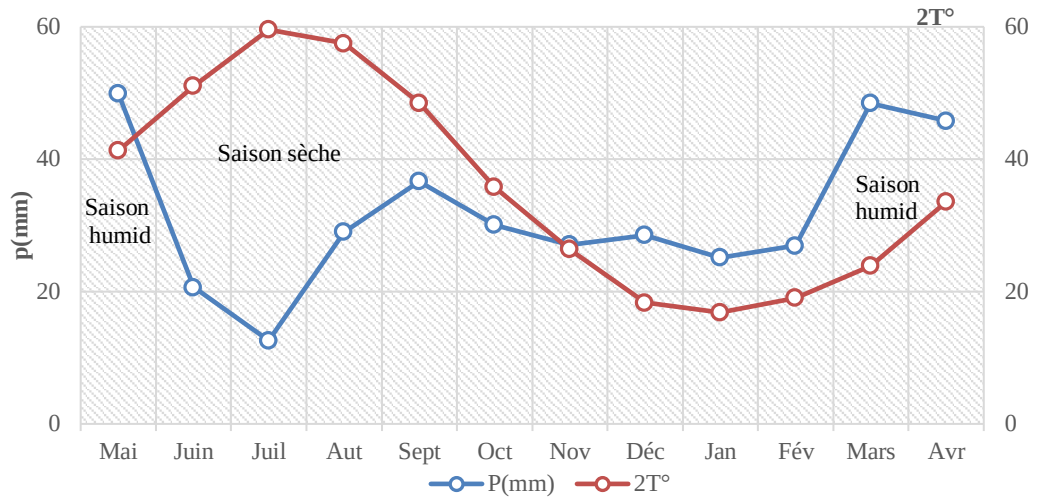


Figure 23 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la zone d'étude (2011-2021).

c) Quotient et climagramme pluviométrique d'Emberger

D'après Emberger, il est envisageable de diviser chaque région en plusieurs territoires climatiques, en fonction des différentes particularités climatiques. On se réfère à chacun d'eux comme un niveau climatique. En 1932, il a proposé une formule qui permet de calculer l'indice d'aridité annuel en considérant les précipitations et la température. Cette formule peut être exprimée comme suit :

Q2 = 1000P/ [(M+m) /2 (M+m)]

Soit : **Q2** = 1000 P/ (M2 – m2) = [1000 (M +m)/2 × 273] × [P / (M+m)].

Ce quotient est par la suite simplifié par Stewart (1969) comme suite :

Q2 = 3, 42 [P/ (M-m)]

Avec

- **P :** hauteur des précipitations moyennes annuelles en mm ;
- **M :** moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C)
- **m** : moyenne des minima du mois le plus froid (°C) ;
- **Q_2 :** quotient pluviométrique annuel en mm ;
- **M-m :** amplitude thermique extrême moyenne.

P=419,29 ; M= 33,29 ; m=2,59 ; Donc **Q_2=46,71**

Dans notre étude : **P** = 419,29 mm **; M** = 33,29 °C **; m** = 2,59 °C ; Donc **Q2** = 46,71 mm

En utilisant ce climagramme avec la valeur obtenu **Q2** = 46,71 mm, **m**= 3.42 °C, on trouve que la zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (Figure 24).

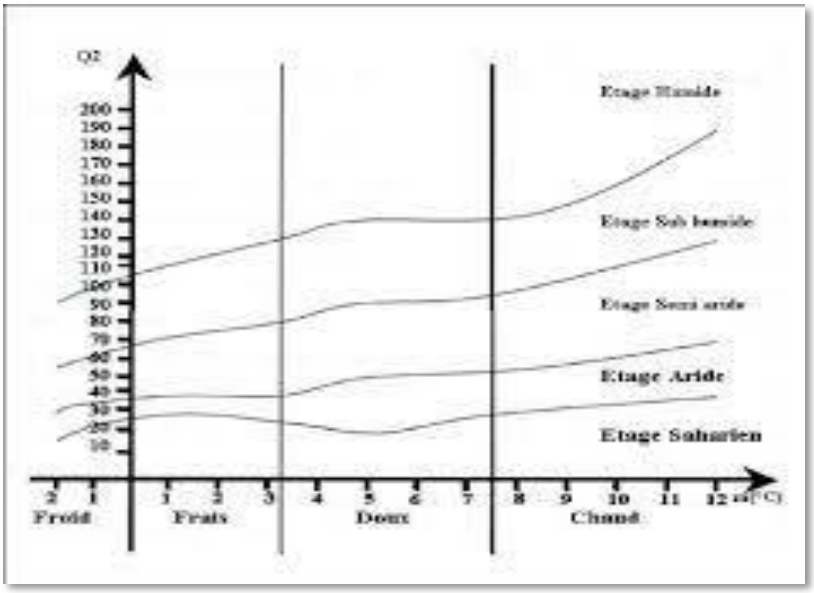
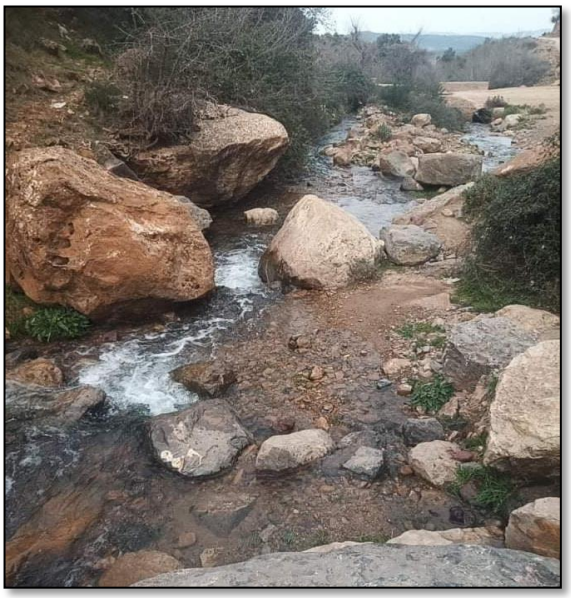


Figure 24 : Climagramme d'Emberger de la zone d'étude.

II.3.6. Description des stations



Oued Ibikan (Station 1)
N : 35°23'27.18"N / **E :** 6°58'41.62"E

Altitude : 1280

Substrat : Limons, Gravier, Roches et Blocs.
Végétation abondante : *Rubus fruticosus*

Type de station : Forêt

Remarque : Source d'eau, Point touristique

Commune : Tamza /**Wilaya:** Khenchela

Oued Ibikan (Station 2)

N: 35°24'20.40"N /**E:** 6°57'58.38"E

Altitude: 1110

Substrat : Limons, Gravier et Roches

Végétation du lit : *Juniperus*

Type de station : Prairie

Commune : Tamza

Wilaya: Khenchela

Oued Ibikan (Station 3)

N : 35°24'43.20"N / **E :** 6°57'50.94"E

Altitude : 1071

Substrat : Limons et Gravier

Végétation du lit : *Quercus robur*

Type de station : Prairie

Commune: Tamza

Wilaya: Khenchela

Oued Ibikan (Station 4)

N : 35°25'6.66"N / **E :** 6°57'0.84"E

Altitude : 1038

Substrat : Argile et Roches

Végétation du lit : *Stipa tenacissima*

Type de station : Urbaine

Remarque : Déchets domestiques et industriels

Commune : Tamza

Wilaya: Khenchela

Oued Noghis (Station 1)

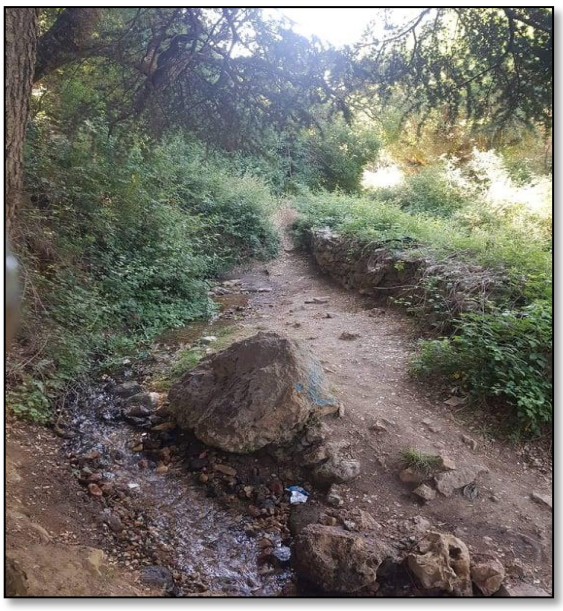
N : 35°19'38.07"N / **E :** 6°53'18.18"E
Altitude : 1551

Substrat : Gravier

Végétation du lit : *Cedrus atlantica*

Type de station : Forêt

Commune : Tamza / **Wilaya :** Khenchela



Oued Noghis (Station 2)

N : 35°19'32.71"N / **E :** 6°53'14.80"E

Altitude : 1546

Substrat : Limons et Roches

Végétation du lit : *Cedrus atlantica*

Type de station : Forêt

Remarque : Barbeque

Commune : Tamza/**Wilaya :** Khenchela

Oued Noghis (Station 3)

N: 35°19'41.34"N /**E:** 6°53'10.14"E

Altitude : 1529

Substrat : Gravier et Limon

Végétation du lit : *Rubus fruticosus*

Type de station : Forêt

Commune : Tamza

Wilaya : Khenchela

Oued Noghis (Station 4)

N: 35°19'47.68"N / **E:** 6°53'1.78"E

Altitude: 1492

Substrat : Limons

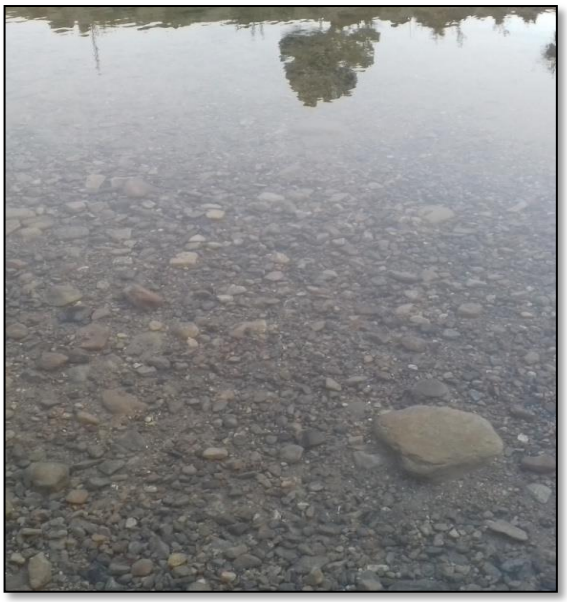
Végétation du lit : *Rubus fruticosus*

Type de station : Forêt

Remarque : Cheptel

Commune : Tamza

Wilaya : Khenchela



OuedLazrag (Station 1)

N: 35°21'31.51"N / **E:** 6°45'4.39"E

Altitude : 1214

Substrat : Limons

Végétation du lit : *Typha latifolia, Malus domestica*

Type de station : Verger

Remarque : Pompage de l'eau pour l'irrigation

Commune : Chelia

Wilaya : Khenchela

OuedLazrag (Station 2)

N : 35°21'28.59"N /**E :** 6°45'13.15"E

Altitude : 1201

Substrat : Limons et Argile

Végétation du lit : *Typha latifolia*

Type de station : Verger

Remarque : Lavage du lin

Commune : Chelia

Wilaya : Khenchela

OuedDjemri (Station 1)

N : 35°20'42.18"N / **E :** 7° 2'4.08"E

Altitude : 1248

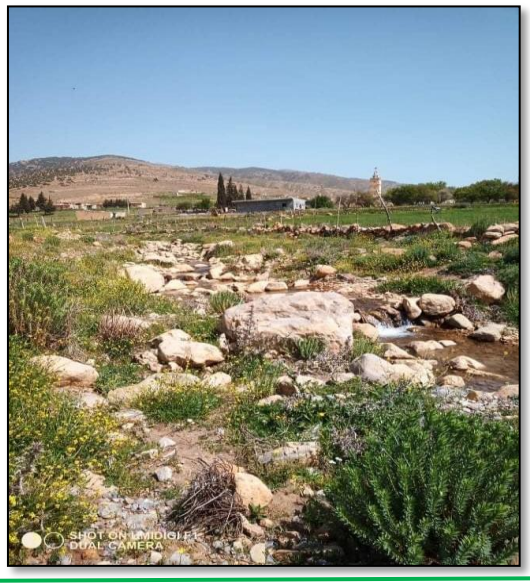
Substrat : Argile et roche

Végétation du lit : *Blé dur*

Type de station : Prairie

Commune : Ensigha

Wilaya : Khenchela



Oued Djemri (Station 2)

N : 35°18'44.22"N

E : 7° 1'22.47"E

Altitude : 1176

Substrat : Limons

Végétation du lit : *Amplodesmos mauritanica*

Type de station : Prairie

Commune : Ensigha

Wilaya : Khenchela

Oued Chindgouma (Station 1)

N : 35°19'7.62"N

E : 6°59'5.05"E

Altitude : 1250

Substrat : Limon et Gravier

Végétation du lit : *Quercus robur*

Type de station : Forêt

Commune : Tamza

Wilaya : Khenchela

Oued Chindgouma (Station 2)

N: 35°17'36.67"N

E : 6°59'54.47"E

Altitude : 1145

Substrat : Argile

Végétation du lit : *Juniperus*

Type de station : Prairie

Commune : Tamza

Wilaya : Khenchela

Confluence

N : 35°16'13.57"N / **E :** 7° 1'9.39"E

Altitude : 1080

Substrat : Argile et Gravier

Végétation du lit : *Artemisia herba alba*

Type de station : Prairie

Commune : Tamza /**Wilaya :** Khenchela

Oued L'Arab (Station Glouaa Trab)

N : 35° 6'11.73"N

E : 6°55'40.40"E

Altitude : 835

Substrat : Argile et Gravier

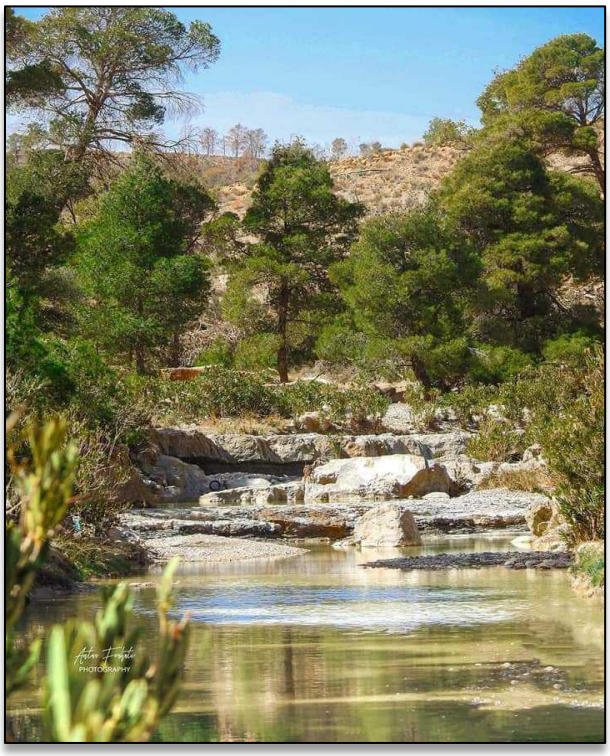
Végétation du lit : *Juniperu, Typha latifolia*

Type de station : Agricultural

Remarque : Pompage de l'eau pour l'irrigation**,** Passage des véhicules

Commune : Checher

Wilaya : Khenchela



Oued L'Arab

Station Khiran

N : 34°57'58.10"N

E : 6°44'12.73"E

Altitude : 480

Substrat : Argile et roche

Végétation du lit : *Artemisia herba alba*

Type de station : Agricultural

Commune : Khiran

Wilaya : Khenchela

Chapitre III

Matériel et méthodes

III.1. Matériel d'étude

a). Sur le terrain

- Une épuisette pour la collecte des taxons faunistiques, avec un diamètre de maille de 25 micromètre de diamètre.
- De l'éthanol (95%) pour la conservation des échantillons.
- Un appareil photo du téléphone portable.
- Un récepteur de type (GPS). Global Positioning system
- Des bouteilles en plastique étiquetées.
- Des fiches techniques.
- Un carnet de terrain.
- Un chronomètre.
- Un décamètre.
- Des cuissards (bottes).
- Des bouchons en liège.
- Un tamis.
- Une cuvette.

Les photos

Flacon en plastique

Dicamètre

Cuvette

Chronomètere

GPS

Appareil photo

Bouchon en liège

Ethanol

Epuisette

Carnet de terain

Tamis

b). Au laboratoire

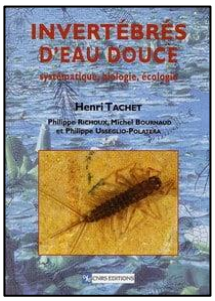
- Une loupe binoculaire.
- Boites de pétri.
- Flacons en verre et des tubes à essai.
- Ethanol 95 % pour la conservation du matériel biologique.
- Guides d'identification des macro-invertébrés.
- Etiquettes (Confirmation des échantillons après identification).
- Des pinceaux.
- Des pinces.
- Des gants.
- Un masque de protection.

Les photos

Passoire

Flacon en verre

Gant



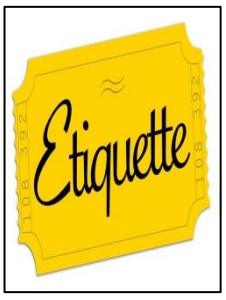
Guides d'identifications

Loupe binoculaire

Boites de pétris

Pince

Pinceaux



Etiquette

Masque de protection

Ethanol

III.2. Objectifs du travail

Ce travail a pris temps entre le mois de juin 2019 au mois de mai 2021. Des explorations mensuelles ont été effectuées, en tentant de suivre le rythme d'échantillonnage autant que possible. Dans le but d'étudier particulièrement les ordres des Trichoptères, Odonates, Hémiptères et autres macroinvertébrés (Boucenna et al. 2023, Satour et al, 2024, Taferghoust et al, 2025), le choix s'est porté sur dix-sept stations dans la wilaya de khenchela en tenant compte de plusieurs paramètres. L'étude de l'ordre des éphéméroptères a été réalisée dans le cadre d'un travail collaboratif, dans lequel nous avons exploré d'autres régions plus vastes du Nord Est de l'Algérie (Khenchela ; Oum El Bouaghi ; Collo et Aurès Occidentale), soixante-seize (76) points d'échantillonnage ont ainsi été choisis dans les zones de travail élargies (Figure 65) (Hezil et al., 2025).

III.2.1.Choix des sites

- Les dix-sept appartiennent à la même région (Nord-est de l´Algérie).
- Accessibilité des stations (proximité de la route, sécurité, végétation peu dense) permettant une visite régulière.
- Les stations sélectionnées ne partagent pas le même substrat.
- Paramètres régionaux et locaux, en particulier l´altitude.
- Paramètres morpho-dynamiques (débit et vitesse du courant).
- La diversité et la richesse biologique qui caractérisent ces stations.

Les stations de prélèvement sont indiquées dans la figure suivante (Figure 25).

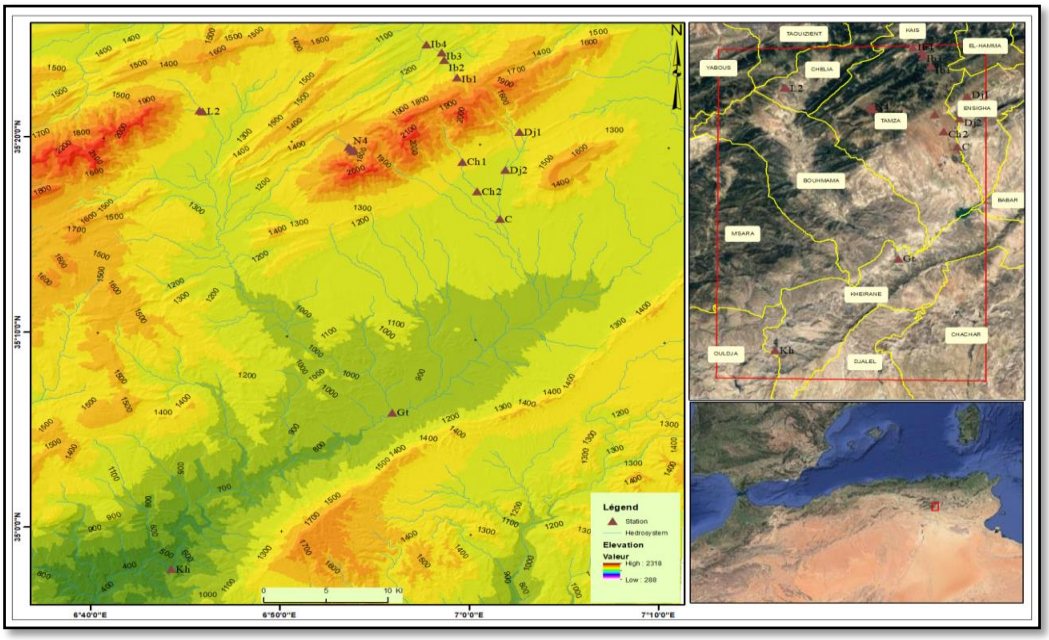


Figure 25 : Localisations des stations de prélèvement.

III.2.2. Plan d'échantillonnage

Il est impératif de procéder à l'inspection du matériel et à la préparation des fiches techniques avant chaque sortie. Dès notre arrivée sur site, nous consignons sur les fiches techniques la date et l'heure, les coordonnées GPS ainsi que les conditions climatiques, ainsi que diverses notations relatives à l'état de la station (couleur de l'eau, transparence, pompage, effluents domestiques ou industriels... etc.).

Le tableau ci-dessous résume les données géographiques des stations d'échantillonnage.

Tableau 1 : Les données géographiques des stations de prélèvement.

Code	Oued	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
L 1	O. Lazrag 1	35°21'32.63"	6°45'9.91"	1214
L 2	O. Lazrag 2	35°21'28.59"	6°45'13.15"	1201
N 1	O. Noghis 1	35°19'38.07"	6°53'18.18"	1551
N 2	O. Noghis 2	35°19'36.87"	6°53'15.87"	1546
N 3	O. Noghis 3	35°19'39.25"	6°53'12.76"	1529
N 4	O. Noghis 4	35°19'42.17"	6°53'7.75"	1492
Ib 1	O. Ibikan 1	35°23'26.61"	6°58'42.29"	1280
Ib 2	O. Ibikan 2	35°24'20.40"	6°57'58.38"	1110
Ib 3	O. Ibikan 3	35°24'43.16"	6°57'51.11"	1071
Ib 4	O. Ibikan 4	35°25'6.57"	6°57'0.97"	1038
Dj 1	O. Djemri 1	35°20'42.13"	7° 2'4.16"	1248
Dj 2	O. Djemri 2	35°18'39.97"	7° 1'20.49"	1176
Ch 1	O. Chandgouma 1	35°19'7.62"	6°59'5.05"	1250
Ch 2	O. Chandgouma 2	35°17'36.67"	6°59'54.47"	1145
C	Confluence	35°16'22.30"	7° 1'10.42	1080
Gt	O. Arab S1 (Glouaa Trab)	35° 6'12.38"	6°55'39.03"	835
Kh	O. Arab S2 (Khiran)	4°57'57.16"	6°44'13.00"	480

a). Les paramètres physiques

Nous avons mesuré les paramètres physiques tels que :

- La profondeur du lit et la largeur du lit (ces deux paramètres fournissent une idée sur la taille du cours d'eau dans une station donnée).
- La vitesse de l'eau.
- La pente.

- La turbidité.
- La végétation riveraine
- Pollutions et actions anthropiques.

La profondeur et la largeur du lit :

- **La profondeur de l'eau :** influence le réchauffement des eaux, ce qui entraîne l'établissement et la multiplication d'espèces de faune et de flore thermophiles. La quantité d'oxygène est influencée par la profondeur de l'eau. La faible profondeur facilite une large diffusion de l'air et un bon mélange, tandis que dans les lacs, la profondeur entraîne une stratification thermique. Elle est évaluée en utilisant un gant gradué (Dajoz, 1985).
- **La largeur du lit :** elle est influencée par les précipitations et la température, et peut différer d'un cours d'eau à un autre, voire au sein du même cours d'eau tout au long de l'année (Touati, 2008 in Mezian 2009). On l'estime à l'aide d'un décamètre.
- **La vitesse du courant :** dans les environnements lotiques, le courant joue un rôle écologique majeur puisqu'il influe sur la circulation des nutriments, le rafraîchissement de l'oxygène et la dérive des insectes (Haouchine, 2011). Les mesures sont réalisées en utilisant un flotteur relâché à la surface de l'eau sur une distance de 10 mètres (Tableau 2), et le temps est enregistré avec un chronomètre.

Tableau 2 : Normes de vitesse de l'eau selon l'échelle de Berge (Khettar, 2009).

Vitesse très lente	Inférieur à 0.1 m/s
Vitesse lente	0.1 à 0.25 m/s
Vitesse moyenne	0.25 à 0.50 m/s
Vitesse rapide	0.50 à 1 m/s
Vitesse très forte	Supérieur à 1 m/s

- **La pente :** la pente est étroitement liée à la majorité des éléments environnementaux : température, courant, oxygène dissous... c'est un facteur crucial du paysage qui influence presque toutes les propriétés morpho-dynamiques et hydriques des eaux courantes (Mebarki, 2017).
- **La turbidité :** représente la portion fine de la charge solide transportée par le cours d'eau. Principalement, il s'agit d'argiles (particules inférieures à 2 µ) et de limons 60 µ. Les particules sont transportées dans le volume de l'eau en fonction de la densité, sans contact avec le lit de la rivière (Cosandey et al., 2003). On mesure la turbidité en utilisant un turbidimètre.

- **Evaluation du recouvrement des habitats échantillonnés**

Grâce à une échelle visuelle, nous avons estimé le pourcentage de superposition des habitats échantillonnés par la végétation Ripisylve. Le Tableau 3 ci-dessous résume les caractéristiques clés des stations d'études.

Tableau 3 : Les caractéristiques environnementales des stations d'étude.

Code	Vélocité (m/s)	LDLM (m)	PLE (cm)	RIP	NS	Occupation des sols	Hydropériode
L 1	2,68	14,83	15,08	70	Limon	Agriculture	Permanent
L 2	2,6	19,83	34,33	70	Limon	Agriculture	Permanent
N 1	2,89	10,16	10	96	Cailloux, graviers	Forêt	Permanent
N 2	2,57	15,75	14,08	95	Limon	Forêt	Permanent
N 3	2,76	15	11,16	94	Cailloux, limon	Forêt	Permanent
N 4	3,12	10,66	8,91	90	Limon	Forêt	Permanent
Ib 1	2,28	12,08	15,75	95	Argile, roches	Forêt	Permanent
Ib 2	2,06	9,16	16,5	90	Argile, roches	Agriculture	Temporaire
Ib 3	2,55	20	13,33	85	Limon	Agriculture	Permanent
Ib 4	2,98	40	13,41	80	Argile, roches	Agriculture	Permanent
Dj 1	2,3	15	15	75	Argile, gravier	Agriculture	Temporaire
Dj 2	2,28	15	11	70	Limon	Agriculture	Temporaire
Ch 1	2,3	15	15	75	Limon,gravier	Pastoralisme	Temporaire
Ch 2	2,28	15	11	65	Argile	Pastoralisme	Temporaire
C	2,98	20	15	60	Argile, gravier	Pastoralisme	Temporaire
Gt	3,38	15	9	65	Argile, gravier	Agriculture	Temporaire
Kh	3,88	15	3,25	50	Argile, roches	Roche	Temporaire

LDLM : Largeur du lit mouillée ; **PLE :** Profondeur de la lame d'eau

- **Description de l'occupation des sols des sites d'échantillonnages**

Les stations se répartissent en 3 catégories a priori :

- **Forêt :** sont les stations situé en milieu forestier, généralement en amont des cours d'eau et indemnes de tout type de pollution.
- **Agriculture :** se trouvent à proximité des terres agricoles, plus ou moins exposées à une pollution par les engrais et les pesticides.
- **Semi-urbain :** sont soumis à des pollutions domestiques, dus à la présence d'habitation à proximité.

III.3. L'échantillonnage des macroinvertébrés

L'objectif de l'échantillonnage est de collecter la plus grande diversité représentative de macroinvertébrés à chaque site visité afin d'obtenir un recensement des espèces le plus exact possible.

III.3.1. L'échantillonnage sur le terrain

Munis d'une épuisette, nous avons réalisé de multiples échantillonnages au centre et sur les rives, dans les zones densément peuplées de végétation aquatique, ainsi que dans les portions boueuses et sablonneuses du fond. Après que l'eau a traversé la toile, le contenu de l'épuisette

est déversé dans un seau rempli d'eau. Le matériel contenant des macroinvertébrés a été filtrée, et l'intégralité de la faune a été collectée dans des bouteilles en plastique sur lesquelles sont notés le nom du site et la date de collecte. Les échantillons recueillis sont gardés dans de l'éthanol à 95%. Étant donné que chaque relevé est précédé par la détermination de la profondeur, de la largeur du lit et du débit de l'eau.

Remarque : dans le contexte de l'échantillonnage, nous avons fait tout notre possible pour accorder une durée identique à chaque station (habituellement une heure).

- Collecte sous les pierres

Il est simple de prendre deux ou trois pierres simultanément, de les disposer dans un seau en plastique blanc et de les remettre sur la rive. Il est possible de séparer les organismes des pierres à l'aide de pinces et de les conserver, avec le contenu du filet, dans des flacons en plastique étiquetés avec les noms et dates des collectes. Les échantillons sont d'abord triés sur le terrain (en retirant les plus gros éléments minéraux et végétaux), puis fixés dans de l'éthanol à 95%.

III.3.2. L'échantillonnage au laboratoire

Nous avons effectué un tri et un calcul des individus de chaque espèce animale collectée, ce qui nous a conduit à établir une liste d'espèces pour les dix-sept stations. Après identification et enregistrement, le matériel biologique est conservé dans des tubes à essai et des flacons en verre, remplis d'éthanol à 95%.

L'identification des espèces animales est réalisée en les classant dans différents groupes, puis validée sous la supervision du Professeur Samraoui.B. Ce processus s'effectue à l'aide d'une loupe binoculaire, d'un manuel de détermination (Tachet et al., 2000 ; Moisan et al., 2008) et grâce aux spécimens référentiels identifiés disponibles dans la collection du laboratoire (L.C. Z. H).

III.4. Analyse des données

III.4.1. Analyse écologique

On peut caractériser la composition et l'organisation d'un peuplement à l'aide d'outils descriptifs : la richesse spécifique, la densité et la structure qui peuvent être exprimées en termes d'indices de diversité. Selon Ramade (1994), les descripteurs qui tiennent compte de l'abondance numérique des espèces présentes permettent de définir les assemblages qui constituent une biocénose. Les formules mathématiques fournissent les informations les plus précises sur la composition et la variété de l'écosystème. L'évaluation de la richesse

taxonomique, de la diversité et de l'équitabilité se révèle utile pour décrire un peuplement, comparer divers peuplements ou observer l'évolution d'un même peuplement à différents instants (Barrault, 1995). Le logiciel R est utilisé pour effectuer des analyses statistiques.

III.4.1.1. L'organisation d'un peuplement

Différents indices de diversité ont été appliqués pour évaluer la structure des taxons étudiés : la richesse spécifique (S) et la fréquence d'occurrence (Fi), l'abondance absolue, ainsi que la dominance (abondance relative). C'est une évaluation quantitative des différents groupements d'une biocénose, elle peut être effectuée par :

- **Richesse spécifique :**

Selon la définition, la richesse totale se réfère au nombre d'espèces présentes dans un peuplement spécifique d'un écosystème donné (Ramade, 1984). Elle constitue un paramètre essentiel, spécifique à une communauté (Muller, 1985). D'après (Benyacoub & Chabi, 2000), la richesse fait référence au nombre total d'espèces observées lors de l'échantillonnage sur le site.

- **L'abondance :** correspond au nombre d'individus échantillonnés.
- **Fréquence du taxon :** elle peut s'exprimer par le nombre de relevés contenant l'espèce étudiée. Elle peut être également exprimée par le pourcentage d'où :

$$C = p*100/P.$$

P* : nombre de relevés contant l'espèce étudiée.

P : nombre total de relevés effectués. .

- **Fréquence d'occurrence**

Il s'agit du taux, exprimé en pourcentage, qui représente le rapport entre le nombre de relevés où l'espèce concernée est identifiée et le nombre total de relevés effectués.

- Fr (%) = pi/p x 100
- pi : nombre de relevés contenant l'espèce étudiée.
- p : nombre total des relevés effectués
- **Bigot et Bodot (1973)** distinguent cinq catégories d'espèces selon leur constance :
  - F= 100 espèces omniprésentes.
  - F = [100-75[espèces constantes.
  - F = [100-75[espèces fréquentes.
  - F = [75-50[espèces communes.

- F = [50-25[espèces accessoires.
- F ≤ espèces rares.

➢ **Abondance absolue (l'effectif)**

L'abondance absolue fait référence au nombre d'individus d'une espèce collectés dans l'échantillon examiné ou d'une population spécifique présente par unité de surface ou volume (Ramade, 2003).

➢ **La dominance (abondance relative)**

C'est la proportion totale d'une espèce comparée à l'effectif global de tous les individus prélevés. La dominance est calculée de la manière suivante et présentée en pourcentage :

$$AR = (ni /N)*100$$

AR % : Dominance de l'espèce i.

ni : Nombre d'individus de l'espèce i. / N : Nombre total des individus de toutes les espèces.

III.4.1.2. La structure d'un peuplement

On a évalué la structure et la configuration de la population en utilisant les indices de diversité de Shannon-Weaver (H'), d'équité (E) et de Simpson (D). L'examen de la diversité peut être effectué en se basant sur différentes méthodes utilisant des indices de diversité :

➢ **Indice de diversité de Shannon-Weaver (H) :**

L'expression du degré de complexité d'un peuplement se fait à travers sa diversité. Elle est déterminée sur la base de l'indice de Shannon et Weaver (1949).

Il est basé sur la théorie de l'information.

- ➢ Il mesure la difficulté à prédire l'identité du prochain individu.
- ➢ Il combine la richesse taxonomique et Equitabilité.
- ➢ Il tient en compte de l'abondance des espèces.

Il se calcule par la formule suivante :

$$H` = -\sum pi \log_2 pi$$

Tel que :

pi étant l'abondance relative de chaque espèce, égale à **ni/N** (**n** : l'abondance de l'espèce,

N : le nombre total de relevés).Cet indice s'exprime en bit (unité d'information) et mesure le niveau de complexité d'un peuplement. Un indice de diversité élevé correspond à un peuplement à grand nombre d'espèce pour un petit nombre d'individus **(**Frontier & pichod-viale, 1991**)**.

- **Indice d'équipartition des populations (Equitabilité de Peilou J) :**

L'indice de diversité présente des déséquilibres perceptibles par l'indice d'équitabilité ou (régularité). L'indice d'équité ou d'équipartition de Peilou (J) représente le quotient de la diversité mesurée (H') et de la diversité théorique maximale (H'max), laquelle est exprimée par le log2 de la richesse totale (S) conformément à Blondel, 1979. Sa formule est :

$$J = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\ln(S)}$$

H'max : étant la diversité maximale possible (si toutes les espèces étaient également abondantes) $= \ln(S)$ (**H'max = $\log_2$.S)**

S : richesse spécifique.

H' : indice de diversité.

L'indice d'équitabilité sert à comparer les diversités de deux peuplements ayant des richesses spécifiques différentes.

- **Indice de Simpson (λ ou D)**

L'indice de Simpson évalue la dominance, c'est-à-dire la probabilité que deux individus choisis au hasard appartiennent à la même espèce. À l'inverse de Shannon, il accorde une plus grande importance aux espèces qui sont en abondance.

Deux versions existantes :

- Indice de Simpson (λ) : mesure la dominance (plus la valeur est élevée, plus la diversité est faible).

- Indice de diversité de Simpson (1 - λ) : mesure la diversité (plus la valeur est élevée, plus la diversité est grande).

- Formule mathématique (dominance) : $\lambda = \sum_{i=1}^{S} p_i^2$
- Indice de diversité de Simpson :

$$D = 1 - \lambda \quad (\text{ou parfois } D = \frac{1}{\lambda})$$

III.4.2. Analyse multi variée

III.4.2.1. Analyse en composante principale (ACP) :

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une technique de la méthode factorielle, qui fait partie des méthodes descriptives multidimensionnelles. Comme ce sont des méthodes descriptives, elles ne reposent pas sur un modèle de probabilité, mais plutôt sur un modèle géométrique. L'Analyse en Composantes Principales (ACP), à partir d'un tableau

rectangulaire de données comprenant les valeurs de p variables quantitatives pour n unités (également appelées individus), offre des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces informations peuvent provenir d'un processus de sélection d'échantillons ou de l'examen d'une population dans son ensemble.

Les représentations des unités permettent d'observer s'il y a une structure préalable inconnue sur cet ensemble d'unités. De même, les représentations des variables facilitent l'examen des structures de liaisons linéaires à travers toutes les variables prises en compte. Nous tenterons donc de déterminer si des groupes peuvent être identifiés au sein de l'ensemble des unités, en examinant les unités similaires, celles qui se démarquent, etc. On s'efforcera d'identifier les variables qui présentent une forte corrélation entre elles, ainsi que celles qui, au contraire, ne sont corrélées à aucune autre (Duby & Robin, 2006).

III.4.2.2. Analyse Canonique des Correspondances (ACC)

L'analyse canonique étudie les liens entre les variables de deux ensembles séparés mais liés. Elle cherche des combinaisons linéaires pour un ensemble (groupe) de variables dépendantes qui présentent la corrélation maximale avec une combinaison linéaire d'un groupe de variables indépendantes (variables environnementales) (Rossaro et al., 2006). On utilise l'ACC pour synthétiser les variations au sein des communautés et pour établir un lien entre ces variations et un gradient environnemental (Boissonneault, 2006). Elle a été conçue pour donner aux écologues la possibilité d'associer les abondances d'espèces à des facteurs environnementaux. Ainsi, l'ACC offrira la possibilité de :

- D'identifier les combinaisons de variables environnementales qui expliquent le mieux la distribution des espèces ;
- De visualiser les gradients écologiques structurant les communautés ;
- D'établir une typologie des sites basée sur leurs affinités espèces-environnement.

Cette analyse complémente les résultats de l'ACP précédente en ajoutant une dimension explicative, essentielle pour guider les stratégies de conservation et de restauration des écosystèmes aquatiques étudiés.

III.4.2.3. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

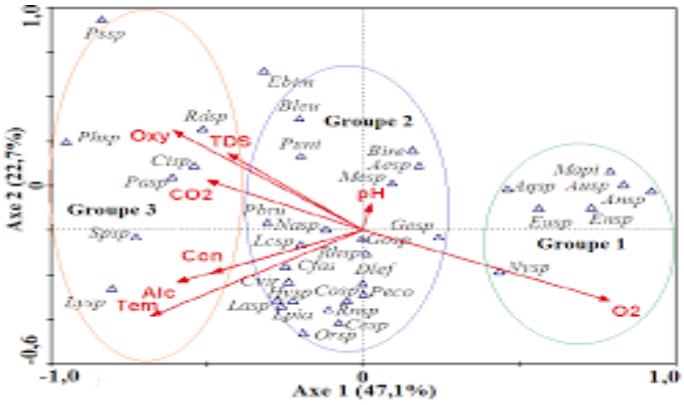
L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) représente une technique d'analyse multivariée généralement déployée pour examiner les liens entre des variables qualitatives (ou des tableaux de contingence). Elle offre la possibilité de visualiser des individus sous forme

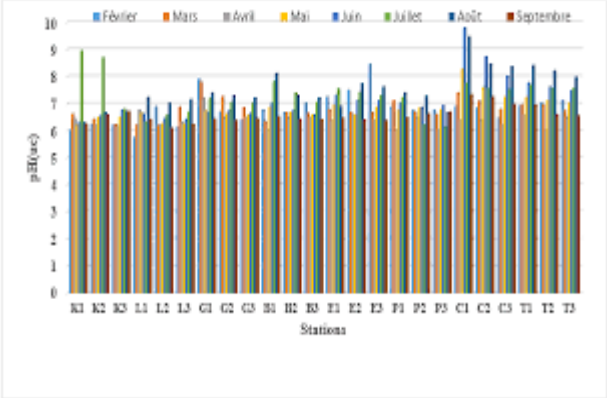
de lignes et des modalités sous forme de colonnes dans un espace à dimension réduite, ce qui simplifie l'analyse des liens entre différentes catégories. Elle est particulièrement bénéfique lors de l'analyse de tableaux croisés (comme : présence/absence d'espèces selon des emplacements) et quand on veut identifier des structures cachées, des regroupements ou des contrastes dans les données. Dans le domaine de l'écologie ou de l'hydrologie, l'AFC offre par exemple la possibilité d'étudier les liens entre les types de substrats, les niveaux de pollution, la végétation et les conditions hydrodynamiques sur différents sites (GlèlèKakaï et al., 2016).

Elle a servi à examiner les différences ou similitudes entre les communautés biologiques de divers sites (Legendre et Legendre, 1998 et 2012). Il vise à fournir l'illustration la plus précise des regroupements de variables, et autorise l'établissement d'une corrélation entre les ensembles d'espèces et les ensembles de stations par diminution de la dimension en réalisant une décomposition factorielle des nuées de points reliées aux profils en lignes et aux profils en colonnes du tableau de contingence qui croise les modalités des deux variables.

Chapitre IV

Résultats et discussions





Résultats et discussion

IV.1. Influence des variables abiotiques sur les écosystèmes

IV.1.1. La profondeur de l'eau

La profondeur de l'eau influence le réchauffement des eaux, l'installation et la prolifération de la faune et de la flore thermophiles et agit donc sur la teneur en O_2. La surface peu profonde permet à l'air de se diffuser largement et de bien se mélanger, par contre dans les lacs, la profondeur est telle qu'elle conduit à la stratification thermique (Sacchi & Testard, 1971 in Chakri, 2007). Selon la figure 26, qui représente la variation de la profondeur au niveau de l'Oued Lazrag, on remarque que la station 2 est la plus profonde. La profondeur des stations échantillonnées au niveau de chaque Oued est représentée comme suivant :

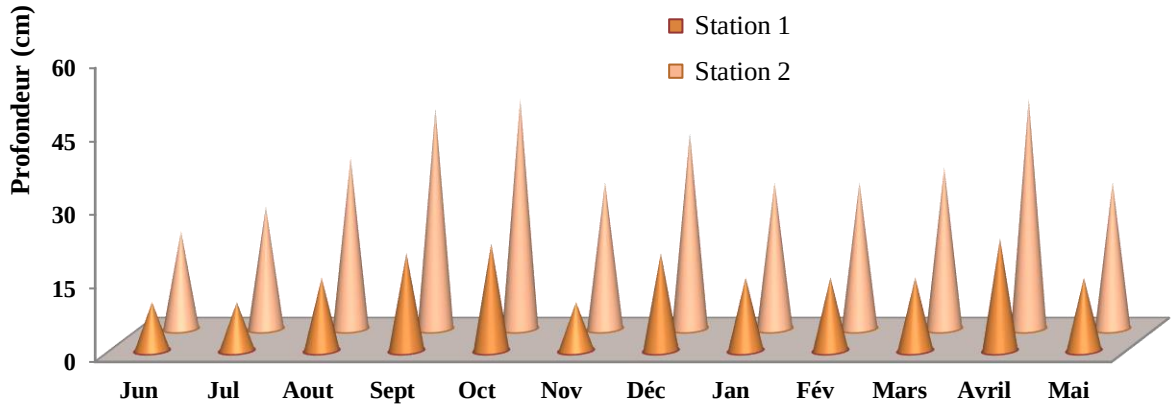


Figure 26 : Variations mensuelles de la profondeur dans les stations étudiées d'Oued Lazrag, pendant la campagne 2019-2020.

Oued Noghis

On observe que la période qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de novembre, enregistre de faibles profondeurs au niveau des quatre stations d'Oued Noghis tandis que nous avons remarqué que la profondeur a augmenté à partir du mois de janvier jusqu'au mois de mai (Figure 27).

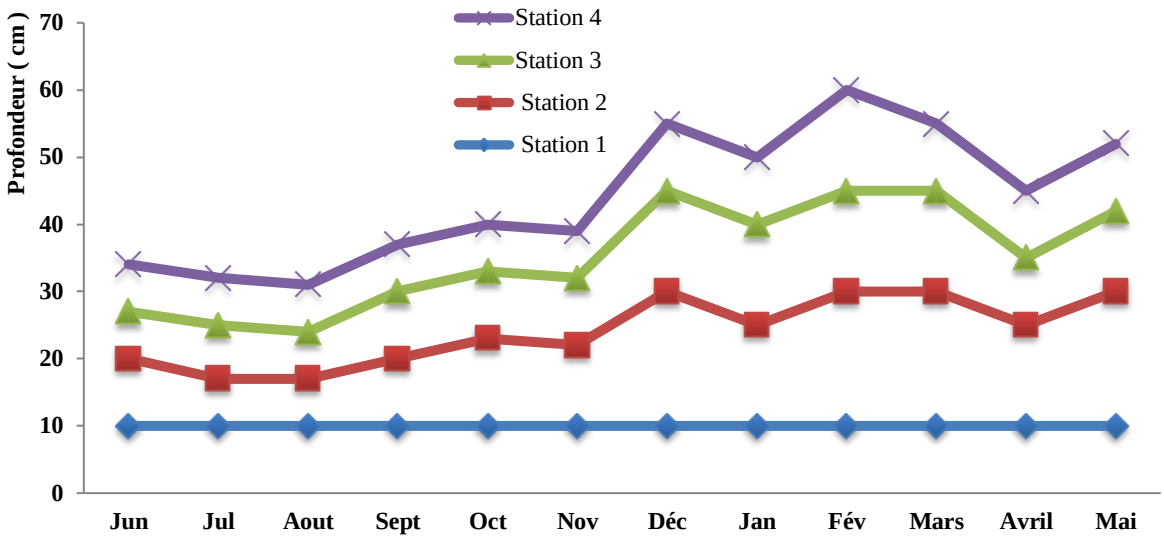


Figure 27 : Variations mensuelles de la profondeur dans les stations étudiées d'Oued Noghis, 2019/2020.

Oued Ibikan

La figure 28 exprime l'évolution mensuelle de la profondeur et montre que :

- Les faibles valeurs de profondeur enregistrées durant la période qui s'étalent du mois de juin au mois de novembre, au niveau des stations étudiées.
- Les stations ayant une profondeur maximale pendant le mois de décembre jusqu'au le mois de mai sont les stations 1, 2 et 4 de l'Oued Ibikan.

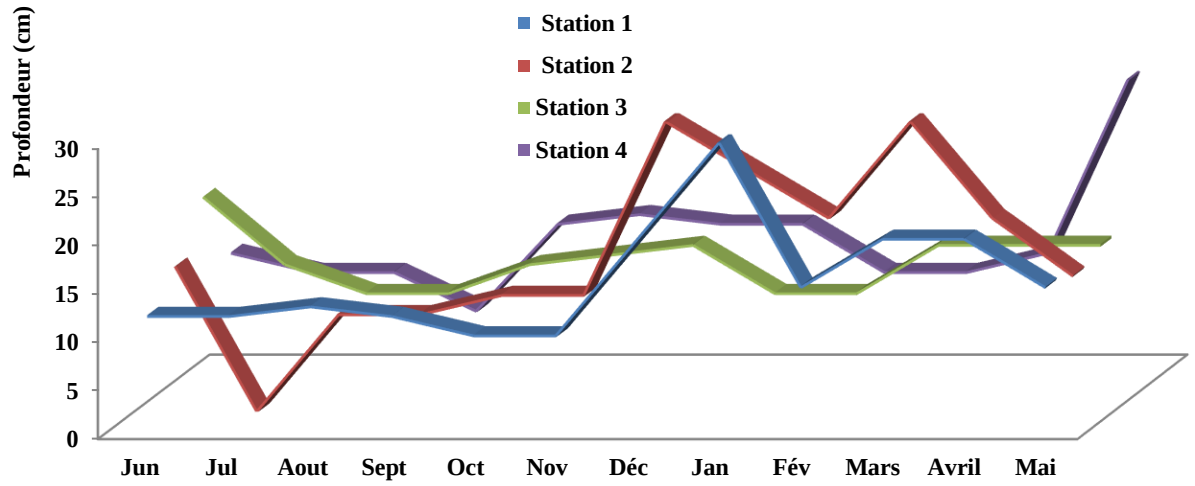


Figure 28 : Variations mensuelles de la profondeur dans les stations d'Oued Ibikan, pendant la campagne 2019/2020.

Oued L'Arab

En 2021, on a choisi de travailler dans cet Oued pendant les deux mois d'avril et de mai. Sur la figure 29, on remarque que le mois d'avril enregistre une augmentation de la profondeur de l'eau, suite à une considérable pluviosité dépassant les 10 mm par mois.

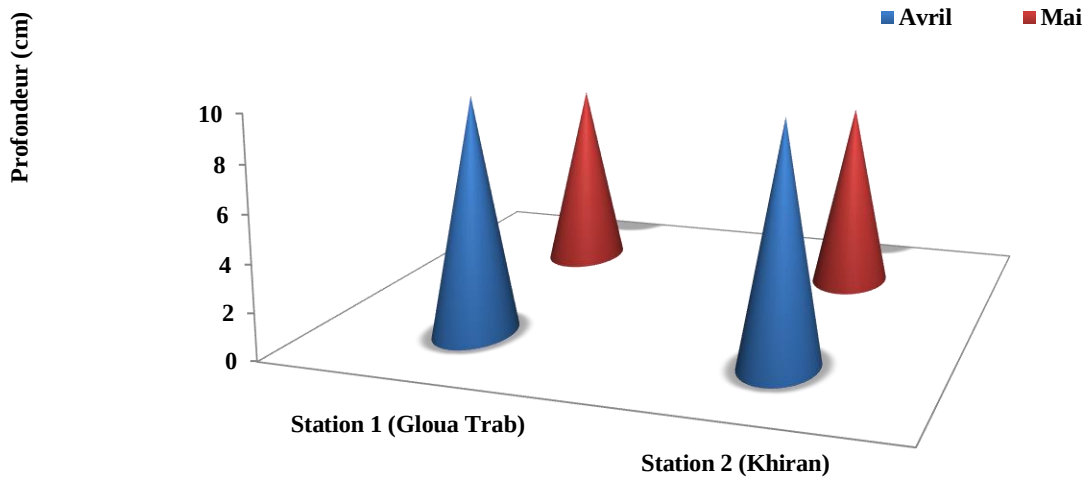


Figure 29 : La profondeur de l'eau des deux stations étudiées (Oued L'Arab, durant la campagne 2021).

IV.1.2. Largeur du lit

Le paramètre largeur du lit fournit une idée de la taille du cours d'eau dans une station donnée, il dépend de la précipitation et de la température de la saison, et varie d'un cours d'eau à un autre, et du même cours d'eau pendant l'année. La largeur des stations échantillonnées au niveau de chaque Oued est représentée comme suit :

Oued Lazrag

Selon les données recueillies, la station 2 est plus large que la station 1 (Figure 30).

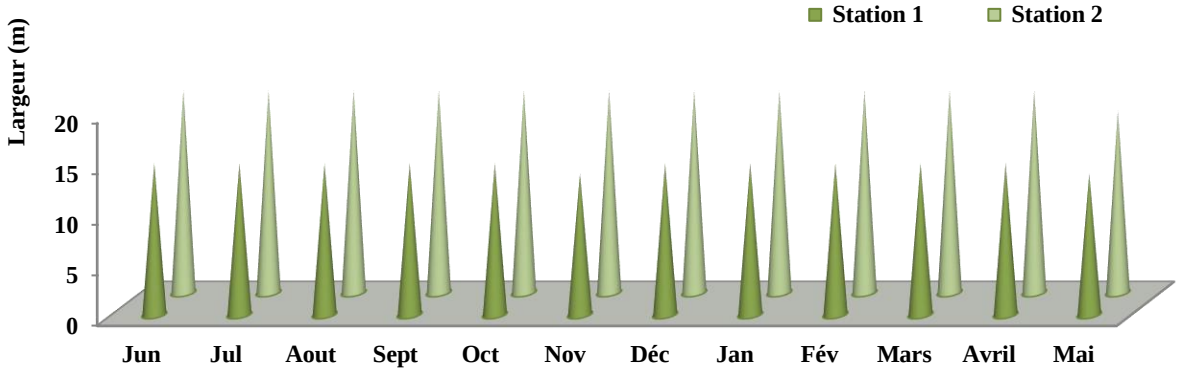


Figure 30 : Largeur du lit dans chaque station échantillonnée au niveau de d'Oued Lazrag, durant la campagne 2021.

Oued Noghis

Très peu de variations sont remarquées dans le paramètre largeur du lit au niveau des quatre stations d'Oued Noghis pendant toute la durée du travail et les valeurs sont rapprochées comme indiqué sur la figure 31.

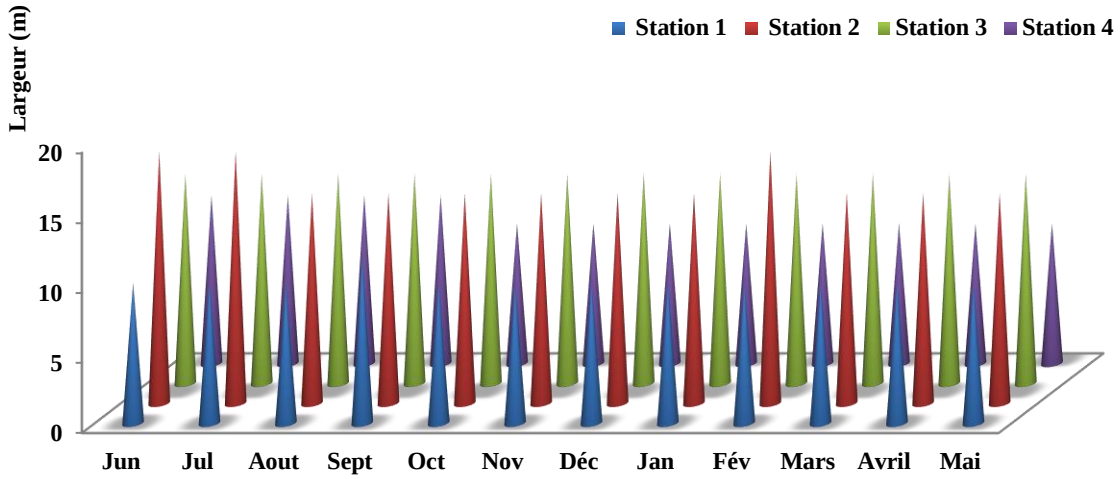


Figure 31 : La largeur du lit dans chaque station échantillonnée d'Oued Noghis, pendant la campagne 2019/2020.

Oued Ibikan

Au niveau de l'Oued Ibikan, la variation du paramètre largeur du lit est notable pendant toute la période de l'échantillonnage, durant lequel nous avons observé de faibles valeurs au niveau des stations 1, 2 et 3 avec des maxima au niveau de la station 4 dépassant la 40 m (Figure 32).

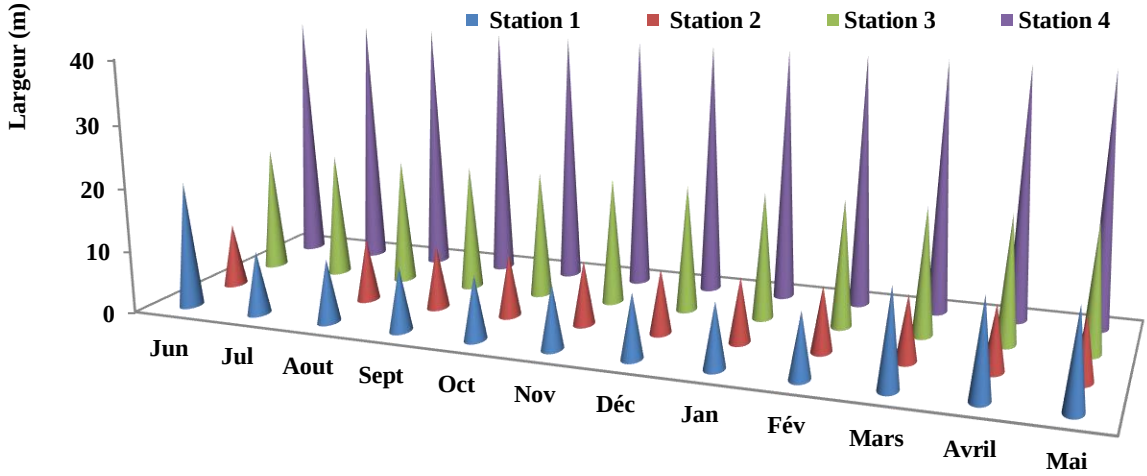


Figure 32 : Largeur du lit dans les stations échantillonnées d'Oued Ibikan, pendant la campagne 2019/2020.

Oued L'Arab

Le paramètre largeur du lit présente des valeurs similaires dans les deux stations d'Oued l'Arab aves des valeurs autour de 15 m, au cours des campagnes d'échantillonnage pendant les mois d'avril et de mai 2021 (Figure 33).

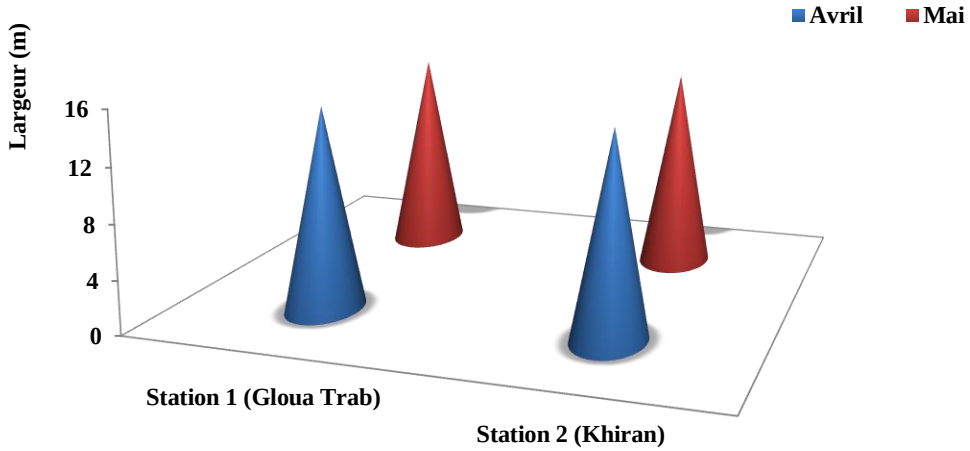


Figure 33 : Largeur du lit des deux stations d'Oued l'Arab, pendant la campagne 2021.

IV.1.3. La vitesse de l'eau

Une coupe transversale de l'Oued montre que dans l'écosystème aquatique, coexistent eau courante et eau stagnante de sorte que dans ces biotopes vont coexister et cohabiter des espèces d'eau stagnante, où le courant est faible ou nul, et des espèces d'eau courante à plus moins grande vitesse. C'est à ces divers titres que les informations sur la vitesse du courant sont indicatrices des biotopes et des espèces aquatiques (Angelier, 2000). La vitesse de l'eau de chaque station échantillonnée est représentée comme suit :

Oued Lazrag

Le paramètre vitesse de l'eau au niveau des deux stations de prélèvement de l'Oued Lazrag a des valeurs rapprochées pour chaque mois, comme indiqué sur la figure 34.

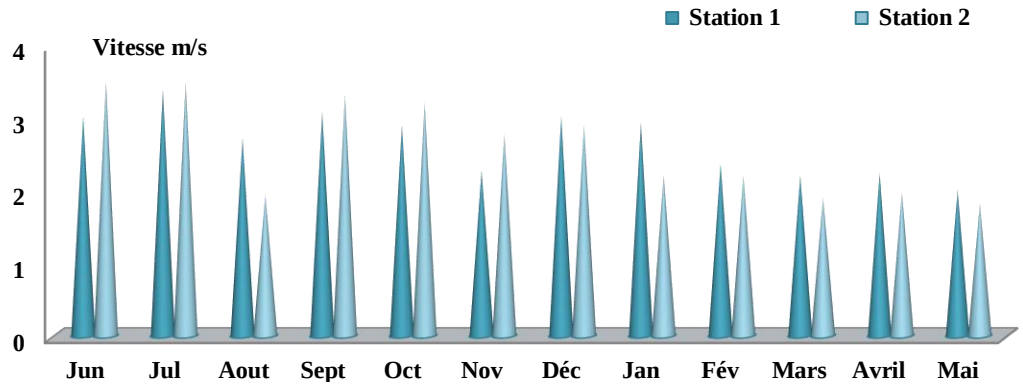


Figure 34 : Variations mensuelles de la vitesse de l'eau dans les stations d'Oued Lazrag, pendant la campagne 2019/2020.

Oued Noghis

D'importantes fluctuations sont observées durant les campagnes d'échantillonnage pour la saison 2019/2020, avec des valeurs faibles pendant la période de sécheresse estivale, allant de 2,35 à 2,95 m/s pendant le mois de juin et des maxima sont enregistrés pendant les mois de forte pluie, avec des moyennes allant de 3,72 m/s pour le mois de septembre et 3,73 m/s pour le mois de novembre (Figure 35).

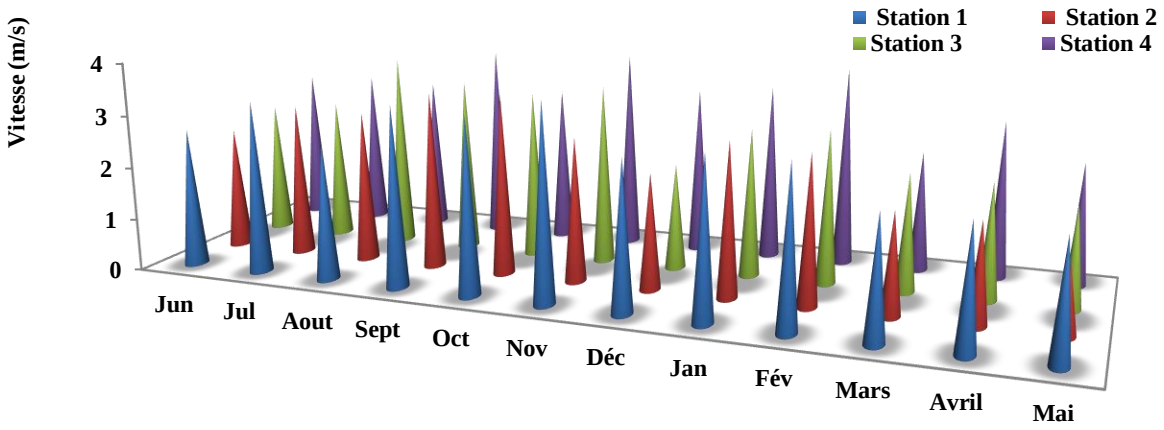


Figure 35 : Variations mensuelles de la vitesse de l'eau dans les stations de prélèvement d'Oued Noghis, pendant la campagne 2019/2020.

Oued Ibikan

La valeur maximale de la vitesse de l'eau enregistrée dans la saison hivernale dans les stations d'études présente des fluctuations correspondant directement à la pluviométrie de la zone d'étude. La station 4 prend la valeur la plus forte avec une moyenne de 3.54 m/s pendant le mois de février, alors que la valeur la plus faible est située au niveau de la station 1 avec une moyenne de 1.24 m/s pendant le mois de mai (Figure 36).

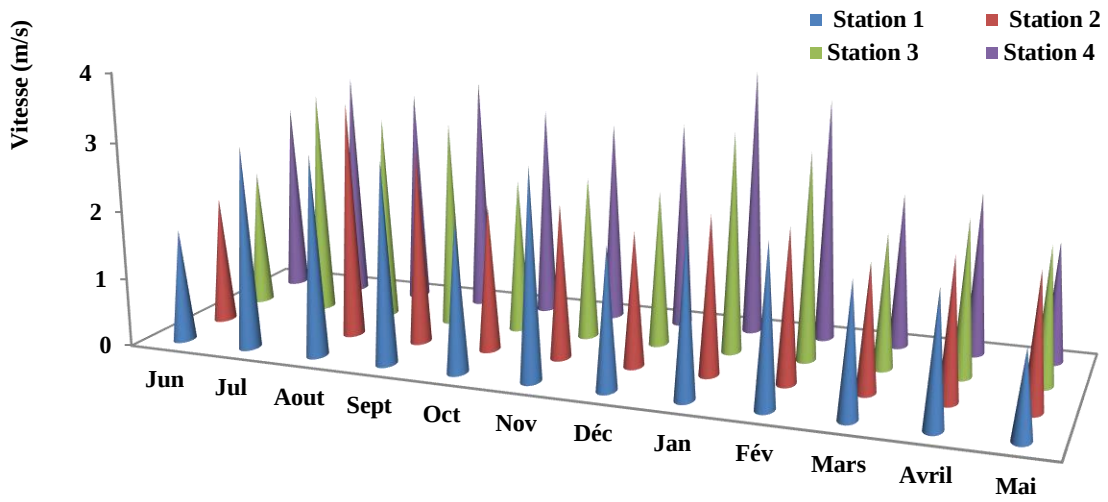


Figure 36 : Variations mensuelles de la vitesse de l'eau dans les stations de prélèvement à l'Oued Ibikan, pendant la campagne 2019/2020).

Nous avons effectué également un mois d'échantillonnage en avril 2021, au niveau de cinq autres stations dans deux Oueds et une Confluence. Une similarité des valeurs en prenant en considération les trois paramètres étudiés (Profondeur, Largeur du lit, Vitesse de l'eau) pour chaque station d'échantillonnage (Figure 37), mis à part la Confluence qui a une forte valeur de vitesse de l'eau par rapport aux autres stations.

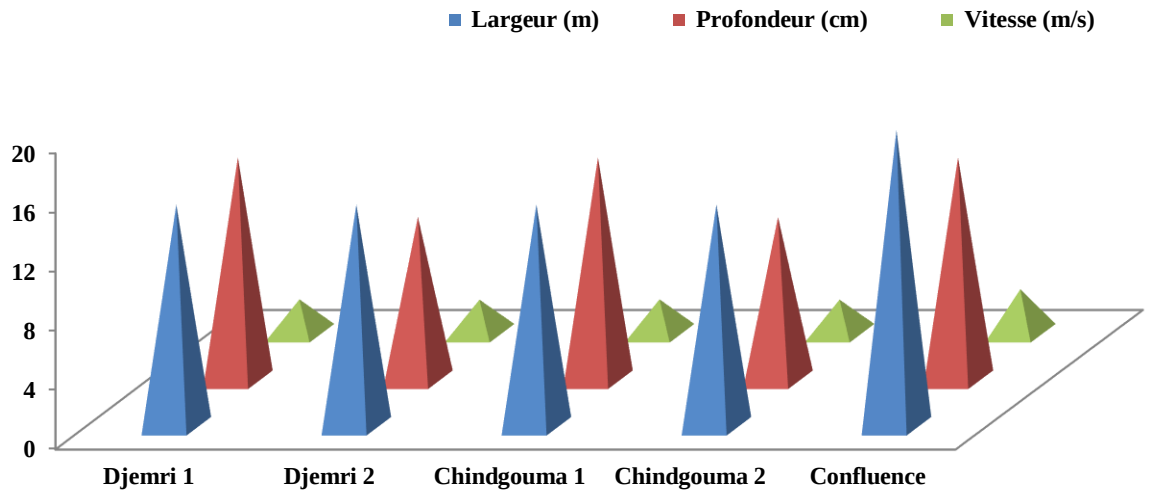


Figure 37 : Paramètres Largeur du lit, Profondeur et Vitesse de l'eau dans les stations de prélèvement, pendant la campagne 2021.

IV.1.4. La pente

Le niveau des pentes varie d'une station d'étude à l'autre et est très varié au niveau de la station 2 d'Oued Lazrag avec un maximum de 87 % et un minimum de 11 % dans la station 1

d'Oued L'Arab (Figure 38). Ce facteur possède une influence directe sur le bien être des insectes car il agit sur le taux d'oxygénation de l'eau et sa température ambiante pour ces êtres vivants et leur biodiversité.

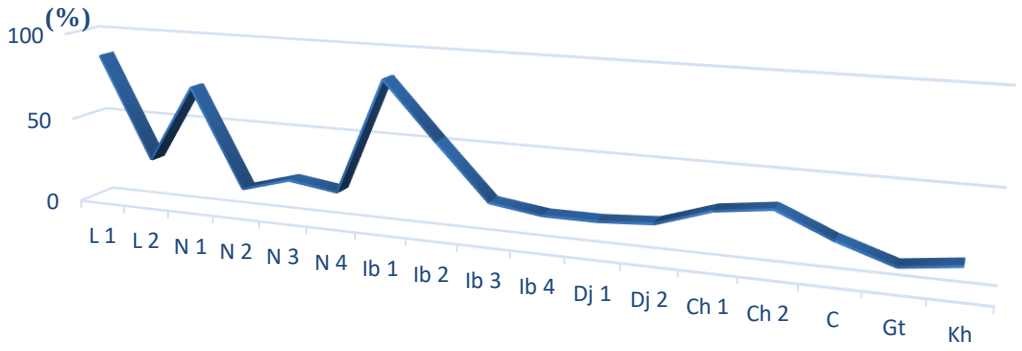


Figure 38 : Variation de la pente entre les stations de prélèvement.

IV.1.5. La turbidité

Dans la zone d'étude, de nombreuses observations sont faites au cours des compagnes d'échantillonnage. Parmi lesquelles, on a :

- Le piétinement des habitants riverains et leurs troupeaux dans les cours d'eau,
- Les crues et le drainage,
- L'utilisation de ces mêmes cours d'eau par la population dans le lavage domestique, …

Ces facteurs anthropiques ont contribué largement à amplifier la turbidité dans les stations visitées pour échantillonnage. La figure qui suit exprime les valeurs de turbidité enregistrées dans les multiples stations. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations L2 (Oued Lazrag) et Kh (Oued L'Arab) avec les valeurs de 79% et 80% respectivement.

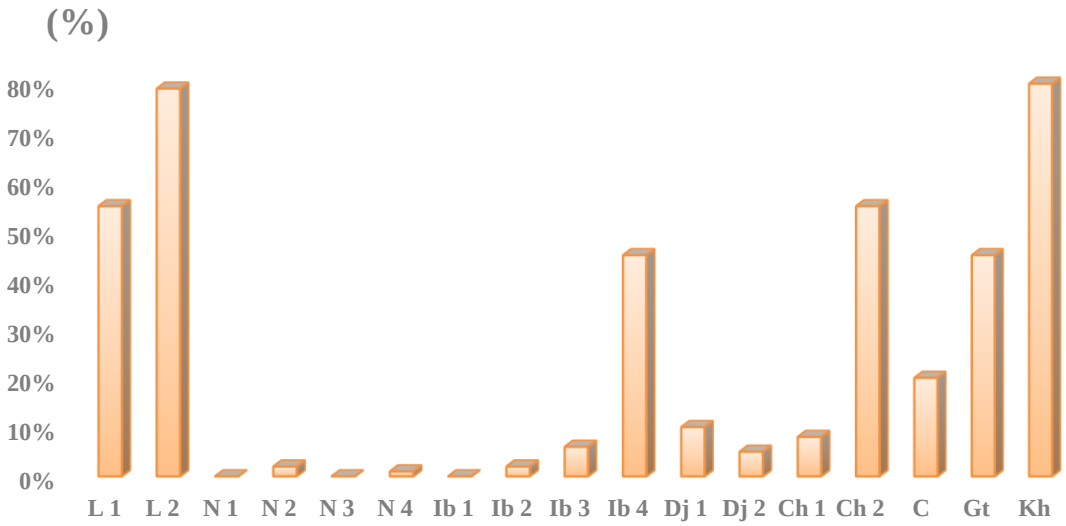


Figure 39 : Valeurs de la variation de turbidité dans les stations de prélèvement.

IV.1.6. Pollutions et actions anthropiques

L'impact de la pollution dans la plupart des stations d'échantillonnage est visible à vue d'œil. Pendant le prélèvement, nous avons eu l'occasion de remarquer de nombreuses activités anthropiques pouvant induire des perturbations des écosystèmes terrestres et aquatiques ce qui pourrait produire un dysfonctionnement du cycle de vie des insectes. Ces activités peuvent être résumées par :

- Lavage de la laine de moutons dans les cours d'eau,
- Passage des engins à travers les cours d'eau,
- Action de pompage,
- Pâturage et surpâturage,
- Activités de loisirs et de tourisme illicites près des bordures.

IV.2. Analyse des taxons faunistiques récoltés

IV.2.1. Analyse générale

Les communautés de macroinvertébrés benthiques sont les plus utilisées pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques (Hellawell, 1986 ; Barbour et al., 1999). Ce sont des organismes visibles à l'œil nu, tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers, qui habitent le fond des cours d'eau et des lacs. Ils forment un maillon important des écosystèmes aquatiques, car ils sont une source de nourriture pour de nombreuses espèces animales et par conséquent peuvent servir de vecteurs de bioaccumulations de certains contaminants. Plusieurs études portantes sur les macroinvertébrés ont montré leur importance dans la chaine alimentaire et dans les milieux aquatiques (Goaziou, 2004).

L'analyse biologique de macroinvertébrés benthiques permet d'évaluer l'état de santé général des écosystèmes aquatiques, leur distribution dépend des conditions environnementales (nature du substrat, vitesse du courant, couverture végétale, etc.). De façon générale, les plans d'eau non dégradés supportent des communautés de macroinvertébrés diversifiées. Avec une augmentation des perturbations anthropiques, l'abondance des taxons les plus sensibles diminue alors que l'abondance des taxons tolérants à la pollution augmente. Ces changements amènent une instabilité dans la structure de la communauté, ce qui se traduit généralement par la réduction de l'intégrité de l'écosystème aquatique (Rosenberg, 1993).

Suite à la détermination taxonomique réalisée au laboratoire LCZH, une liste faunistique des macroinvertébrés a pu être établie montre la systématique de l'ensemble des espèces

identifiées. Les résultats pour chaque station sont présentés sous forme d'un tableau, grâce à la réalisation de ce tableau, il a pu être analysé et comparé les différentes distributions des macroinvertébrés entre les stations. L'inventaire englobe un total de 12030 individus repartis sur 12 ordres différents. Les différents groupes sont représentés selon l'ordre systématique établi par Tachet et al. 2010. L'identification de ces taxons est poussée dans la majorité des cas à l'ordre, la famille et au genre à l'espèce.

Les peuplements de ces stations sont composés essentiellement d'invertébrés avec un taux de 98% et de 2% seulement de vertébrés (Figure 40 a).

Les peuplements d'invertébrés sont dominés dans l'ensemble des stations par les annélides avec 71%, tandis que les mollusques occupent la 2ème position avec un taux de 20% puis viennent les décapodes occupants uniquement 7% et les isopodes avec seulement 2%.

Parmi les invertébrés, les insectes sont dominants, car ils sont représentés essentiellement par les Ephéméroptères (61%) et les Trichoptères (13%), les Coléoptères (7%), les Odonates (10 %), alors que les Diptères et les Hémiptères représentent respectivement des valeurs faibles (Figure 40 b). Le peuplement des vertébrés est dominé par les poissons (90%).

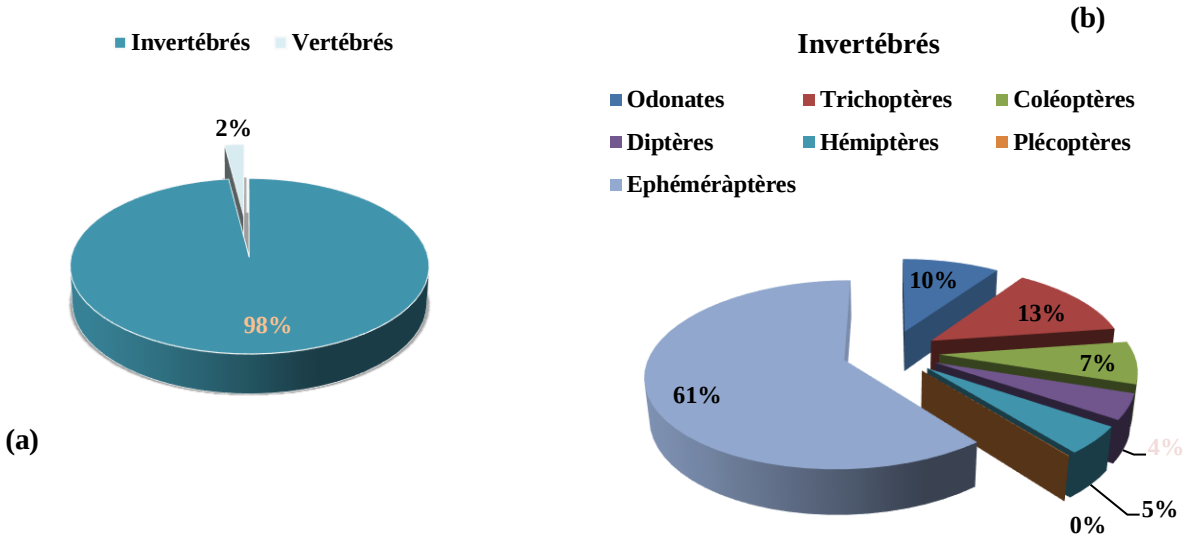


Figure 40 : Répartition quantitative de la faune aquatique recensée pendant la période d'étude (pendant la campagne 2019-2021) (a) peuplement des vertébrés (b) peuplement des invertébrés.

IV.2.2. La liste taxonomique de la faune d'insectes recensés.

L'ensemble de la faune d'insectes recensés est présent dans la totalité des stations avec des effectifs variant d'une station à une autre. Le tableau si dessous illustre une liste taxonomique de cette faune récoltée durant la période d'étude (Tableau 4).

Tableau 4 : Liste taxonomique de la faune d'insecte recensée (2019-2021).

Embronchement	Classes	Ordres	Familles
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae (Leach, 1815)
			Caenidae (Newman, 1853)
			Hyptageniidae (Needham, 1901)
		Plecoptera	Perlodidae (Klapálek, 1912)
		Odonata	Calopterygidae (Selys, 1850)
			Platycnemididae (Tillyard, 1917)
			Gomphidae (Rambur, 1842)
			Libellulidae (Rambur, 1842)
		Hemiptera	Notonectidae (Latreille, 1802)
			Gerridae (Leach, 1815)
			Veliidae (Amyot et Serville, 1843)
		Coleoptera	Dytiscidae (Leach, 1815)
			Hydrophilidae (Latreille, 1802)
			Curculionidae (Latreille, 1802)
			Hydraenidae (Mulsant, 1844)
			Elmidae (Curtis, 1830)
			Gyrinidae (Latreille, 1810)
		Trichoptera	Polycentropidae (Ulmer, 1903)
			Hydropsychidae (Curtis, 1835)
			Limnephilidae (Kolenati, 1848)
		Diptera	Tabanidae (Latreille, 1802)
			Simuliidae (Newman, 1834)
			Tipulidae (Latreille, 1802)
			Dolichopodidae (Latreille, 1809)
			Stratiomyidae (Latreille, 1802)

IV.2.3. La répartition spatiotemporelle des insectes dans la wilaya de Khenchela

IV.2.3.1. Bassin Versant Nord

Notre travail est élaboré au niveau de bassin versant nord de la wilaya de Khenchela, qui se situe sur la surface de deux communes limitrophes l'une de l'autres à savoir (Tamza, Chelia) distribue en 10 stations pendant la période de collecte.

Dans la commune de Tamza à elle seule, nous avons sélectionné 8 points d'échantillonnage, alors que la commune de Chelia regroupe uniquement deux stations de prélèvement (Figure 41).

L'analyse de l'abondance des individus dans les différentes stations du bassin versant nord révèle des variations significatives entre les Oueds étudiés. Les stations situées le long de l'Oued Lazrag présentent une faible abondance globale, avec un total de 1104 individus. Les variations entre les stations de cet Oued sont peu marquées.

En revanche, Oued Ibikan se distingue par une abondance nettement supérieure. La station Ib4 de cet Oued affiche le nombre le plus élevé d'individus, avec 1076 insectes recensés. Les stations Ib2 et Ib3 suivent respectivement avec 849 et 686 individus, se positionnant ainsi en deuxième et troisième place en termes d'abondance. Oued Noghis les stations N1**,** N2**,** N3 et N4 dans un autre secteur montrent, quant à elles, une abondance très faible, avec des effectifs respectifs de 157, 151, 137 et 127 individus.

Lorsque l'on considère l'abondance totale par Oued, on trouve qu'Oued Ibikan occupe la première place avec un total de 2995 individus, démontrant une richesse biologique bien supérieure. En comparaison, Oued Lazrag se positionne en deuxième place, suivi par Oued Noghis qui présente la plus faible abondance globale, avec seulement 572 individus recensés.

Ces données mettent en évidence une disparité dans la richesse en macroinvertébrés entre les différents Oueds, reflétant probablement des variations dans les conditions environnementales, les sources de pollution ou la qualité de l'habitat aquatique.

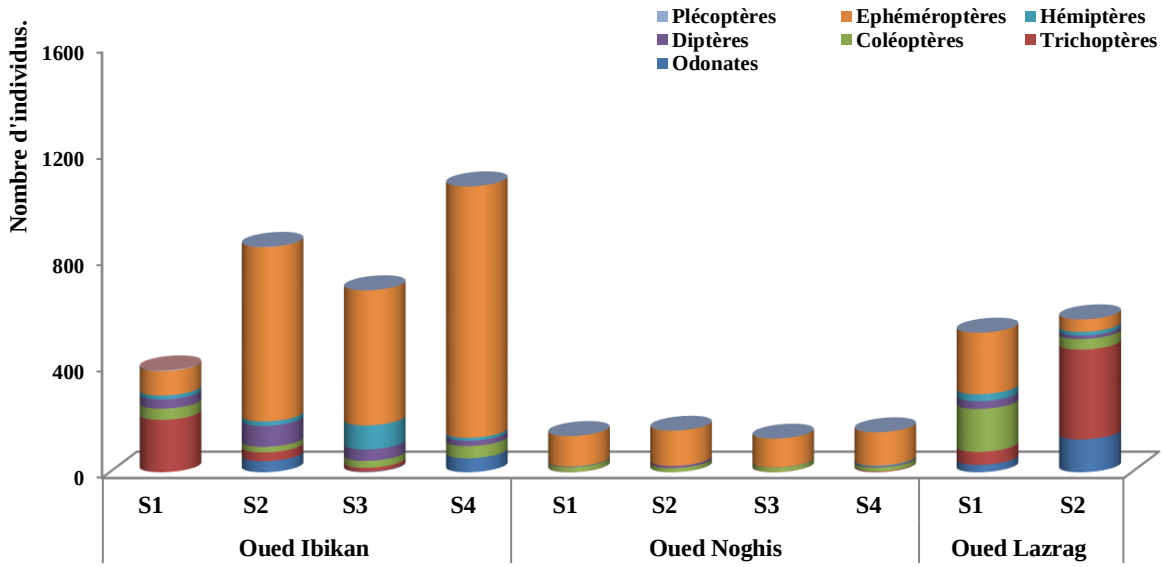


Figure 41 : La répartition spatio-temporelle de l'effectif des différents ordres d'insectes dans le bassin versant nord à Khenchela durant la période de juin 2019 à mai 2020.

IV.2.3.2. Bassin Versant Sud

Dans le bassin versant sud, sept stations d'étude ont été sélectionnées pour évaluer la qualité de l'eau et l'écosystème aquatique. Ces stations ont été réparties comme suit :

- **Oued Djemri** : deux stations ont été choisies pour collecter des données représentatives de cet Oued.
- **Oued Chindgouma** : de même, deux stations ont été installées dans cet Oued afin d'assurer une comparaison avec Oued Djemri. Les échantillons dans ces deux Oueds ont été prélevés au cours du mois d'avril 2021.
- **Zone de Confluence** : une station unique a été positionnée à la jonction des deux cours d'eau, Oued Djemri et Oued Chindgouma, pour analyser les interactions et les éventuelles modifications des paramètres hydrologiques ou biologiques à cet emplacement.
- **Oued L'Arab** : deux autres stations ont été implantées le long de son parcours. Les échantillonnages dans cet Oued ont été effectués durant les mois pluvieux d'avril et de mai 2021 afin de tenir compte des variations saisonnières dans ce milieu aquatique.

Ce choix de localisation permet une couverture représentative des différents habitats aquatiques et facilite une analyse comparative entre les zones étudiées.

L'analyse de l'abondance des insectes au niveau des stations révèle que la station (Dj2) d'Oued Djemri se distingue par la plus grande abondance, avec un total de 175 individus recensés. La station située à la Confluence des deux cours d'eau occupe la deuxième position,

avec 155 individus. En troisième position, on retrouve la station (Ch2) d'Oued Chindgouma, qui présente une abondance plus faible de 109 individus. Enfin, les stations (Dj1) d'Oued Djemri et d'Oued Chindgouma sont les moins abondantes, avec respectivement 93 et 78 individus. Cette répartition indique une variation de la densité des insectes selon les stations, suggérant probablement des différences dans les conditions environnementales ou écologiques entre ces sites (Figure 42).

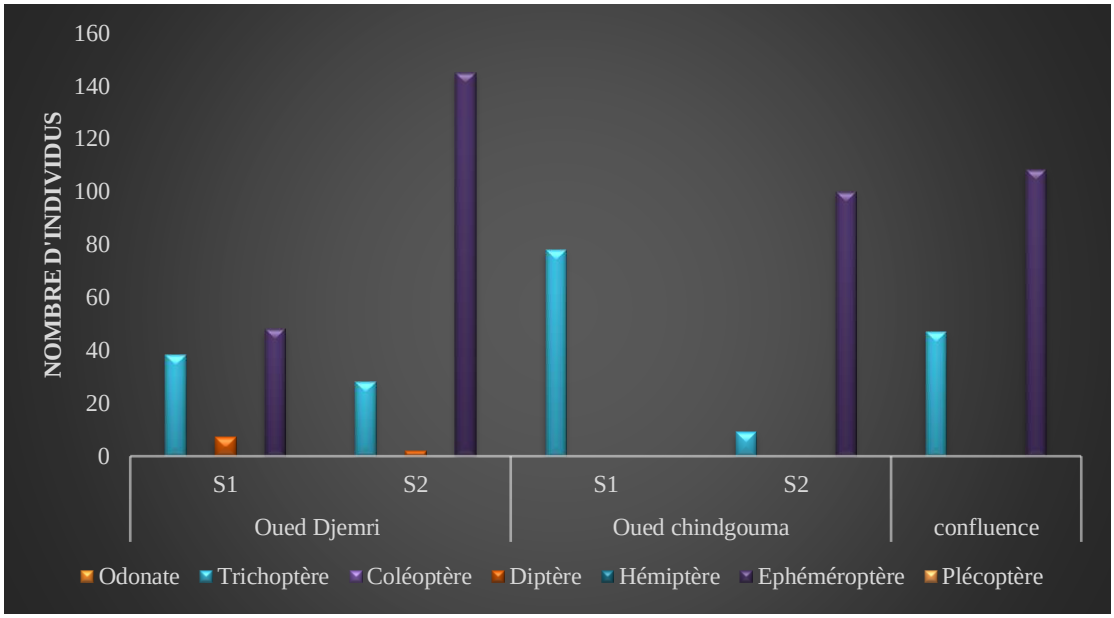


Figure 42 : La répartition spatio-temporelle de l'effectif des différents ordres d'insectes dans bassin versant sud à Khenchela pendant le mois d'avril 2021.

Au cours des mois d'avril et de mai, dans la région d'Oued l'Arab, des variations significatives dans l'abondance des insectes ont été observées entre les stations Gt et Kh.

- **Station 1 (Gt)** : en avril, cette station présente la plus forte abondance en termes de nombre d'insectes, atteignant un effectif total de 96 individus. Cependant, au mois de mai, on constate une diminution marquée de cette abondance, indiquant un possible changement dans les conditions environnementales ou écologique influençant la présence des insectes.
- **Station 2 (Kh)** : contrairement à Gt, cette station connaît une tendance inverse. En avril, le nombre d'insectes est relativement faible, mais en mai, une augmentation significative de l'abondance est enregistrée, ce qui peut être attribué à des facteurs tels qu'une amélioration des conditions de l'habitat ou des cycles de reproduction favorables.

Ces variations inter-stations et inter-mensuelles reflètent probablement des différences dans les conditions hydrologiques, les ressources alimentaires disponibles, ou d'autres facteurs écologiques spécifiques à chaque station (Figure 43).

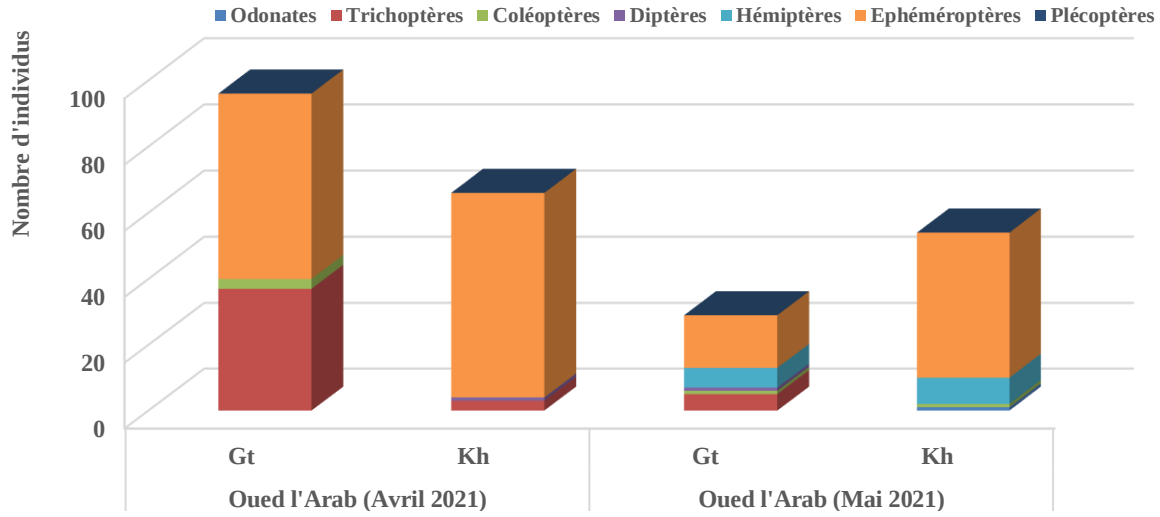


Figure 43 : La répartition spatio-temporelle de l'effectif des différents ordres d'insectes dans le bassin versant sud à Khenchela pendant le mois d'avril et mai 2021.

IV.3. Structure et Organisation des peuplements d'Odonates

IV.3.1. Analyse globale de l'inventaire

Au cours de cette étude, les prospections effectuées ont permis de collecter un total de 273 individus dans les différentes stations de l'Oued Lazrag et Ibikan. En revanche, les autres stations échantillonnées se sont révélées totalement dépourvues de peuplement odonatologique.

Les résultats montrent que les Odonates recensés sont majoritairement dominés par le sous-ordre des Anisoptères, qui représentent 71 % du total des individus collectés, soit 193 spécimens. En comparaison, les Zygoptères, le second sous-ordre, ne représentent que 29 % des effectifs, avec 80 individus.

Ces Odonates appartiennent à un total de 4 familles et se répartissent sur 4 espèces différentes, reflétant une diversité spécifique relativement modérée dans les zones échantillonnées. Ces résultats mettent en évidence une prédominance des Anisoptères, souvent associée à des habitats aquatiques plus ouverts et dynamiques, tandis que les Zygoptères, plus sensibles aux conditions environnementales, se trouvent en moindre proportion (Figure 44). Ce groupe zoologique est réparti sur 4 familles et 4 espèces.

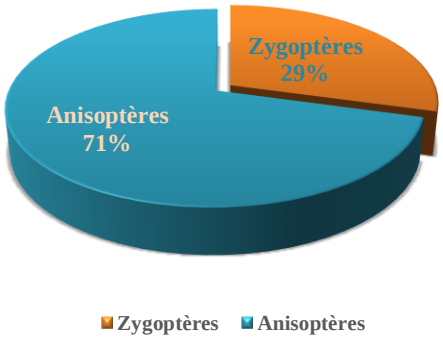


Figure 44 : Abondance relative des peuplements d'Odonates (Anisoptères et Zygoptères dans la zone d'étude.

IV.3.2. Inventaire taxonomique de peuplement Odonatologiques.

Notre étude réalisée lors de l'inventaire des prélèvements a permis d'identifier une richesse spécifique composée de quatre espèces d'Odonates. Parmi celles-ci, deux appartiennent au sous-ordre des Zygoptères et les deux autres au sous-ordre des Anisoptères (Tableau 5).

Tableau 5 : Liste taxonomique d'ordre Odonate dans la région d'étude.

Sous ordre	Famille	Espèce
Zygoptères	Calopterygidae (Selys, 1850)	*Calopteryx haemorrhoidalis* (VanderLinden, 1825)
	Platycnemididae (Tillyard, 1917)	*Patycnémis subdilatata* (Selys, 1849)
Anizoptères	Gomphidae (Rambur, 1842)	*Onychogomphus uncatus* (Charpentier1840)
	Libellulidae (Rambur, 1842)	*Orthetrum coerulescens* (Fabricius, 1798)

Grâce à sa position géographique privilégiée entre les écosystèmes méditerranéens et sahariens, l'Algérie abrite une biodiversité remarquable d'Odonates. Environ 65 espèces de ces insectes aquatiques, réparties entre les Zygoptères (libellules fines) et les Anisoptères (libellules larges), y ont été recensées. Leur diversité est façonnée par divers facteurs environnementaux, hydrologiques et anthropiques, influençant leur répartition et leur abondance. Selon une diversité élevée d'Odonates est souvent corrélée à une plus grande hétérogénéité des habitats, l'étude comparative des Oueds doit ainsi prendre en compte leur régime hydrologique et l'hétérogénéité des habitats, des éléments déterminants pour la biodiversité de ces espèces (Hardersen, 2008).

Une plus grande diversité d'habitats, incluant la variation des substrats, la présence de végétation riveraine et des fluctuations de température ou d'altitude, favorise l'installation d'une multitude d'espèces aux exigences écologiques variées. Par exemple, les Oueds présentant une mosaïque d'habitats aquatiques et terrestres, comme le Wadi Isser, où coexistent différents types d'habitats aquatiques et terrestres, peuvent donc héberger une biodiversité plus élevée constituent des refuges et des zones de reproduction propices aux Odonates, contribuant ainsi à une biodiversité élevée (Bouchelouche & Samraoui, 2012)**.**

À l'inverse, des habitats uniformes, tels que ceux de l'Oued Bouarroug limitent la diversité des espèces avec seulement 11 espèces recensées dans une station unique, semble présenter une diversité plus limitée, probablement en raison d'un habitat homogène ou de conditions environnementales peu diversifiées. En revanche les caractéristiques hydrologiques comme le débit et la régularité des cours d'eau, influencent également les communautés d'Odonates, par exemple l'Oued Kébir Est l'Oued El Harrach bien qu'il offre potentiellement des habitats diversifiés, souffre de niveaux élevés de pollution, ce qui pourrait expliquer une biodiversité relativement restreinte, l'Oued El Harrach comptent chacun 13 espèces dans une station, suggérant des habitats relativement favorables, bien que possiblement sous-explorés ou soumis à des pressions anthropiques modérée (Hafiane et al., 2016) .

L'Oued Isser Médéa se distingue par la présence de 19 espèces réparties sur six stations, et ce malgré un effort d'échantillonnage réduit. Cette richesse spécifique pourrait être attribuée à une hétérogénéité plus marquée des habitats et à des conditions hydrologiques favorables (Bouchelouche, 2015).

Dans la Région nord-est des Oueds comme le Seybouse, associés à des zones humides, présentent une richesse spécifique élevée. Cette diversité est souvent attribuée à des conditions hydrologiques plus stables et à une relative préservation des habitats, des études menées sur l'Odonatofaune du bassin de la Seybouse, en Algérie, ont permis d'identifier 35 espèces d'Odonates. Parmi elles, deux espèces remarquables ont été signalées :

- ***Calopteryx exul*** *:* cette espèce endémique du Maghreb n'avait pas été observée en Algérie depuis plus d'un siècle avant sa redécouverte dans la région de la Seybouse.
- ***Trithemis kirbyi*** : initialement absente de l'est algérien, cette espèce a été observée dans les trois sous-bassins de la haute, moyenne et basse Seybouse, reflétant une expansion notable

de son aire de répartition. Ces découvertes soulignent l'importance écologique du bassin de la Seybouse pour la biodiversité odonatologique du Maghreb (Khelifa Rassim et al., 2011).

Dans la Région nord-centre : les cours d'eau des zones fortement urbanisées, comme l'Oued El Harrach, montrent une biodiversité réduite en raison de la pollution et de la dégradation des habitats.

Dans la Région saharienne : les cours d'eau temporaires ou les Gueltas, bien que rares, abritent une biodiversité unique. Ces habitats extrêmes sont occupés par des espèces adaptées aux conditions arides et aux fluctuations hydrologiques marquées (Khelifa Rassim et al., 2011).

Conformément à la recherche de Satour et al., réalisée en 2024, l'analyse des assemblages d'Odonates est effectuée dans quatre zones écologiquement distinctes du nord-est algérien, ce travail a fait l'objet d'une collaboration de plusieurs collègues doctorants du Laboratoire de conservation des zones humides (LCZH), sous la direction des professeurs Samraoui F. et Samraoui B. Collo (Skikda), qui se trouve dans les montagnes de l'Atlas Tellien, est la première région, caractérisée par un climat humide. Cette zone se distingue par son humidité élevée et sa végétation abondante, ce qui favorise une large variété d'espèces aquatiques. Oum El Bouaghi, la deuxième région, est caractérisée par un climat semi-aride et se différencie par l'existence de zones humides temporaires comme les chotts, Garaas et Sebkhas. Bien que temporaires, ces environnements fournissent des habitats particuliers pour certaines espèces qui s'adaptent à des conditions changeantes.

Batna, la troisième zone explorée, se trouve sur les flancs méridionaux du massif de l'Aurès. Cette région est caractérisée par des conditions écologiques plus sèches, mais entrecoupées de rivières et de sources qui sont cruciales pour la sauvegarde de la faune Odonatologique. Pour finir, la zone de Khenchela, localisée au nord du massif de l'Aurès, se caractérise par une variation altitudinale marquée. Cela donne lieu à une variété de microclimats et d'habitats favorables à une faune Odonatologique diverse. L'approche comparative a permis d'étudier l'impact des gradients climatiques et topographiques sur la composition et la configuration des communautés d'Odonates.

Un total de 2136 individus est rassemblé, comprenant 1948 larves, dans 40 lieux représentatifs variés, tenant compte de la diversité des habitats pouvant être stagnants ou courants, des altitudes entre 14 et 1608 m et des types d'utilisation du sol de forêts, campagnes,

terres agricoles et pâturages. L'enquête a abouti à l'identification de 21 espèces d'Odonates, comprenant 10 Zygoptères et 11 Anisoptères, ce qui représente environ 47 % de la diversité connue dans la région. Les espèces prédominantes comprennent *Ischnura graellsii* (Ibero-maghrébine) et *Onychogomphus uncatus*, ainsi que deux espèces endémiques spécifiques au Maghreb : *Platycnemis subdilatata* (très répandue) et *Enallagma deserti* (principalement présente dans les Hauts Plateaux).

Satour et al., (2024) ont réalisé des analyses multivariées, incluant le NMDS (*Non-Metric Multidimensional Scaling*) et la PERMANOVA (*Permutational Multivariate Analysis of Variance*), qui ont permis d'identifier les facteurs environnementaux majeurs affectant la composition des assemblages d'Odonates. Il est évident que la vitesse du flux ($R^2 = 0,08$; $p = 0,03$) et la largeur du lit de la rivière ($R^2 = 0,06$; $p = 0,01$) ont une influence significative sur l'organisation des communautés. De plus, l'altitude et l'utilisation des sols, y compris les forêts, les terrains agricoles, l'élevage et les zones rurales, se manifestent comme des éléments marginalement significatifs, suggérant qu'ils jouent un rôle secondaire mais pas négligeable dans la variation de la composition spécifique.

Cette même étude a recensé une abondance considérable des espèces telles qu'*Ischnura graellsii* et *Onychogomphus uncatus*, tandis que la diversité spécifique la plus importante a été remarquée dans les milieux humides de la zone d'Oum El Bouaghi, sans doute dû à leur vaste hétérogénéité d'environnements. L'existence d'espèces telles que *Platycnemis subdilatata* (spécifique au Maghreb) souligne l'importance de ces habitats pour la préservation. Les espèces affichent des préférences écologiques distinctes : les Odonates vivant dans les environnements lentiques ont tendance à coloniser les habitats densément végétalisés, alors que ceux qui habitent les rivières rapides sont influencés par les propriétés hydrologiques. Cependant, des espèces plus exigeantes et sensibles telles que *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Boyeria irene* et *Orthetrum coerulescens* ont trouvé refuge dans certaines rivières forestières de Collo et de Khenchela (Satour et al., 2024).

L’étude de Satour et al., (2024) a également révélé un lien notable entre la composition des assemblages et différentes variables : le courant rapide favorise l'apport d'oxygène et influence la répartition des larves ; la constitution du substrat ainsi que la densité des hélophytes façonnent les microhabitats existants ; l'altitude a une incidence sur la phénologie et les cycles de développement. Cependant, la durée d'inondation (hydropériode) n'a pas démontré d'impact

direct significatif, même si elle peut favoriser certaines espèces adaptées à des habitats temporaires.

Ces conclusions mettent en évidence la nécessité d'une stratégie de conservation intégrée qui prend en compte les gradients environnementaux, l'utilisation des terres et la diversité topographique pour protéger la biodiversité des Odonates dans le nord-est algérien.

IV.3.3. Abondance des familles et des espèces recensées

L'analyse de l'abondance des différentes familles et espèces montre une nette domination des Gomphidae, qui représentent à elles seules 69 % des individus observés. Cette prépondérance est largement attribuable à *Onychogomphus uncatus*, l'espèce la plus abondante, avec un total de 189 spécimens identifiés, soit exactement 69 % de l'effectif total.

En deuxième position, les Calopterygidae constituent 27 % des individus, dominés par *Calopteryx haemorrhoidalis*, qui est représentée par 74 spécimens (Figure 45). Ensemble, ces deux familles dominantes (Gomphidae et Calopterygidae) regroupent la quasi-totalité des individus recensés.

Les autres familles, Platycnemididae et Libellulidae, jouent un rôle beaucoup plus marginal dans la communauté étudiée. Chacune représente seulement 2 % des individus. En termes d'espèces, cela se traduit par la présence limitée de *Patycnémis subdilatata*, représentée par seulement 6 individus, et d'*Orthetrum coerulescens*, qui compte 4 spécimens.

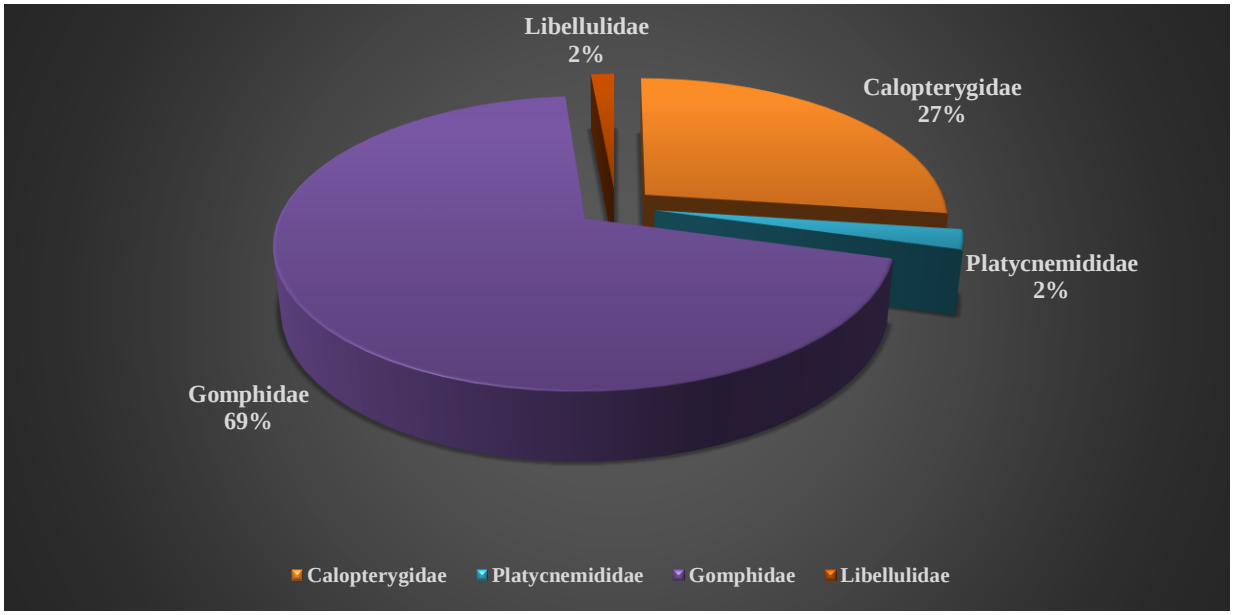


Figure 45 : Répartition en fonction de l'abondance des familles des Odonates dans la région d'étude.

Ainsi, notre étude révèle une structure de population marquée par une forte disparité : deux espèces dominantes concentrent près de 96 % de l'effectif, tandis que les autres espèces se classent parmi les catégories peu abondantes à rares, avec une contribution négligeable à la composition totale de la communauté. Cela témoigne d'une distribution inégale des effectifs, caractéristique fréquente dans de nombreux écosystèmes aquatiques (Figure 46).

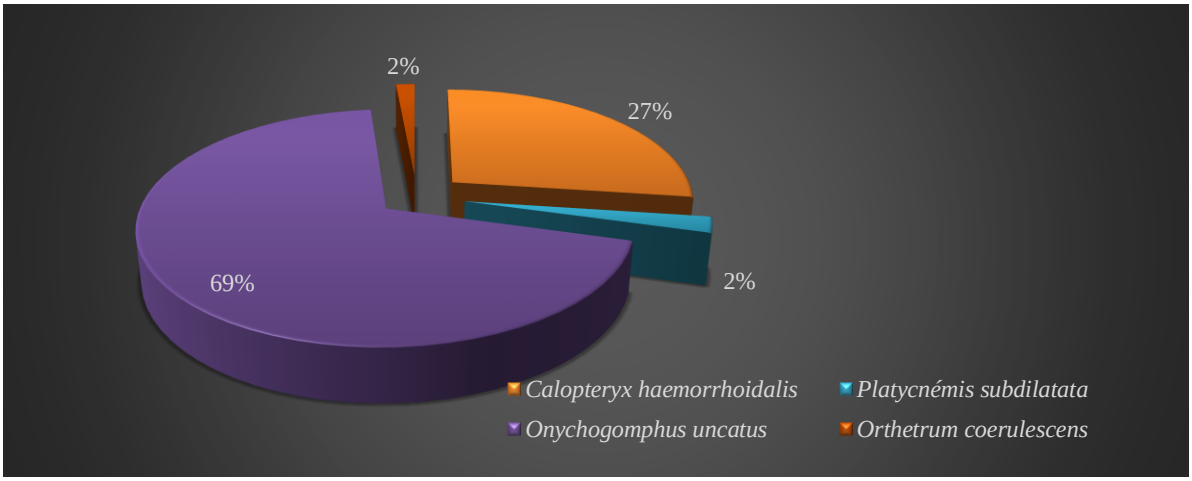


Figure 46 : Répartition des espèces des Odonates de la région d'étude.

IV.3.4. La fréquence d'occurrence des espèces recensées

Parmi les 17 stations étudiées, les Odonates recensés révèlent une distribution inégale des fréquences d'occurrence pour les quatre espèces identifiées, *Onychogomphus uncatus* est l'espèce la plus couramment observée, représentant 41,66 % des occurrences, ce qui en fait la plus répandue dans ces stations. Elle est suivie par *Calopteryx haemorrhoidalis*, qui montre une fréquence d'occurrence de 33,33 %, témoignant d'une présence relativement significative, bien qu'inférieure à celle d'*Onychogomphus uncatus*. Les deux autres espèces, *Patycnémis subdilatata* et *Orthrum coerulescens*, sont moins fréquentes, avec des taux d'occurrence respectifs de seulement 16,66 % (Tableau 6).

Tableau 6 : Fréquence des espèces recensées.

Espèce	Effectif (individus)	AR (%)	Fr %	Echelle
Calopteryx haemorrhoidalis	74	27,1	33,33	/
Platycnémis subdilatata	6	2,2	16,66	/
Onychogomphus uncatus	189	69,23	41,66	
Orthetrum coerulescens	4	1,47	16,66	

Pour classifier les espèces collectées selon leur fréquence en s'appuyant sur Dajoz (1985),

- ✓ **Espèces accessoires** :
  - *Onychogomphus uncatus*.
  - *Calopteryx haemorrhoidalis*.
- ✓ **Espèces rares** :
  - *Platycnémis subdilatata*.
  - *Orthetrum coerulescens*.

IV.3.5. Répartition spatiale du peuplement des Odonates

IV.3.5.1. Abondance relative et effectif des espèces en fonction des sites d'étude

Les macroinvertébrés ont des préférences écologiques spécifiques, ce qui les conduit à se concentrer dans certains types de milieux où les conditions environnementales sont favorables. Cette particularité influence leur répartition géographique et leur abondance relative. Dans notre région d'étude, nous avons observé une répartition inégale des Odonates entre les différentes stations. La station 2 de l'Oued Lazrag (L2) se distingue par une densité remarquable, regroupant près de la moitié de la population totale d'Odonates (41 %), soit 111 individus (Figure 4).

Cette abondance pourrait s'expliquer par des conditions environnementales particulièrement propices dans cette station, telles que la disponibilité de nourriture, la qualité de l'eau ou la présence de végétation adaptée. La station 4 de l'Oued Ibikan (Ib4) suit avec 91 individus, représentant 33 % de la population.

Ces deux stations concentrent donc l'essentiel des populations d'Odonates, probablement en raison de caractéristiques similaires favorables. En revanche, la station 1 de l'Oued Lazrag (L1) montre une abondance modérée, avec 25 individus (9 %), suggérant des conditions moins optimales pour ces insectes. Enfin, la station 2 de l'Oued Ibikan (Ib2) affiche une très faible densité, avec seulement 4 individus recensés, ce qui pourrait indiquer des facteurs limitants, tels qu'une pollution accrue, un habitat moins adapté ou des perturbations anthropiques. Dans les autres stations, aucune présence d'Odonates n'a été enregistrée, ce qui met en évidence des conditions environnementales probablement défavorables à leur installation ou leur survie.

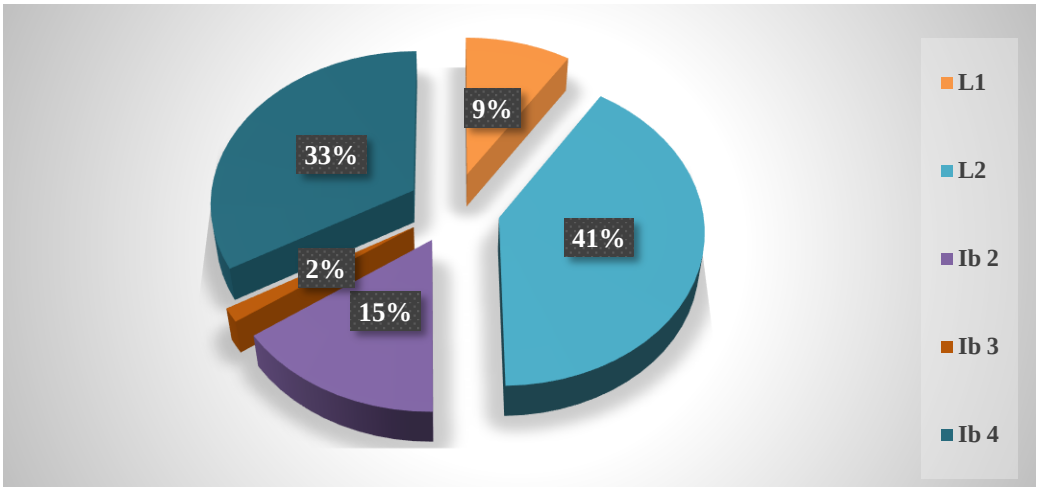


Figure 47 : Abondance relative des espèces d'Odonates présentées dans les différents sites d'étude.

L'espèce *Onychogomphus uncatus*, appartenant à la famille des Gomphidae, est considérée comme rare dans la région de la Numidie, selon les travaux de (Samraoui & Corbet, 2000). Cette famille d'Odonates domine néanmoins la majorité des populations observées sur les sites de prélèvement. *Onychogomphus uncatus* est une espèce ayant des exigences écologiques spécifiques : elle requiert des habitats caractérisés par des eaux claires, bien oxygénées, avec un débit constant tout au long de l'année. Les stations 1 et 2 de l'Oued Lazrag (L1 et L2), ainsi que les stations 2, 3 et 4 de l'Oued Ibikan (Ib2, Ib3 et Ib 4), abritent une population importante de Gomphidae, avec respectivement 57 et 132 individus collectés. Ces milieux se distinguent par une végétation riveraine dense, principalement composée de *Typha latifolia* (massette à larges feuilles) et de *Malus domestica* (pommier).

Dans les systèmes fluviaux méditerranéens, qui présentent une grande diversité structurelle, la famille des Gomphidae est particulièrement sensible aux perturbations environnementales. Ces espèces, dotées d'exigences respiratoires strictes, ne tolèrent ni une augmentation de la contamination ni des modifications importantes de la structure du cours d'eau. Par conséquent, leur abondance et leur richesse en espèces constituent un excellent indicateur de la qualité écologique des milieux aquatiques. Les observations faites dans les écosystèmes de l'Oued Lazrag et de l'Oued Ibikan suggèrent que ces cours d'eau sont en bon état de santé écologique, confirmant la présence d'un environnement favorable au maintien de populations saines et diversifiées (Figure 48).

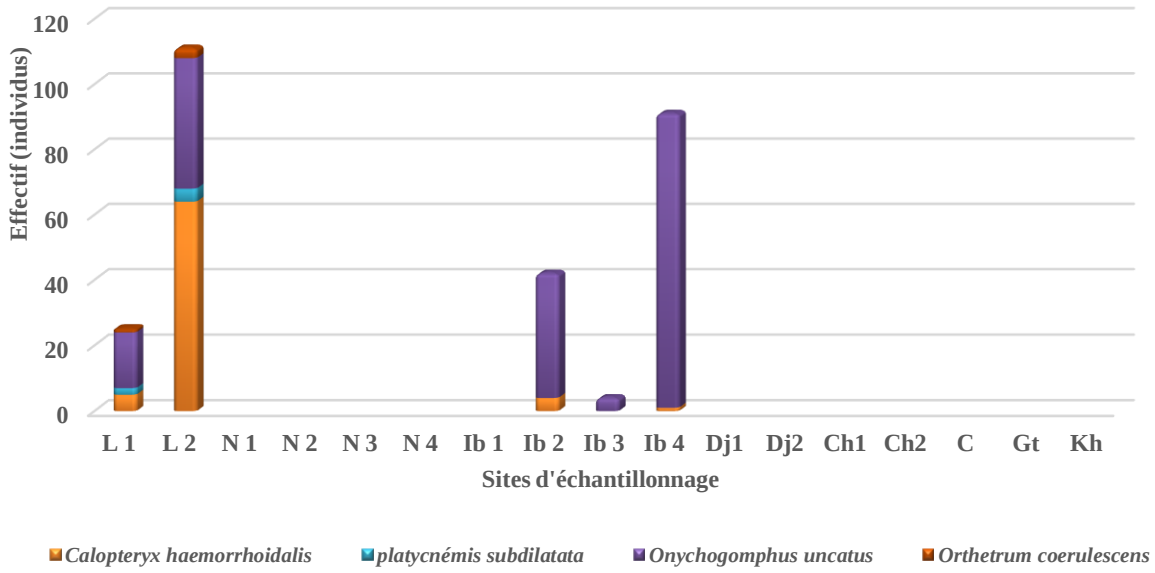


Figure 48 : L'effectif des espèces d'Odonates en fonction des stations d'étude.

Les Odonates sont étroitement liés aux milieux aquatiques, leur cycle de vie dépendant de la présence d'eau pour le développement larvaire. La nature des cours d'eau qu'ils soient permanents, temporaires ou soumis à des variations hydrologiques importantes influence directement la composition spécifique des communautés locales. En général, une hydrologie stable favorise une biodiversité élevée, tandis que des fluctuations marquées, comme les crues intenses ou les périodes de sécheresse prolongées, peuvent restreindre la présence de certaines espèces (Boudot & Kalkman, 2015).

Cependant, les connaissances actuelles sur les Odonates algériens sont encore incomplètes, en grande partie à cause d'un effort d'échantillonnage inégal. Certaines régions, notamment le nord-est de l'Algérie, ont fait l'objet d'études approfondies, révélant une diversité importante (Samraoui & Menaï, 1999). En revanche, d'autres zones restent sous-explorées, suggérant un potentiel pour de futures découvertes, incluant d'éventuelles espèces rares ou endémiques.

Par ailleurs, les pressions anthropiques constituent une menace majeure pour les communautés d'Odonates. L'urbanisation croissante, la pollution des cours d'eau comme celle observée dans des Oueds tels qu'El Harrach ainsi que les modifications hydromorphologiques liées aux aménagements humains contribuent à la dégradation des habitats aquatiques (Hafiane et al., 2016). Ces altérations réduisent la disponibilité des sites favorables à la reproduction et compromettent la pérennité des populations locales, entraînant une meilleure compréhension

de la répartition et des facteurs influençant les communautés d'Odonates en Algérie nécessite donc des efforts d'échantillonnage accrus, ainsi que des mesures de conservation adaptées pour préserver ces insectes bio-indicateurs des écosystèmes aquatiques un déclin de la biodiversité.

Dans certaines régions, notamment à Khenchela, notre zone d'étude, une faible diversité de communauté d'Odonate a été observée. La richesse stationnelle, c'est-à-dire le nombre d'espèces identifiées par station, varie généralement entre 1 et 4 espèces. Parmi les sites étudiés, les stations les plus diversifiées se trouvent à l'Oued Lazrag correspondant aux points L1 et L2, qui comptent chacune 4 espèces. Par ailleurs, les stations situées à Oued Ibikan, notamment Ib2 et Ib4, présentent une richesse spécifique plus modeste, avec seulement 2 espèces identifiées dans chaque station.

Ces stations les plus diversifiées partagent plusieurs caractéristiques écologiques favorables à la biodiversité. Elles se distinguent par des eaux à courant modéré, une largeur du lit relativement importante, et un substrat hétérogène. Ce dernier constitue une mosaïque de micro-habitats variés, offrant ainsi des conditions propices à la colonisation et au maintien d'une plus grande diversité d'espèces. Cette combinaison de facteurs environnementaux explique en partie la distribution des Odonates dans la région.

L'hydropériode des stations étudiées est majoritairement permanente, à l'exception de la station 2 d'Oued Ibikan Ib2 qui est temporaire. L'occupation spatiale des sites est caractérisée par un type forestier, avec une végétation riveraine abondante. Cette végétation est dominée par des espèces comme *Typha latifolia* et *Malus domestica* dans les stations de l'Oued Lazrag, tandis que les stations Ib2 et Ib4 présentent une couverture de *Juniperus* et de *Stipa tenacissima*. Plus particulièrement, l'Oued Lazrag se distingue par un couvert végétal forestier dense, où les zones forestières jouent un rôle crucial pour les Odonates.

Selon (Subramanian et al., 2008), les zones forestières denses offrent des abris pour la dispersion des Odonates et créent divers habitats nécessaires à leur alimentation et reproduction. De manière similaire, Buchwald (1992) souligne que la végétation constitue un élément essentiel pour les Odonates adultes, en leur fournissant des refuges et des sites propices à leurs cycles biologiques. En effet, la végétation riveraine semble avoir un impact direct sur la diversité faunistique, car elle enrichit la diversité des habitats disponibles, comme l'ont également rapporté (Oertli et al., 2002).

Ces observations concordent avec les travaux de (Bouchelouche, 2015), qui suggère que la richesse spécifique des communautés d'Odonates est positivement corrélée avec la densité de la végétation riveraine. Cela met en évidence l'importance de la végétation dans le maintien et la structuration de la biodiversité aquatique et terrestre associée aux cours d'eau.

La station 3 de l'Oued Ibikan Ib3 ne présente qu'une seule espèce d'Odonate, ce qui reflète une très faible richesse spécifique. Cette pauvreté en biodiversité peut être attribuée principalement à divers impacts anthropiques. Parmi ceux-ci figurent les rejets domestiques urbains, qui contribuent à la pollution de l'eau, et la présence de retenues d'eau, qui altèrent le régime d'écoulement naturel du cours d'eau. D'autres facteurs incluent le pompage de l'eau, l'accumulation de déchets solides issus des travaux de construction de pistes, ainsi que la dégradation des habitats riverains.

Les zones affectées par ces impacts anthropiques présentent généralement une biodiversité réduite en Odonates. La richesse spécifique des insectes aquatiques est inversement corrélée à l'intensité des perturbations environnementales. La pollution, ainsi que la dégradation des écosystèmes riverains, affectent non seulement la diversité des espèces mais entraînent également une érosion de la biodiversité globale des Odonates. Ces observations confirment les résultats de (Bouchelouche, 2015), qui souligne que la pollution et les activités humaines dégradantes impactent négativement les communautés d'Odonates.

De plus, ces conclusions sont cohérentes avec les travaux de Ferreras-Romero et al. (2009), qui ont démontré que les pollutions urbaines et agricoles influencent de manière significative et négative la composition et la diversité des communautés d'Odonate. Cela met en évidence l'importance de préserver les habitats naturels et de réduire les pressions anthropiques pour favoriser le maintien de cette biodiversité.

Les autres stations, où aucune espèce n'a été observée, se caractérisent par des perturbations hydrologiques significatives, notamment des périodes d'assèchement partiel ou total. Ces perturbations sont aggravées par des activités humaines, telles que l'élevage intensif de bétail et le pompage excessif d'eau, pratiqué de manière non durable. Une étude portant sur le peuplement des Odonates dans le bassin versant du Kebir-Est, situé dans le nord-est de l'Algérie, confirme une tendance similaire.

Les résultats montrent que la richesse spécifique des Odonates est négativement corrélée à la durée de l'hydropériode. Cela signifie que les Odonates évitent les sites où les périodes

d'assèchement sont longues, surtout lorsque ces conditions sont combinées à des niveaux élevés d'impacts anthropiques (Satha & Samraoui, 2017). Ces conclusions mettent en évidence l'importance de la disponibilité continue en eau et d'un impact anthropique réduit pour la préservation de ces communautés biologiques.

La figure 49 illustre la distribution des Odonates dans les différentes stations étudiées, tandis que le tableau 7 ci-dessous présente leur phénologie ainsi que les localités où ces insectes ont été recensés.

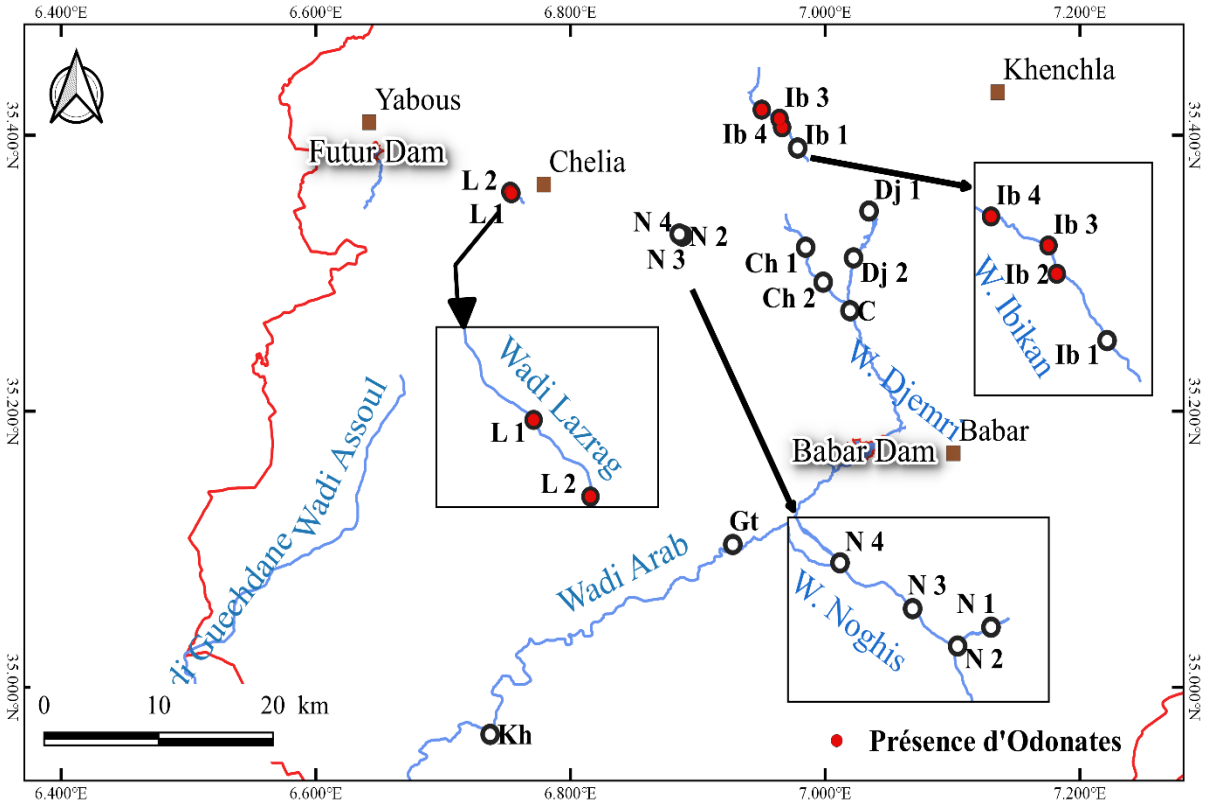


Figure 49 : Cartographie de la distribution des Odonates dans les stations d'étude.

Tableau 7 : Phénologie et liste de localité des Odonates recensés.

Espèce	Phénologie	Localités
Calopteryx haemorrhoidalis (Vander Linden, 1825)	Janvier-Février-Mars-Mai-Juin-Octobre-Novembre-Décembre	L1, L2, Ib 2, Ib 4
Platycnemis subdilatata (Selys, 1849)	Février-Mai-Juin-Octobre-	L1, L2
Onychogomphus uncatus (Charpentier, 1840)	Janvier-Février-Mars-Mai-Juin -Juillet-Aout-Septembre-Octobre-Novembre-Décembre	L1, L2, Ib 2, Ib 3, Ib 4
Orthetrum coerulescens (Fabricius, 1798)	Janvier-Juin-Octobre	L1, L2

IV.4. Structure et Organisation des peuplements des Trichoptères

IV.4.1. Analyse globale du peuplement

Dans le cadre de notre étude, les campagnes d'échantillonnage réalisées sur les différentes stations de prospection ont permis de collecter un total de 752 individus. Ces spécimens appartiennent à trois familles distinctes, regroupant sept espèces au total. Cette répartition témoigne d'une diversité spécifique modérée, caractéristiques des zones échantillonnées. Ces résultats offrent une base précieuse pour mieux comprendre la composition et la structure des communautés biologiques présentes dans les habitats étudiés, tout en fournissant des informations utiles pour évaluer la qualité écologique de ces milieux. Voilà une liste taxonomique de la faune de Trichoptère (Tableau 8).

Tableau 8 : Liste taxonomique de la faune de Trichoptère dans la région d'étude.

Embranchement	Classe	Ordres	Familles	Espèces
Arthropodes	Insectes	Trichoptères	Polycentropidae	*Plectrocnemia sp.*
			Hydropsychidae	*Hydropsyche maroccana Navas 1936*
				Hydropsyche obscura
				Hydropsyche lobata
				Hydropsyche siltalai
				Hydropsyche iberomaroccana
			Limnephilidae	*Limnephilus sp.*

IV.4.2. Abondance des familles et des espèces recensées

Parmi les Trichoptères collectés, la famille des Hydropsychidae se distingue comme étant la plus dominante, représentée par quatre espèces et totalisant 637 individus, ce qui correspond à une abondance remarquable de 85 % de l'ensemble du peuplement. En second position, on retrouve la famille des Limnephilidae, avec un effectif significatif de 110 individus, soit 14 % de la faune. Enfin, les autres familles de Trichoptères, beaucoup moins représentées, totalisent 14 individus, ce qui correspond à seulement 1 % de l'abondance totale.

En examinant les espèces plus en détail, il apparaît que *Hydropsyche maroccana Navás*1936 est l'espèce la plus abondante, avec un effectif de 495 individus, représentant à elle seule 66 % de la population totale de Trichoptères prélevés. L'espèce *Hydropsyche obscura* occupe la deuxième place avec 131 individus, soit 17 % des spécimens collectés. En troisième position, on trouve une espèce de la famille des Limnephilidae, *Limnephilus sp* qui représente 15 % du total, avec un effectif de 110 individus (Figure 50).

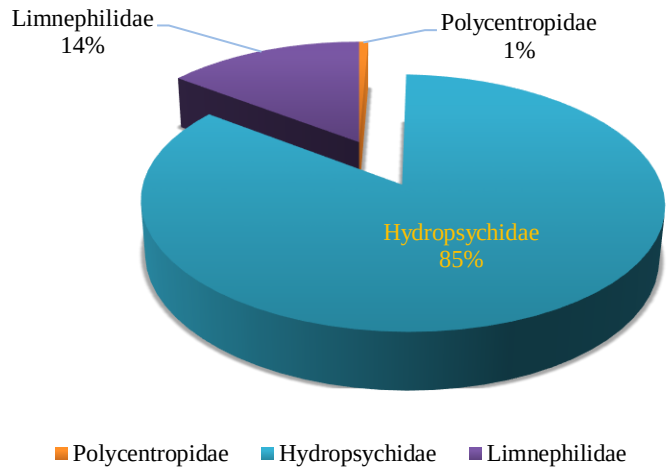


Figure 50 : L'abondance des familles des Trichoptères de la région d'étude.

Les autres espèces recensées, à savoir *Hydropsyche iberomaroccana*, *Plectrocnemia sp*, *Hydropsyche lobata*, et *Hydropsyche siltalai*, sont beaucoup moins abondantes. Ensemble, elles ne totalisent que 16 individus, soit environ 2 % de la faune récoltée. Leur faible abondance met en évidence la nette domination des espèces principale au sein de ce peuplement de Trichoptères. Cette répartition illustre un peuplement fortement déséquilibré, où une espèce principale *Hydropsyche maroccana Navás1936* domine nettement, suivie de quelques espèces en proportions moindres et d'un groupe résiduel d'espèces très peu abondante (Figure 51).

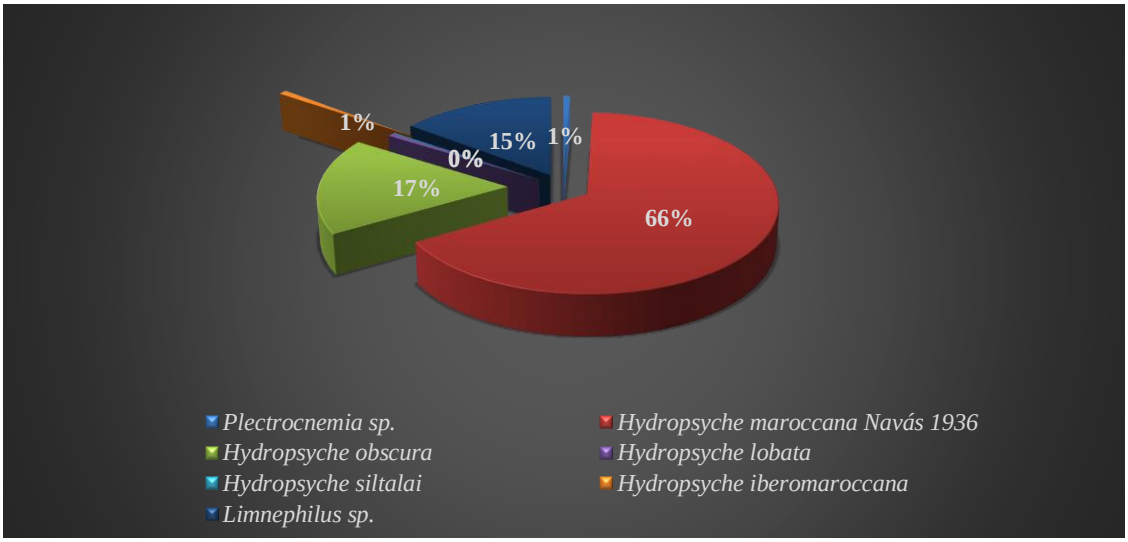


Figure 51 : L'abondance relative des taxons des Trichoptères de la région d'étude.

IV.4.3. Fréquence des espèces recensées

L'analyse de la fréquence d'occurrence des Trichoptères récoltés dans les 17 stations d'étude révèle qu'*Hydropsyche obscura* est l'espèce la plus répandue, avec une fréquence de présence de 50 %. Cela signifie qu'elle a été retrouvée dans la moitié des sites de prélèvement, ce qui en fait une espèce dominante dans cette étude. Elle est suivie par *Hydropsyche maroccana Navás1936*, *Polycentropus sp* et *Limnephilus sp* qui montrent une fréquence intermédiaire, chacune étant présente dans 33,33 % des stations. En revanche, les autres taxons recensés, tels qu'*Hydropsyche siltalai*, *Hydropsyche iberomaroccana* et *Hydropsyche lobata*, sont beaucoup moins fréquents, avec des taux de présence respectifs de 16,66 % et 8,33 % (Tableau 9).

Selon la classification de (Dajoz, 1985), les espèces recensées durant la période d'étude peuvent être réparties en trois catégories en fonction de leur fréquence :

- **Espèce fréquente** : *Hydropsyche obscura*, grâce à sa large distribution sur les sites étudiés.
- **Espèce commune** : *Hydropsyche maroccana Navás 1936* et *Polycentropus sp* qui bien qu'intermédiaire, montrent une présence significative.
- **Espèces accessoires** : les taxons moins fréquemment rencontrés, à savoir *Hydropsyche siltalai*, *Hydropsyche iberomaroccana*, et *Hydropsyche lobata*, en raison de leur faible occurence dans les échantillons. Cette classification met en lumière la dominance écologique d'*Hydropsyche obscura* dans le réseau hydrologique étudié et la contribution moindre des autres espèces, qui apparaissent de manière plus sporadique.

Tableau 9 : Fréquence des espèces recensées.

Espèces	*Plectrocnemia* sp.	*Hydropsyche maroccana* Navás 1936	*Hydropsyche obscura*	*Hydropsyche lobata*	*Hydropsyche siltalai*	*Hydropsyche iberomaroccana*	Limnephilus sp.	Total
Effectif	5	495	131	4	1	6	110	752
Ar %	0,66%	65,82	17,42	0,53	0,13	0,8	14,63	/
Fr	33,33	33,33	50	8,33	8,33	16,66	25	

IV.4.4. Analyse de la distribution spatiale du peuplement Trichoptère

V.4.4.1. Abondance des espèces

Les résultats de notre étude révèlent que les stations de prospection hébergent une diversité notable et une abondance importante de Trichoptères. Parmi celles-ci, la station S2 de l'Oued Lazrag (L2) se distingue comme la plus riche en individus, avec un total de 411

spécimens, représentant 55 % de l'ensemble des populations de Trichoptères observées. En deuxième position, la station S1 de l'Oued Ibikan (Ib1) abrite 110 individus, soit 15 % du peuplement total (Figure 52).

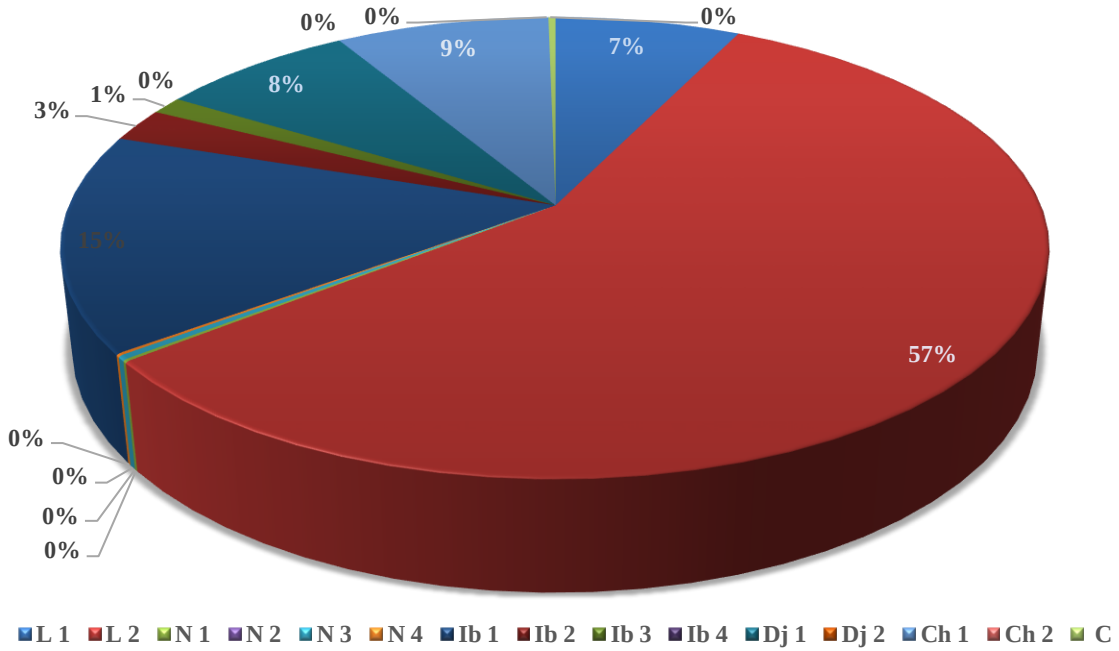


Figure 52 : Abondance relative de Trichoptère présents dans les stations de prospection.

Les stations S1 de l'Oued Lazrag (L1), S1 de l'Oued Djemri (Dj1) et S1 de l'Oued Chindgouma (Ch1) présentent des densités plus faibles, avec des proportions respectives de 8 % et 7 %, correspondant à un effectif cumulé de 167 spécimens. Enfin, les autres stations étudiées affichent une présence très réduite de Trichoptères, avec un total combiné de seulement 64 spécimens (Figure 53). Ces observations mettent en évidence une répartition inégale des populations de Trichoptères entre les stations, probablement influencée par des facteurs environnementaux locaux tels que la qualité de l'eau, la disponibilité des habitats et les conditions hydrologiques spécifiques à chaque site.

IV.4.4.2. La richesse taxonomique

La richesse taxonomique des Oueds de la région de Khenchela, comparée à celle d'autres régions d'Algérie appartenant au bassin méditerranéen, s'avère relativement faible. Nous avons recensé seulement 7 taxons dans cette région. Parmi les sites étudiés, les stations S2, S3 ainsi que celles de l'Oued Ibikan (Ib2, Ib3) se distinguent par une plus grande diversité taxonomique.

Cependant, bien que ces stations soient les plus diversifiées, elles présentent des effectifs très réduits en termes d'abondance. Ces sites sont situés à des altitudes élevées, où les cours d'eau se caractérisent par une eau relativement fraîche et une végétation riveraine dense, dominée par des espèces telles que *Juniperus* et *Quercus robur*.

En revanche, les autres sites étudiés affichent une diversité bien plus limitée, avec une richesse taxonomique comprise entre 1 et 2 taxons seulement. L'abondance y est également faible, ce qui reflète des conditions écologiques probablement moins favorables à la colonisation et au développement d'une grande diversité d'espèces aquatique (Figure 53).

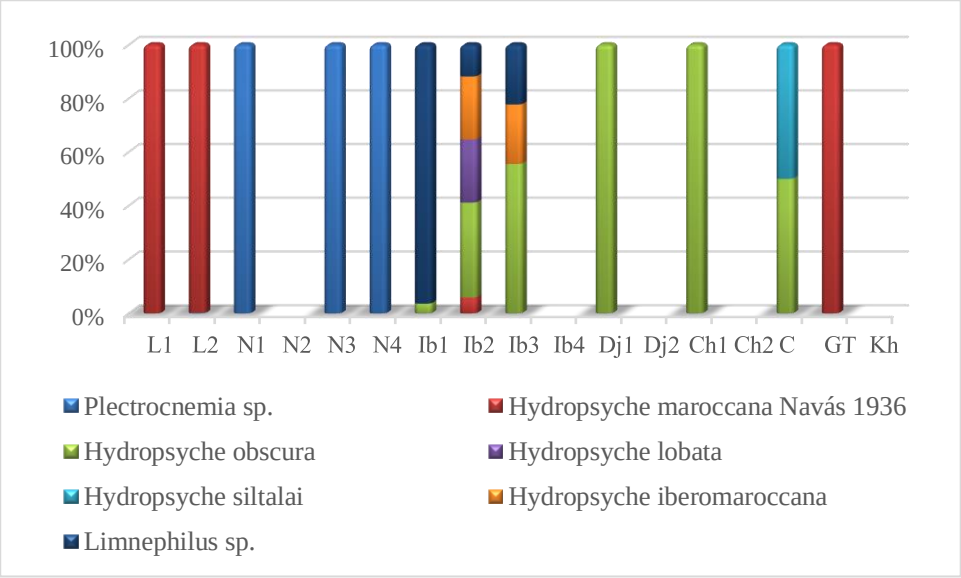


Figure 53 : L'effectif des espèces Trichoptères en fonction des stations d'étude.

Par rapport aux origines biogéographiques, l'ensemble des Trichoptères identifiés au niveau spécifique appartient à la région ouest-paléarctique. Parmi ces espèces, 62,5 % (soit cinq sur un total de huit) sont d'origine méditerranéenne, l'ordre des Trichoptères présente une grande diversité en Méditerranée occidentale, notamment dans la péninsule Ibérique, où environ 342 espèces ont été recensées. Ces résultats sont en accord avec les observations de (Mabroki et al., 2020), qui ont mis en évidence que la faune invertébrée de la région méditerranéenne présente des affinités biogéographiques plus marquées avec les espèces paléarctiques européennes qu'avec celles issues d'autres régions celles-ci sont réparties au sein de 75 genres et 22 familles.

Par ailleurs, à l'exception des espèces endémiques, toutes les autres espèces de Trichoptères recensées au Maghreb sont également signalées dans plusieurs pays méditerranéens voisins, notamment en Espagne, au Portugal, en France et en Italie

(Benmmoussat-Dekkak et al., 2021). Plus précisément, l'Espagne abrite 327 espèces, tandis que le Portugal en compte 185 et la principauté d'Andorre 60 (González & Martínez, 2011). Les schémas de distribution des Trichoptères en Europe ont révélé une corrélation significative entre la richesse spécifique des espèces lotiques et la présence de zones montagneuses, comme l'a démontré l'étude de (Wiberg-Larsen, 2008).

Ce groupe est fortement influencé par les conditions climatiques, car les cours d'eau dépendent directement des précipitations, qui jouent un rôle essentiel dans l'augmentation de leur débit et le renouvellement de l'eau, la variation du débit influencée par des facteurs naturels et anthropiques (Wills et al., 2006). Ainsi que la pollution issue des diverses sources de contamination affectant significativement sa dynamique et sa répartition (Mare Rosca et al., 2008) et cause des modifications du régime hydrologique.

Cependant, l'étude de Boucenna et al. en 2023, s'inscrit dans ce cadre, apportant une contribution significative à la compréhension des Trichoptères du nord-est de l'Algérie, car l'échantillonnage a été effectué dans quatre régions distinctes , à savoir : Collo dans la wilaya de Skikda, où le climat est humide et la couverture forestière dense ; Batna, située dans l'Aurès occidental, région de haute altitude caractérisée par sa grande diversité topographique ; Khenchela, localisée dans l'Aurès oriental, plus sec, avec des rivières à courant rapide ; et enfin, Oum El Bouaghi, Hauts Plateaux semi-arides, principalement axé sur l'agriculture en collaboration de plusieurs collègues doctorants du Laboratoire de conservation des zones humides (LCZH), sous la direction des professeurs Samraoui F. et Samraoui B.

3647 spécimens de 22 taxons issus de 9 familles et 14 genres sont rassemblés, collectés sur 76 sites différents. La famille Hydropsychidae est la plus représentative, dominée par les espèces *Hydropsyche maroccana* avec 44,2 % de contribution et *Hydropsyche lobata* avec moins de la moitié de l'effectif qui est de 20,9 %. Les zones de Collo et Batna se sont avérées être les plus riches en termes de spécificité, alors qu'Oum El Bouaghi affiche les regroupements les moins fournis.

Les analyses multivariées NMDS (*Non-Metric Multidimensional Scaling*) et la PERMANOVA (*Permutational Multivariate Analysis of Variance*) ont révélé des unités régionales distinctes, principalement déterminés par la vitesse du courant, la profondeur de l'eau, la présence d'hélophytes et l'usage des terres. Ainsi : Collo hébergeait une communauté

forestière particulière incluant des espèces vulnérables (*C. marginata, H. morla, R. munda, W. algirica*) ,
Batna affichait la plus grande diversité et un équilibre fonctionnel optimal ; Khenchela hébergeait des espèces adaptées aux habitats à courant rapide (*H. iberomaroccana, Limnephilus sp.*) ; Oum El Bouaghi se caractérisait par des taxons capables de supporter des conditions semi-arides et impactées par l'activité humaine.

L'analyse a aussi révélé une endémicité régionale marquée (Maghrébine et Ibero-Maghrébine) et met en avant la nécessité de préserver ces écosystèmes pour protéger des espèces rares ou spécifiques. Les écrivains soulignent l'importance d'inclure ces informations dans les plans de gestion durable et de préservation des rivières du nord-est algérien, notamment dans les régions encore peu protégées telles que les Aurès et Collo.

La composition des communautés de Trichoptères peut être fortement influencée par les activités humaines, notamment par la destruction ou l'altération des habitats naturels, ainsi que par diverses formes de pollution. Parmi celles-ci, la pollution organique représente une menace majeure pour la diversité des Trichoptères, ces insectes étant particulièrement sensibles aux apports excessifs de matière organique dans les écosystèmes aquatiques (Basaguren & Orive, 1990a, 1990b).

La diversité taxonomique des Trichoptères dans les bassins versants de la wilaya de Khenchela apparaît relativement faible en comparaison avec d'autres régions d'Algérie, du Maroc et d'Europe. En effet, seules 18 et 19 espèces ont été recensées respectivement dans les massifs des Aurès et du Djurdjura, selon les travaux de (Dambri et al., 2020) et (Lamine, 2021). À l'échelle régionale, la richesse spécifique des Trichoptères du Maroc se révèle nettement plus élevée, avec notamment 41 espèces identifiées dans la région du Rif (Hajji et al., 2013) et 46 espèces répertoriées dans le Moyen-Atlas (Dakki, 1987). Ces variations de richesse taxonomiques pourraient être influencées par plusieurs facteurs, notamment les conditions hydrologiques, les caractéristiques écologiques locales et les pressions anthropiques exercées sur les écosystèmes aquatiques.

La diminution de la richesse taxonomique observée dans notre zone d'étude pourrait être attribuée à un effort d'échantillonnage insuffisant. Pour pallier cette limitation, il serait pertinent de mettre en place une approche plus approfondie incluant l'utilisation de technique d'échantillonnage diversifiées, la réalisation de campagnes répétées sur chaque site afin de

mieux capturer la variabilité spatiotemporelle des communautés, l'exploration de nouveaux habitats potentiellement sous-échantillonnés et l'amélioration de l'accès aux sites actuellement difficiles d'accès, ce qui permettrait une évaluation plus représentative de la biodiversité locale.

Le peuplement de Trichoptères dans la wilaya de Khenchela présente une abondance relativement grande avec trois familles recensées, mais une richesse spécifique relativement faible. Les sites les plus riches en espèces sont généralement situés dans des zones montagneuses, caractérisée par un courant rapide et une végétation riveraine dense, offrant ainsi des conditions écologiques favorables au développement de ces macroinvertébrés.

En revanche, les sites présentant une faible diversité et une abondance réduite en Trichoptères se trouvent principalement dans le bassin versant sud de la région. Ces zones incluent des milieux semi-urbains, ruraux et agricoles, où les conditions environnementales sont fortement influencées par les activités anthropiques. En effet, les rejets domestiques issus des habitations, ainsi que les effluents d'élevage et d'exploitation agricole, contribuent significativement à la dégradation de la qualité de l'eau. Cette pollution affecte négativement la survie et la diversité des Trichoptères, limitant leur présence à des espèces plus tolérantes aux perturbations environnementales.

Les Hydropsychidés constituent l'une des familles de Trichoptères les plus répandues à l'échelle mondiale, avec une grande diversité d'espèces qui se succèdent le long du gradient longitudinal des écosystèmes fluviaux. Il s'agit d'une famille cosmopolite comprend environ 1 500 espèces décrites**.** La sous-famille des Hydropsychinae regroupe 19 genres présents dans toutes les régions biogéographiques du monde, notamment *Hydropsyche Pictet* (environ 275 espèces) et *Cheumatopsyche Wallengren* (environ 260 espèces) (Holzenthal et al., 2007).

Ces insectes aquatiques sont particulièrement abondants et occupent une variété de microhabitats en fonction des conditions locales, les larves d'Hydropsychidés se développent principalement sur des substrats pierreux dans des cours d'eau caractérisés par une vitesse d'écoulement modérée à élever. Toutefois, certaines espèces peuvent également coloniser d'autres supports tels que les macrophytes aquatiques ou les débris ligneux submergés, notamment lorsque les conditions du substrat principal sont inadaptées cette famille a été établie par **(**Curtis, 1835). Ces larves sont des organismes filtreurs, construisant des filets soyeux leur permettant de capturer le matériel en suspension dans le courant. La taille du maillage de ces filets varie selon l'espèce et la position de celle-ci dans le continuum fluvial.

En règle générale, les espèces vivant en amont possèdent un maillage plus large, adapté à une plus grande disponibilité de particules grossières, tandis que les espèces situées en aval présentent un maillage plus fin, optimisé pour filtrer les particules plus petites présentes dans ces sections du cours d'eau. La morphologie des filets de capture peut être influencée par divers facteurs environnementaux, notamment la température et la qualité de l'eau. Par exemple, la présence de métaux lourds dans le milieu aquatique peut induire des déformations structurelles de ces filets, ce qui peut impacter l'efficacité de la filtration et, par conséquent, la croissance des larves (Vieira-Lanero, 2000).

En ce qui concerne leur cycle de vie, les Hydropsychidés présentent une période d'émergence généralement comprise entre le printemps et l'automne, bien que certaines espèces puissent également émerger en hiver, selon les conditions climatiques et la latitude, l'émergence des adultes est souvent synchronisée avec les variations saisonnières des températures et du débit des rivières, garantissant ainsi des conditions optimales pour la reproduction et la dispersion des populations (Graf et al., 2008).

En Algérie, la famille des Hydropsychidae est représentée par 13 espèces, dont la majorité est concentrée dans le massif du Djurdjura. Dans notre zone d'étude, située dans la wilaya de Khenchela, cette famille constitue le groupe dominant avec une prévalence remarquable de 85 % du peuplement de macroinvertébrés benthiques recensés. Cinq espèces ont été identifiées dans cette région, faisant des Hydropsychidae la famille la plus diversifiée et abondante parmi les Trichoptères présents. Cette dominance peut être attribuée aux conditions écologiques favorables de la région, notamment la qualité des eaux et la disponibilité de substrats propices à leur développement.

Hydropsyche maroccana Navás 1932 la première mention dans la wilaya de Khenchela, *Hydropsyche maroccana* est une espèce de Trichoptère endémique de l'Afrique du Nord et des îles Canaries, initialement décrite par (Bonada et al., 2004). En Algérie, sa présence a été documentée pour la première fois dans les montagnes du Djurdjura ainsi que dans le bassin de la rivière Chelif, selon les travaux de (Malicky et Lounaci, 1987) et (Arab et al., 2004).

Au cours des dernières années, plusieurs nouvelles observations ont enrichi la répartition connue de cette espèce à travers le pays. (Samraoui et al., 2020) ont signalé sa présence dans la rivière Seybouse, située dans le nord-est de l'Algérie. (Dambri et al., 2020) ont également rapporté son existence dans les montagnes des Aurès, une région montagneuse de l'est du pays.

Par ailleurs, (Bemmoussat-Dekkak et al., 2021a) ont mentionnée sa découverte dans la rivière Tafna, une importante rivière du nord-ouest algérien.

D'autres études plus récentes ont permis d'élargir d'avantages les connaissances sur sa distribution. Ainsi, (Khettar et al., 2022) ont confirmé sa présence dans la rivière El-Harrach, un cours d'eau situé au nord-centre de l'Algérie, dans une région fortement anthropisée. Enfin, (Boucenna H et al., 2023) ont enregistré cette espèce dans le massif de Collo, une zone montagneuse côtière du nord-est algérien, renforçant ainsi les preuves de sa large répartition dans divers habitats aquatiques du pays.

Hydropsyche lobata McLachlan, 1884 est une espèce de Trichoptère à distribution restreinte à la région ibéro-maghrébine. Sa présence en Afrique du Nord est confirmée uniquement au Maroc et en Algérie (Bonada et al., 2008 ; Tobias & Tobias, 2008). En Algérie, cette espèce a été signalée pour la première fois dans le bassin de la rivière Chelif, au nord-ouest du pays (Arab et al., 2004). Par la suite, elle a été recensée dans les montagnes du Djurdjura, en Kabylie (Sekhi et al., 2016 ; Lamine, 2021), ainsi que dans la rivière Seybouse, située au nord-est de l'Algérie (Samraoui et al., 2020). Plus récemment, sa présence a également été attestée dans le bassin versant de la Tafna, au nord-ouest du pays (Bemmoussat-Dekkak et al., 2021a). Cette étude rapporte, pour la première fois, l'occurrence de *Hydropsyche lobata* dans la wilaya de Khenchela, élargissant ainsi son aire de distribution connue en Algérie.

Hydropsyche siltalai est une espèce sténotherme et rhéophile, préférant les eaux courantes, bien oxygénées et de grande clarté, colonisant des habitats caractérisés par un substrat grossier, composé principalement de blocs et de cailloux, où le courant est soutenu. Les microhabitats occupés par cette espèce sont dépourvus de végétation aquatique, bien que la végétation riveraine y soit particulièrement dense, jouant potentiellement un rôle dans la stabilisation des berges et la filtration des matières en suspension. Les larves de cette espèce ont été collectées à des altitudes relativement élevées, variant entre 723 et 1 065 mètres. Cette distribution en altitude suggère une certaine sensibilité aux paramètres environnementaux, notamment à la température et à la qualité des eaux. Ces observations confirment l'affinité écologique d'*Hydropsyche siltalai* pour des milieux lotiques spécifiques et renforcent l'importance de la conservation des cours d'eau non dégradés pour le maintien de cette espèce (Graf et al., 2008).

Hydropsyche siltalai est une espèce s'étendant à la fois sur l'ensemble du continent européen et sur l'Anatolie. En Europe, cette espèce de Trichoptère est principalement associée aux environnements sub-montagnards, où elle colonise les cours d'eau situés à des altitudes comprises entre 200 et 800 mètres. Toutefois, certaines populations peuvent être observées à des altitudes plus basses, descendant parfois en dessous de 200 mètres, notamment dans des ruisseaux de basse montagne avec des conditions écologiques favorables (Bonada et al., 2004).

Hydropsyche obscura Navás 1928, première mention dans la wilaya de Khenchela dans les sites (Ib1, Ib2, Ib3) Oued Ibikan, Dj1, Ch1 et C dans des altitudes varie entre 1280 m et 1176 m ces derniers caractérisés par un courant d'eau vif, une végétation riveraine très dense et le substrat est hétérogène composé principalement de sable, pierres et blocs. *Hydropsyche obscura* est une espèce typique des hautes altitudes et des sources froides. Elle est souvent associée aux ruisseaux et aux petits cours d'eau propres. Les larves ont été collectées dans des sites situés entre 854 et 1065 mètres d'altitude, où la température de l'eau varie de 13 à 17,3 °C. Cette espèce présente un caractère rhéophile, préférant les zones à courant rapide (1,2 à 1,75 m/s) et cohabite fréquemment avec *H Hydropsyche siltalai* et *Hydropsyche fezana* (Bemmoussat-Dekkak et al., 2021).

Cette espèce est endémique de l'Afrique du Nord en Algérie, *Hydropsyche obscura* a été signalée principalement en Grande Kabylie. Au Maroc, sa présence est confirmée dans le Haut Atlas et le Rif. Cette distribution restreinte souligne l'importance de la conservation de ses habitats spécifiques pour assurer la survie de l'espèce. Les larves de *Hydropsyche obscura* mesurent entre 11,5 et 12 mm de longueur au cinquième stade larvaire. Elles présentent une tête et un pronotum de couleur sombre, avec une apotomie frontoclypéale ornée de deux taches antérolatérales claires. Les parties latérales du submentum sont courtes et larges, et les prosternites sont pigmentés (Bemmoussat-Dekkak et al., 2021).

Hydropsyche iberomaroccana est une espèce de Trichoptère appartenant à la famille des Hydropsychidae. Décrite en 1999 par González et Malicky, présente dans la région du Maghreb, notamment en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Plus précisément, douze espèces du genre *Hydropsyche* sont recensées au Maghreb : six en Tunisie, huit au Maroc et onze en Algérie. Dans notre site d'étude, c'est sa première mention dont elle se trouve seulement dans les deux sites d'Oued Ibikan (Ib2, Ib3) qui se caractérisent par un courant d'eau rapide et une végétation riveraine très dense et par conséquent, le site est très ombragé, le substrat est hétérogène

composé principalement de sable, pierres et blocs où elles fixent leurs abris sur les substrats rocheux. Les adultes se trouvent généralement sur la végétation riveraine et sont attirés par les sources lumineuses artificielles. Il est important de noter que la tolérance à la pollution varie considérablement parmi les différentes espèces du genre *Hydropsyche*. Certaines sont sensibles aux changements environnementaux, tandis que d'autres montrent une plus grande tolérance.

Les espèces appartenant à la famille des Polycentropidae sont des Trichoptères carnivores qui habitent principalement des environnements d'eau douce caractérisés par une faible vitesse d'écoulement, comme les zones calmes des rivières et les lacs. Elles privilégient des substrats composés de cailloux et de pierres, auxquels elles fixent leurs structures de capture. Ces insectes aquatiques construisent des filets de soie spécialisés, solidement attachés au substrat, qui jouent un rôle clé dans leur stratégie d'alimentation. Ces filets, en forme de poche, servent à intercepter passivement des proies vivantes transportées par le courant. En plus de leur fonction de collecte passive, ces structures peuvent également agir comme des pièges actifs « snare », permettant aux larves de capturer des proies de manière plus efficace (Edington & Hildrew, 1981).

L'espèce *Plectrocnemia sp* de genre *Plectrocnemia* aussi appelé « phryganes », est un insecte aquatique proche des papillons et souvent utilisé comme bio-indicateur de la qualité de l'eau. Morphologiquement, ce sont de petits insectes avec des ailes membraneuses et velues, antennes filiformes, souvent plus longues que le corps, larves construites en forme allongée, adaptées à la vie benthiques (Malicky, 2004).

Dans la zone d'étude, cette espèce est majoritairement présente sur les sites de l'Oued Noghis, tandis qu'un seul individu a été recensé sur le site L2 de l'Oued Lazrag. Il s'agit du premier signalement de cette espèce dans la wilaya de Khenchela. Elle est généralement observée sous les pierres ou au sein de substrats riches en matière organique, ainsi que dans des cours d'eau caractérisés par un courant modéré à fort. La présence de cette espèce est un indicateur de la bonne oxygénation du milieu aquatique.

À l'état larvaire, ces insectes adoptent un mode de vie principalement prédateur, se nourrissant d'autres invertébrés aquatiques. En revanche, les adultes présentent un régime alimentaire très réduit, ne se nourrissant généralement pas ou consommant uniquement des liquides sucrés (Chauvin & Guillet, 2005).

La famille des Limnephilidae est l'une des plus diversifiées parmi les Trichoptères, avec une large distribution qui lui permet de coloniser une grande variété d'habitats aquatiques. Ses

représentants se rencontrent aussi bien dans des écosystèmes lotiques (rivières, ruisseaux à courant rapide) que lentiques (lacs, lagunes, étangs et bras morts de rivières), couvrant un large spectre thermique allant des eaux froides et oxygénées des zones montagneuses aux eaux plus tempérées et stagnantes des plaines (Wallace et al., 1990).

L'adaptation morphologique et comportementale des larves de Limnephilidae varie en fonction des caractéristiques hydrodynamiques de leur habitat. Dans les milieux lotiques à courant rapide, elles construisent leurs fourreaux en utilisant principalement des fragments minéraux (graviers, petits galets) pour conférer une meilleure stabilité à leur structure et éviter d'être entraînées par le flux de l'eau. Certaines espèces adoptent également une stratégie d'alourdissement en fixant des pierres plus massives à l'extrémité postérieure de leur fourreau, ce qui renforce leur ancrage au substrat et réduit le risque de dérive.

À l'inverse, dans les milieux lentiques ou à faible courant, les larves privilégient l'utilisation de matériaux végétaux (fragments de feuilles, brindilles, morceaux d'écorces), ce qui rend leur fourreau plus léger et mieux adapté aux eaux calmes. Dans certaines conditions intermédiaires, notamment en présence de courants modérés, elles peuvent incorporer des éléments végétaux plus rigides (morceaux de branches, fragments de racines) pour modifier l'hydrodynamisme de leur fourreau et optimiser leur stabilité tout en facilitant leur dispersion passive dans le courant (Oscoz et al., 2011). Ainsi, cette plasticité dans la construction du fourreau confère aux Limnephilidae une grande capacité d'adaptation, leur permettant d'exploiter des habitats variés et d'occuper une niche écologique importante au sein des écosystèmes d'eau douce.

L'espèce *Limnephilus sp* a été signalée pour la première fois au cours de notre cycle d'étude. Sa présence a été observée exclusivement dans l'Oued Ibikan, plus précisément sur les stations Ib1, Ib2 et Ib3, située à une altitude de 1280 mètres. Cet habitat se caractérise par une eau fraîche, bien oxygénée et propice au développement des macroinvertébrés benthiques, ce qui suggère des conditions environnementales favorables à cette espèce.

La figure 54 illustre la distribution des Trichoptères dans les différentes stations étudiées, tandis que le tableau 10 ci-dessous présente leur phénologie ainsi que les localités où ces insectes ont été recensés.

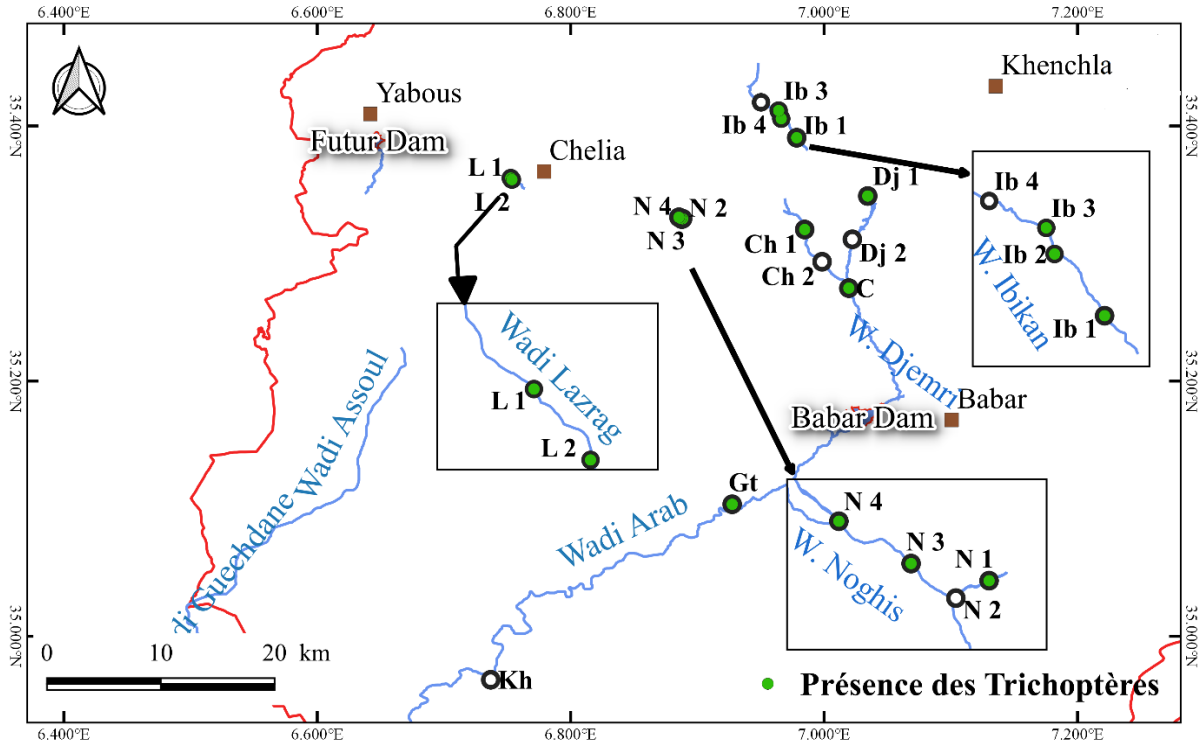


Figure 54 : Cartographie de La distribution des Trichoptères dans les stations d'étude.

Tableau 10 : Phénologie et liste de localité des Trichoptères recensés dans les stations d'étude.

Famille	Espèce	Phénologie	Localité
Polycentropidae	***Plectrocnemia* sp.**	Janvier-Mars-Juin-Juillet	L 2, N 1, N 3, N 4
Hydropsychidae	***Hydropsyche maroccana* Navás 1936**	Janvier-Février-Mars-Mai-Juillet-Avril-Juin-Aout-Septembre-Octobre-Décembre	L1, L2, Ib 2, Gt
	Hydropsyche obscura	*Octobre-Avril*	Ib 1, Ib 2, Ib 3, Ch 1, C
	Hydropsyche lobata	*Mars-*	Ib 2
	Hydropsyche siltalai	*Avril*	C
	Hydropsyche iberomaroccana	*Aout-Juillet-Mars-Novembre--*	Ib 2, Ib 3
Limnephilidae	***Limnephilus sp.***	Janvier-Octobre-Mars-Avril-Février-	Ib 1, Ib 2, Ib 3

IV.5. Ordre d'Hémiptère

De nombreuses recherches ont porté sur la faune des Hémiptères-Hétéroptères aquatiques en Afrique, en particulier en Afrique du Nord. En Algérie, les premières études remontent aux travaux pionniers de (Poisson, 1926), suivis de ses nombreuses publications ultérieures (1928, 1929a, 1933a, 1938, 1939, 1940), ainsi que des travaux de (Eckerlein & Wagner, 1965). Ces chercheurs ont principalement axé leurs travaux sur les écosystèmes d'eau douce du nord du

pays, couvrant des zones comme les rivières, mares temporaires, lacs naturels et artificiels, et barrages répartis sur le littoral, les chaînes montagneuses des Aurès, de l'Ouarsenis, des Hauts-plateaux et de l'Atlas Saharien.

Selon Poisson 1926 les Hétéroptères aquatiques peuvent coloniser divers milieux d'eau douce, allant des vastes marécages et tourbières aux petits points d'eau comme les mares ou ruisseaux temporaires. Leur extraordinaire capacité d'adaptation est due à des caractéristiques morphologiques et physiologiques spécifiques, telles que des pelotes de soies hydrofuges sur les pattes pour flotter, des soies natatoires pour se propulser dans l'eau, des siphons respiratoires pour capter l'air en surface, et des plastrons aérifères servant de réservoirs d'air et de surfaces d'échange gazeux.

Ces insectes montrent une activité saisonnière prononcée, influencée par les conditions climatiques. Bien qu'ils puissent entrer en phase de repos pendant les périodes froides, certains individus reprennent leurs activités locomotrices et de nourriture dès que la température devient plus douce, généralement à la fin de l'hiver ou au début du printemps (Polhemus & Polhemus, 2008).

D'après (Bertrand, 1951), les Hémiptères, qui appartiennent au groupe des insectes à métamorphose incomplète, se caractérisent par leur appareil buccal de type piqueur-suceur, ce qui leur permet de se nourrir principalement en aspirant les liquides de leurs proies. Ces insectes aquatiques sont généralement considérés comme sans danger, car ils ciblent surtout de petits organismes vivants à la surface des milieux aquatiques. De son côté, (Dethier, 1985,1986) précise que la majorité des espèces d'Hémiptères aquatiques préfèrent coloniser les eaux stagnantes, comme les mares, les étangs et les zones calmes des rivières, où elles trouvent des conditions favorables à leur développement et à leur alimentation.

La plupart des espèces agissent comme des prédateurs, bien qu'une part choisisse un régime alimentaire différent, comme se nourrir de matière organique en décomposition ce qu'on appelle détritiphages ou de végétaux, notamment des algues. Leur présence, leur nombre et leur variété dépendent fortement des caractéristiques physiques et chimiques de l'environnement aquatiques où elles vivent. Parmi ces caractéristiques, on peut mentionner le type de sol (sable, vase, roche), la complexité et la diversité de la végétation aquatique, le degré d'obscurité du milieu (ombrage, couvert végétal), ainsi que des paramètres comme la concentration en oxygène dissous, le pH, le taux de minéralisation de la matière organique et les niveaux de pollution.

Selon (Elder, 2012), ces éléments influent directement sur leur répartition dans l'écosystème, ainsi que sur leur comportement et leurs stratégies d'adaptation.

Ils sont une source de nourriture pour différents animaux tels que les amphibiens, les poissons et les oiseaux ; ils jouent un rôle essentiel dans les chaînes alimentaires. De plus, ils servent aussi de bons indicateurs environnementaux, notamment pour les métaux lourds comme le mercure.

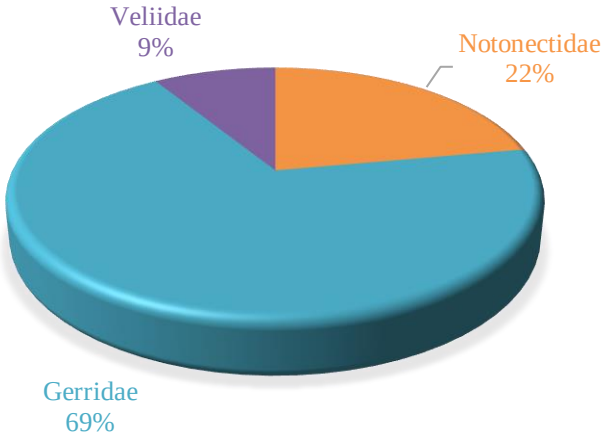


Figure 55 : Abondance des Hémiptères dans les stations d'étude.

Au cours de la période de recherche, nous avons recueilli un total de 271 spécimens d'Hémiptères répartis en trois familles. Les Gerridae sont les plus nombreux avec 187 spécimens, ce qui constitue 69 % de l'ensemble. Ensuite les Notonectidae, avec 60 spécimens représentant 22 %, et enfin, les Veliidae sont en troisième position avec 24 spécimens, soit 9 % du total (Figure 55). La figure 56 illustre la répartition des Hémiptères dans les stations d'étude.

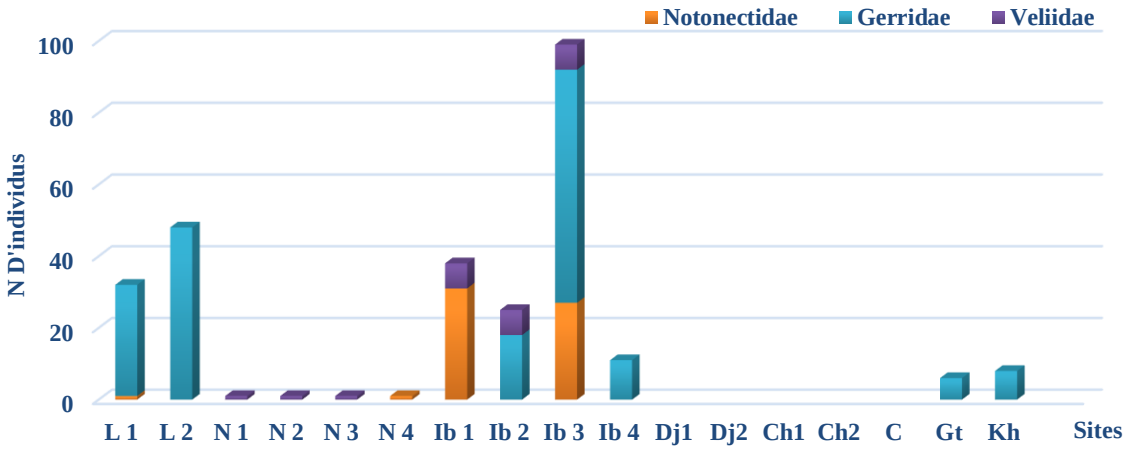


Figure 56 : La répartition des Hémiptères dans les stations d'étude.

IV.5.1. Gerridae

La famille des Gerridae, également appelée communément "punaises d'eau" ou "araignées d'eau", et nommée plus scientifiquement "hydromètres", regroupe des insectes aquatiques qui font partie de l'ordre des Hémiptères, plus précisément du sous-ordre des Hétéroptères (Andersen, 1982). Ces insectes sont connus dans le monde entier pour leur incroyable capacité à se déplacer à la surface de l'eau, en exploitant la tension superficielle grâce à une structure corporelle spécialisée.

Les membres de la famille Gerridae ont des tailles variées, selon l'espèce, allant de 2 mm à 36 mm (Andersen, 1995). Leur corps est généralement allongé et aplati de haut en bas, avec une teinte sombre souvent brun ou noir qui les aide à se fondre dans leur environnement aquatique (Chapman, 2013).

Leur manière de se déplacer est tout spécialement fascinante : ils utilisent un mouvement de rame synchronisé avec leurs pattes du milieu pour glisser rapidement sur la surface de l'eau, générant de petites vagues circulaires. Ce mode de déplacement est possible grâce à la répartition de leur poids et à la présence de micro-poils hydrophobes sur leurs pattes, empêchant celles-ci de percer la surface (Hu et al., 2003 ; Bush & Hu, 2006).

Les Gerridae sont des chasseurs, se nourrissant principalement d'insectes tombés sur la surface de l'eau, souvent blessés ou morts. Grâce à leurs pièces buccales conçues pour piquer et sucer, ils injectent des enzymes digestives dans la proie avant de consommer le contenu liquéfié (Schuh et Slater, 1995). Concernant leur habitat, ces insectes colonisent surtout des eaux douces calmes, comme les étangs, lacs et rivières à faible courant. Néanmoins, certaines espèces peuvent s'adapter à des milieux plus extrêmes, notamment les zones marines intertidales, ce qui est relativement rare chez les insectes (Andersen, 1982 ; Cheng, 1985).

D'après nos observations, la famille des Gerridae prédomine au sein de l'ordre des Hémiptères avec un total de 187 individus, ce qui représente 69 % de l'ensemble. Comme mentionnée auparavant, cette famille est considéré la plus diversifié dans nos prélèvement, elle se divise en trois groupes distincts : *L-Gerris*, *Aquarius sp 2* et *Gerris sp*.

Ces taxons ont été observés dans les sites suivants : Oued Lazrag (stations L1 et L2), Oued Ibikan (stations Ib2, Ib3 et Ib4), ainsi que dans les deux points de Oued l'Arab (stations Gt et Kh), avec des effectifs de 100,36 et 51 individus respectivement.

IV.5.2. Notonectidae

La famille des Notonectidae, plus couramment appelée notonectes ou punaises d'eau à dos nageur, regroupe des insectes aquatiques de l'ordre des hémiptères, appartenant à l'infra-ordre des Nepomorpha. Ces insectes sont largement répandus dans les eaux douces calmes du monde entier, notamment en Europe, en Amérique du Nord, en Afrique et en Asie (Kirkaldy, 1901 ; Andersen, 1982). Bien que plusieurs études préliminaires, telles que celles de (Brocher,1909), aient enrichi notre compréhension de cette famille, de nombreux aspects de leur biologie restent encore peu explorés. Par exemple, les recherches de (Bueno, 1905) sont assez limitées, et la dynamique saisonnière de leur distribution est encore mal connue (Hutchinson, 1993).

Les Notonectidae se différencient des autres hémiptères aquatiques par leur capacité uniques à nager sur le dos, ce qui est rendu possible grâce à leurs longues pattes arrière modifiées, fonctionnant comme des rames puissantes (Hungerford, 1919). Bien qu'ils ne puissent pas parcourir de longues distances, ce sont des nageurs remarquables. Ils peuvent habiter une grande variété de milieux aquatiques calmes tels que les lacs, les mares, les étangs et les fossés. Leur choix de micro-habitats varie selon les espèces, certaines préférant les zones bien ensoleillées, d'autres se trouvent plus fréquemment dans les secteurs ombragés ou végétalisés (Poisson, 1957).

Sur le plan alimentaire, les notonectes sont des prédateurs opportunistes redoutables. Leur régime inclut principalement des organismes aquatiques tels que les larves de moustiques, de petits crustacés, des têtards, et même des jeunes poissons (Gittelman, 1975). La capture des proies se fait grâce à un rostre perforant qui permet d'injecter des enzymes digestives pour ensuite aspirer le contenu liquéfié. Cette méthode de prédation joue un rôle crucial dans le contrôle naturel des populations de moustiques, en particulier dans les écosystèmes aquatiques artificiels et les zones humides urbaines (Fischer & Cupp, 1990).

Cependant, les Notonectidae ne sont pas à l'abri des prédateurs. Ils peuvent être la cible de divers prédateurs aquatiques comme les Népidés, les grandes larves d'Odonates ou certains oiseaux aquatiques. Il est intéressant de noter qu'ils semblent relativement peu vulnérables face aux poissons.

En tant que prédateurs au sommet des réseaux alimentaires des communautés aquatiques d'eau douce, les notonectes exercent une influence notable sur la structure et la dynamique des populations de zooplancton, d'insectes aquatiques et d'autres macroinvertébrés (Blaustein,

1998). De plus, certaines espèces sont étudiées dans le cadre de programmes de lutte biologiques contre les moustiques vecteurs de maladies comme le paludisme ou la dengue (Chandra et al., 2008). Ainsi, les Notonectidae constituent un groupe essentiel dans les écosystèmes aquatiques, tant par leur rôle écologique que par leur potentiel dans les stratégies de gestion des vecteurs de maladies.

Dans notre recherche, la famille des Notonectidae se classe en deuxième position au sein de l'ordre des Hémiptères, réunissant 60 individus, ce qui représente 24 % du total. Elle comporte deux taxons bien distincts : *Notonecta maculata* se trouve fréquemment dans les écosystèmes d'eau douce d'Algérie. Cette espèce est bien adaptée aux eaux stagnantes ou à faible courant, telles que les rivières, les mares et les plans d'eau temporaires. Dans notre cycle de prélèvement, elle a été répertoriée dans plusieurs endroits d'étude, notamment à Oued Noghis (station N4) et à Oued Ibikan (sites Ib1 et Ib3), où elle prédomine au sein des Notonectidae avec un total de 55 individus comptabilisés. Sa présence souligne la bonne qualité écologique de ces environnements et la richesse des Hémiptères aquatiques dans cette région. *L-Notonectidae,* retrouvées dans les stations L1 (Oued Lazrag) ainsi qu'à Ib1 et Ib3 (Oued Ibikan), pour un total de 5 individus.

Dans ce contexte, Taferghoust et al. (2024) ont réalisé une recherche détaillée sur la variété et la répartition des notonectes dans le nord-est de l'Algérie, une zone encore largement inexplorée pour ce qui est des macroinvertébrés aquatiques avec une collaboration de plusieurs collègues doctorants du Laboratoire de conservation des zones humides (LCZH), sous la direction des professeurs Samraoui F. et Samraoui B. Cette recherche s'est effectuée dans quatre zones géographiques : Collo (Skikda), Batna et Khenchela, et Oum El Bouaghi. Le relevé a englobé 76 lieux, comprenant de nombreuses rivières.

Un total de cinq espèces de notonectes est identifié : *Notonecta maculata, N. glauca, N. meridionalis, N. viridis et Anisops sardeus*. L'espèce *N. maculata* s'est avérée être la plus nombreuse, même si elle n'a pas été trouvée dans la région côtière de Collo. En revanche, uniquement dans les sites côtiers ont été observées *N. glauca* et *N. meridionalis*. La région d'Oum El Bouaghi a enregistré la plus grande richesse spécifique, en particulier dans les habitats lentiques comme les retenues d'eau et les marais saisonniers.

L'analyse statistique a révélé des distinctions significatives en termes de richesse spécifique entre les régions ($p < 0,001$), corroborées par une étude post-hoc. L'analyse en composantes

principales (ACP) a facilité la distinction des assemblages en fonction de leur emplacement géographique : les sites de Batna sont dominés par *N. maculata* et *N. meridionalis*, ceux de Collo par *N. glauca* et *N. meridionalis*, tandis que ceux d'Oum El Bouaghi se caractérisent par une dominance de *N. viridis* et *A. sardeus.*

La composition des assemblages de notonectes s'est avérée être significativement liée à quatre facteurs environnementaux : l'altitude avec un coefficient de détermination $R^2 = 0,69$, la longitude avec $R^2 = 0,60$, la profondeur de l'eau où $R^2 = 0,58$ et le type de substrat avec $R^2 = 0,27$. En revanche, la vitesse du courant et la végétation hélophyte n'ont pas présenté d'influence notable, même si certaines espèces sont réputées utiliser les plantes comme lieux de reproduction.

La recherche met aussi en lumière des approches écologiques distinctes selon les espèces. Les espèces *N. glauca* et *N. meridionalis* suivent un cycle univoltin qui comprend une reproduction en hiver dans des habitats temporaires, puis une estivation dans des mares résiduelles ; par contre, *N. maculata* exhibe un cycle bivoltin adapté à des environnements permanents.

IV.5.3. Veliidae

Les Veliidae, souvent appelés hydromètres courts ou hydromètres tranquilles, appartiennent à une famille d'insectes aquatiques de l'ordre des Hémiptères aquatiques et sont proches des Gerridae. Ils se reconnaissent par leur forme plus compacte, leur petite taille, généralement entre 1,5 et 8 mm et leurs pattes relativement courtes en comparaison avec les Gerridae (Andersen, 1982).

Les Veliidae sont spécialisés dans le déplacement à la surface de l'eau grâce à des structures microscopiques qui repoussent l'eau présentes sur leurs pattes, leur permettant de tirer parti de la tension superficielle. Cette adaptation exceptionnelle facilite aussi la détection des vibrations à la surface de l'eau, essentielle pour la chasse et la communication (Spence & Andersen, 1994).

D'un point de vue écologique, les Veliidae préfèrent les eaux calmes comme les étangs, les fossés, les berges de rivières, ainsi que certaines zones saumâtres ou côtières. Leur répartition est mondiale, avec une présence particulièrement forte dans les régions tropicales et subtropicales (Andersen, 1982).

Ces insectes sont de redoutables prédateurs, se nourrissant essentiellement de petits invertébrés à la surface de l'eau, comme les larves de moustiques ou les collemboles. Leurs pattes sensibles leur permettent de détecter les moindres mouvements à la surface, ce qui leur permet de localiser leurs proies. Chez certaines espèces, les mâles produisent des vibrations spécifiques pour attirer les femelles, démontrant une communication complexe basée sur les ondes à la surface de l'eau (Burrows, 2009).

En plus de leur rôle de prédateurs, les Veliidae sont d'importants indicateurs biologiques pour évaluer la qualité des eaux calmes et stagnantes. Leur sensibilités à certains paramètres physico-chimiques en fait un outil précieux pour juger de l'état écologique des milieux aquatiques (Merritt et al., 2008). De plus, en contrôlant les populations de certains insectes aquatiques, notamment les moustiques, ils contribuent à l'équilibre des écosystèmes et jouent un rôle non négligeable en santé publique.

D'après nos résultats, la famille des Veliidae occupe la troisième position au sein de l'ordre des Hémiptères avec un total de 24 individus, ce qui représente 9 % de l'ensemble. Comme mentionné auparavant, cette famille se présente par un seul taxon : *A-Veliidae* qui se trouve dans les stations suivantes d'Oued Noghis (N1, N2, N3), Oued Ibikan (Ib1, Ib2, Ib3) avec des effectifs de 3 et 21 individus respectivement.

La figure suivante montre comment les Hétéroptères aquatiques sont répartis dans divers sites de prélèvement (L1, L2, N1 à N4, Ib1 à Ib3, Ch1, Ch2, etc.). On observe clairement que le site Ib3 est de loin le plus riche, avec près de 100 individus recensés, appartenant à plusieurs espèces. Les sites L1 et L2 affichent également une abondance notable, surtout grâce à la forte présence de *Gerris sp.*et *Aquarius* sp2. En revanche, les sites N1 à N4 ont des niveaux d'abondance très faibles, voire inexistants. La diversité des espèces varie aussi selon les lieux : Ib1, Ib2 et Ib3 se distinguent par une grande variété, avec plusieurs taxons présents. À l'opposé, les sites Ch1, Ch2, C et Gt ont à la fois une faible abondance et une faible diversité.

Parmi les taxons observés, *L-Gerris* est l'un des plus fréquents, dominant en particulier les sites Ib3 et L1. *Aquarius sp2* et *Gerris sp*. Sont aussi bien représentés dans certains sites, tandis que *Notonecta maculata* se trouve principalement dans les sites Ib1 à Ib3 et est absente ailleurs (Figure 57)

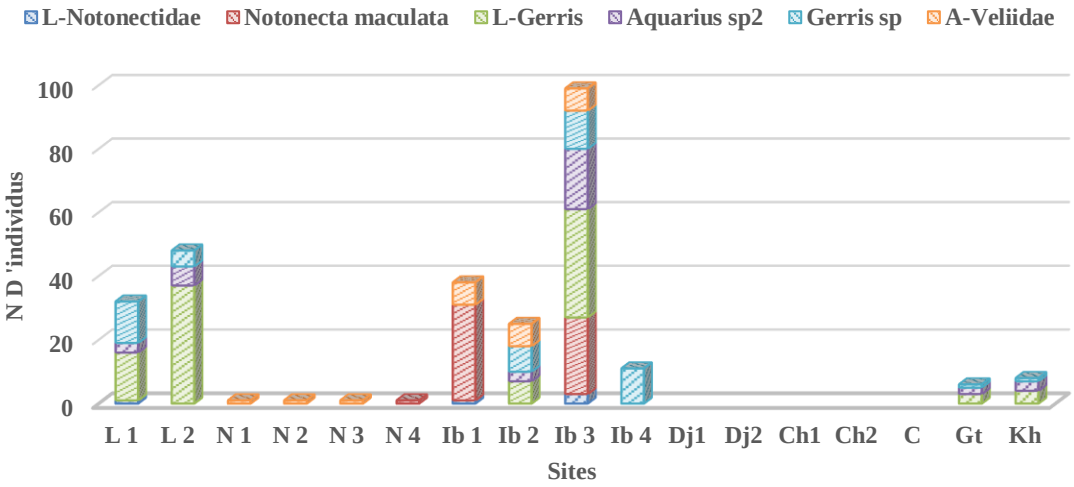


Figure 57 : La répartition des espèces d'Hémiptères dans les stations d'étude.

Ces observations suggèrent que les sites Ib1 à Ib3 offrent des conditions écologiques favorables (comme des eaux calmes, une végétation aquatique dense et une bonne oxygénation), propices à une communauté d'Hétéroptères diversifiée et abondante. À l'inverse, les faibles taux d'abondance relevés dans les sites N1 à N4 et Ch1 à Ch2 pourraient être dus à des facteurs environnementaux défavorables, comme la pollution, les perturbations humaines ou un habitat inadapté. La répartition spécifique de certaines espèces est probablement liée à des préférences écologiques particulières ou des spécialisations d'habitat.

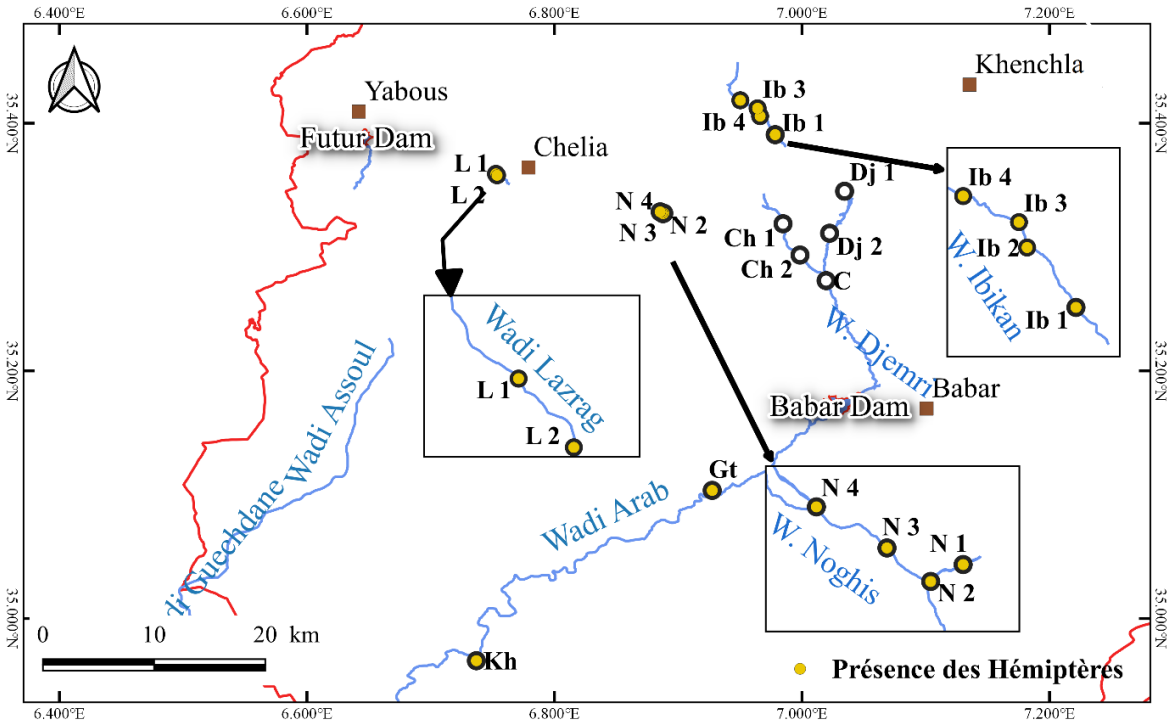


Figure 58 : Cartographie de La distribution des Hémiptères dans les stations d'étude.

La figure 58 illustre la distribution des Hémiptères dans les différentes stations, le tableau 11 ci-dessous présente leur phénologie ainsi que les localités où ces insectes ont été recensés.

Tableau 11 : Phénologie et liste de localité des Hémiptères recensés dans les sites d'étude.

Famille	Espèce	Phénologie	Localité
Notonectidae	***L-Notonectidae***	Juin-Septembre-Décembre	L 1, Ib 1, Ib 3
	Notonecta maculata	Juin-Juillet-Aout-Septembre-	N 4, Ib 1, Ib 3
Gerridae	***L-Gerris***	Juillet-Aout-Septembre-Février-Avril-Mars-Mai	L 1, L 2, Ib 2, Ib 3, Gt, Kh
	Aquarius sp2	Février-Juillet-Avril-Juillet-Avril-Mai	L 1, L 2, Ib 2, Ib 3, Gt, Kh
	Gerris sp	Aout-Septembre-Décembre-Février-Avril-Juin-Janvier-Mars-Avril-Juillet-Mai	L 1, L 2, Ib 2, Ib 3, Ib 4, Gt, Kh
Veliidae	***A-Veliidae***	Juin-Septembre-Octobre-Novembre-Décembre-Janvier-	N 1, N 2, N 3, Ib1, Ib2, Ib3

IV.6. Les indices de biodiversité

Les indices de diversité écologique (Shannon, Simpson et Pielou) calculés pour les différents sites révèlent des variations significatives dans la structure des communautés étudiées, permettant d'évaluer non seulement la richesse spécifique, mais aussi la distribution des abondances entre les espèces, offrant ainsi une vision plus complète de la biodiversité, le tableau 12 montre une estimation des indices écologiques de biodiversité de l'étude.

Tableau 12 : Résultats d'estimation des indices.

Site	Shannon	Simpson	Pielou
L 1	1.56	0.71	0.71
L 2	1.00	0.46	0.45
N 1	0.69	0.5	1
N 2	0	0	NA
N 3	0.63	0.44	0.91
N 4	0.69	0.5	1
Ib 1	0.83	0.44	0.52
Ib 2	1.77	0.73	0.77
Ib 3	1.84	0.80	0.84
Ib 4	0.39	0.20	0.36
Dj 1	0	0	NA
Dj 2	0	1	0
Ch 1	0	0	NA
Ch 2	0	1	0
C	0.69	0.5	1
Gt	1.01	0.61	0.92
Kh	0.69	0.34	0.50

IV.6.1. Indice de Shannon (H')

L'indice de Shannon, qui mesure la diversité en tenant compte à la fois du nombre d'espèces et de l'équitabilité, montre des valeurs variant de 0 à 1.847 selon les sites. Les sites Ib3 (1.847) et Ib2 (1.774) présentent les diversités les plus élevées, ce qui suggère une répartition relativement équilibrée des espèces et une richesse spécifique notable. À l'inverse, les sites N2, Dj1, Ch1, et Ch2 affichent une valeur de 0, indiquant une absence de diversité, probablement due à la dominance d'une seule espèce ou à une très faible richesse. Les sites L1 (1.569) et Gt (1.011) montrent une diversité intermédiaire, reflétant une communauté modérément équilibrée.

IV.6.2. Indice de Simpson (1-λ)

L'indice de Simpson, qui évalue la probabilité que deux individus tirés au hasard appartiennent à des espèces différentes, varie entre 0 et 1. Les valeurs les plus élevées sont observées pour Ib3 (0.807) et Ib2 (0.736), confirmant une forte diversité et une faible dominance. À l'opposé, les sites N2, Dj1, et Ch1 ont un indice de 0, ce qui indique une dominance absolue d'une seule espèce. Les sites Dj 2 et Ch 2 présentent une particularité avec un indice de 1, ce qui pourrait suggérer une diversité maximale, mais cette interprétation doit être nuancée car elle pourrait aussi résulter d'une distribution très particulière des abondances (par exemple, deux espèces exactement équipondérantes).

IV.6.3. Équitabilité de Pielou (J)

L'équitabilité de Pielou, qui mesure la régularité de la distribution des individus entre les espèces (variant théoriquement de 0 à 1), révèle des disparités marquées. Les sites N1, N4, et C atteignent une équitabilité parfaite (J = 1), indiquant que toutes les espèces présentes y sont également abondantes. À l'inverse, les sites Dj2 et Ch2 ont une équitabilité de 0, reflétant une domination extrême d'une espèce. Les sites intermédiaires comme Ib3 (0.841) et Gt (0.921) montrent une bonne équitabilité, tandis qu'Ib 4 (0.360) et Kh (0.502) présentent une répartition moins équilibrée.

IV.6.4. Comparaison entre les sites

Les sites Ib2 et Ib3 se distinguent par leurs valeurs élevées pour les trois indices, suggérant des écosystèmes à la fois diversifiés et équilibrés. En revanche, les sites N2, Dj1, et Ch1 sont caractérisés par une absence de diversité, probablement en raison de conditions environnementales restrictives ou de perturbations anthropiques. Les cas particuliers comme

Dj2 et Ch2 (Simpson = 1 mais Pielou = 0) méritent une investigation plus poussée, car ils pourraient résulter de artefacts d'échantillonnage ou de dynamiques écologiques atypiques.
Cette analyse met en lumière l'hétérogénéité des communautés étudiées, avec des gradients allant de systèmes très diversifiés (complexité écologique élevée) à des systèmes quasi monos spécifiques. Les indices de Shannon et Simpson fournissent des informations complémentaires, tandis que l'équitabilité de Pielou permet d'identifier les déséquilibres dans la distribution des abondances. Ces résultats pourraient guider des actions de conservation ciblées, notamment pour les sites à faible diversité, où des mesures de restauration pourraient être envisagées. La Figure 59 illustre un graphique des indices de biodiversité.

Remarque technique : Les valeurs NA pour Pielou (sites N2, Dj1, Ch1) sont dues à une richesse spécifique nulle ou indéfinie (log(0)), ce qui rend le calcul impossible. Ces cas confirment l'absence de diversité dans ces sites.

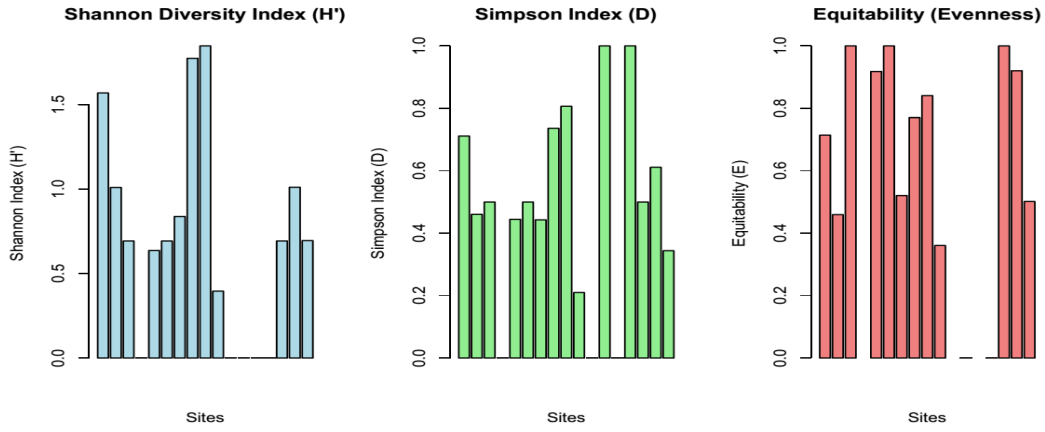


Figure 59 : Graphiques des indices de diversité.

IV.7. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode d'analyse multivariée utilisée pour réduire la dimensionnalité d'un ensemble de données tout en conservant l'essentiel de l'information. Dans cette étude, nous appliquons l'ACP à un ensemble de données environnementales et physiques issues de différents sites de cours d'eau (Oueds), en vue de dégager les gradients majeurs de variation et de classer les stations d'échantillonnage selon leurs caractéristiques physico-chimiques, hydrologiques, biologiques et écologiques. Les variables mesurées comprennent, entre autres, l'altitude, la vitesse de l'eau, la turbidité, la composition des substrats (galets, sable, roches), la végétation aquatique (hélophytes, hydrophytes), ainsi que des facteurs d'occupation du sol et d'hydropériode.

Ces données multidimensionnelles sont propices à l'utilisation de l'ACP pour détecter des profils types d'Oueds ou pour identifier les variables qui influencent le plus la variabilité entre sites.

IV.7.1. Sélection des variables : l'ACP sera réalisé sur les variables quantitatives suivantes :

- **Physico-hydrologiques :**
  - ✓ Altitude (m)
  - ✓ Vélocité (m/s)
  - ✓ LDLM (m)
  - ✓ PLE (cm)
  - ✓ RIP
  - ✓ Turbidité (%)
  - ✓ La pente (%).
- **Biologiques :**
  - ✓ Hélophyte Végétation (%)
  - ✓ Hydrophyte Végétation (%)
- **Substrat :**
  - ✓ Galets et gravier (%)
  - ✓ Rochets (%)
  - ✓ Sable, argile et limon (%)
- **Pollution :**
  - ✓ La pollution (code 0 à 4)

IV.7.2. Analyse descriptive des données

L'analyse descriptive porte sur 17 observations complètes, sans données manquantes, couvrant 14 variables quantitatives relatives aux caractéristiques physico-hydrologiques, biologiques et environnementales des Oueds étudiés. Les statistiques descriptives révèlent une importante variabilité inter-sites, particulièrement marquée pour certains paramètres (Tableau 13).

Les variables physico-hydrologiques présentent des dynamiques contrastées. L'altitude varie considérablement entre 480 m et 1551 m (moyenne = 1190,94 m ± 270,07 m), reflétant une importante diversité topographique. La vélocité des cours d'eau montre une amplitude plus restreinte (2,06-3,88 m/s) avec une relative homogénéité (moyenne = 2,70 m/s ± 0,47 m/s). La largeur du lit (LDLM) et la profondeur (PLE) présentent des écarts importants (respectivement 9,16-40 m et 3,25-34,33 cm) avec des dispersions notables autour de leurs moyennes (16,32 m

± 6,87 m et 13,64 cm ± 6,29 cm). La turbidité et la pente affichent les variations les plus spectaculaires (0-80% et 11-87%), avec des distributions très hétérogènes (écarts-types de 28,88% et 24,87%).

Tableau 13 : Statistiques descriptives des variables.

Variable	Observations	Obs. Avec données manquantes	Obs. Sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Altitude (m)	17	0	17	480.0000	1551.0000	1190.9412	270.0739
Vélocité (m/s)	17	0	17	2.0600	3.8800	2.6994	0.4701
LDLM (m)	17	0	17	9.1600	40.0000	16.3218	6.8653
PLE (cm)	17	0	17	3.2500	34.3300	13.6353	6.2942
RIP	17	0	17	50.0000	96.0000	77.9412	14.0422
Hélophyte Végétation (%)	17	0	17	3.0000	5.0000	4.1765	0.6359
Hydrophyte Végétation (%)	17	0	17	0.0000	4.0000	0.5294	1.0676
La pollution	17	0	17	0.0000	4.0000	1.8824	1.1663
La pente (%)	17	0	17	11.0000	87.0000	33.5294	24.8674
Turbidité (%)	17	0	17	0.0000	80.0000	24.2941	28.8764
galets et gravier (%)	17	0	17	0.0000	100.0000	14.4118	27.4933
Rochets (%)	17	0	17	0.0000	80.0000	11.7647	25.7961
sable, argile et limon (%)	17	0	17	0.0000	100.0000	73.8235	32.5734
Hydropériod	17	0	17	0.0000	1.0000	0.5294	0.5145

La végétation aquatique montre des profils distincts. Les hélophytes présentent une couverture relativement stable (3-5%, moyenne = 4,18% ± 0,64%) tandis que les hydrophytes sont nettement moins abondantes (0-4%, moyenne = 0,53% ± 1,07%). La pollution, évaluée sur une échelle de 0 à 4, indique une pression modérée mais variable selon les sites (moyenne = 1,88 ± 1,17).

La composition des substrats révèle une nette dominance des particules fines (sable/argile/limon : 0-100%, moyenne = 73,82% ± 32,57%), bien que certains sites présentent des proportions importantes de galets/gravier (jusqu'à 100%) ou de rochers (jusqu'à 80%). L'hydropériode, codée de manière binaire, indique que 53% des sites étaient en phase humide lors des observations.

Cette variabilité inter-sites justifie pleinement le recours à une ACP pour identifier les gradients environnementaux structurants et établir une typologie des stations basée sur leurs caractéristiques multidimensionnelles. Les forts écarts-types observés pour la plupart des variables suggèrent que l'analyse pourra faire émerger des profils contrastés de cours d'eau, potentiellement liés à des facteurs altitudinaux, hydrologiques ou anthropiques.

IV.7.3. Analyse de Corrélation

L'analyse des corrélations entre les différentes variables environnementales révèle des relations significatives qui permettent de comprendre les interactions complexes au sein des écosystèmes des Oueds étudiés. Plusieurs tendances fortes émergent de cette matrice de corrélation, mettant en lumière des patrons écologiques structurants (Tableau 14).

Tableau 14 : Matrice de corrélation des variables.

Variables	Altitude (m)	Vélocité (m/s)	LDLM (m)	PLE (cm)	RIP	Hélophyte (%)	Hydro-phyte (%)	Pollution	Pente (%)	Turbidité (%)	Galets, gravier (%)	Rochets (%)	sable, argile, limon (%)	Hydropériod
Altitude (m)	**1**	-0.4803	-0.2529	0.2228	**0.7840**	0.1333	0.1464	**-0.6203**	0.2693	**-0.6520**	0.3822	-0.1208	-0.2269	**0.5413**
Vélocité (m/s)	-0.4803	**1**	0.1802	-0.4567	-0.4056	-0.3111	-0.0541	0.4330	-0.3299	0.4605	0.1680	-0.2962	0.0928	0.0350
LDLM (m)	-0.2529	0.1802	**1**	0.1662	-0.1861	-0.1750	0.2501	**0.4872**	-0.3479	0.3363	-0.2344	0.0226	0.1799	0.2020
PLE (cm)	0.2228	-0.4567	0.1662	**1**	0.0778	0.3423	**0.7549**	-0.0913	0.1392	0.1921	-0.2081	0.1018	0.0950	0.2573
RIP	**0.7840**	-0.4056	-0.1861	0.0778	**1**	-0.0268	0.0481	**-0.5920**	0.3316	**-0.7460**	0.3107	0.3385	**-0.5303**	**0.6361**
Hélophyte (%)	0.1333	-0.3111	-0.1750	0.3423	-0.0268	**1**	0.4061	0.0297	0.4719	0.3339	-0.1903	0.1322	0.0559	0.0787
Hydrophyte (%)	0.1464	-0.0541	0.2501	**0.7549**	0.0481	0.4061	**1**	-0.0472	0.0994	0.4001	-0.0207	0.0093	0.0100	0.4819
La pollution	**-0.6203**	0.4330	**0.4872**	-0.0913	**-0.5920**	0.0297	-0.0472	**1**	**-0.4826**	**0.5634**	-0.3142	-0.0550	0.3087	-0.4105
La pente (%)	0.2693	-0.3299	-0.3479	0.1392	0.3316	0.4719	0.0994	**-0.4826**	**1**	-0.1156	0.1705	0.4242	-0.4799	0.3236
Turbidité (%)	**-0.6520**	0.4605	0.3363	0.1921	**-0.7460**	0.3339	0.4001	**0.5634**	-0.1156	**1**	-0.3048	-0.1761	0.3967	-0.1289
galets et gravier (%)	0.3822	0.1680	-0.2344	-0.2081	0.3107	-0.1903	-0.0207	-0.3142	0.1705	-0.3048	**1**	-0.2540	**-0.6429**	0.1339
Rochets (%)	-0.1208	-0.2962	0.0226	0.1018	0.3385	0.1322	0.0093	-0.0550	0.4242	-0.1761	-0.2540	**1**	**-0.5775**	0.0194
sable, argile et limon (%)	-0.2269	0.0928	0.1799	0.0950	**-0.5303**	0.0559	0.0100	0.3087	-0.4799	0.3967	**-0.6429**	**-0.5775**	**1**	-0.1283
Hydropériod	**0.5413**	0.0350	0.2020	0.2573	**0.6361**	0.0787	0.4819	-0.4105	0.3236	-0.1289	0.1339	0.0194	-0.1283	**1**

L'altitude montre des corrélations particulièrement marquées avec plusieurs variables. Elle est fortement positivement corrélée avec le RIP (r = 0,78) et l'hydropériode (r = 0,54), suggérant que les sites en altitude présentent généralement une meilleure intégrité physique du cours d'eau et sont plus souvent en phase humide. À l'inverse, l'altitude est négativement corrélée avec la pollution (r = -0,62) et la turbidité (r = -0,65), indiquant que les sites les plus bas sont soumis à des pressions anthropiques plus importantes et à des eaux plus troubles. La vélocité présente des relations inverses avec l'altitude (r = -0,48) et le RIP (r = -0,41), tandis

qu'elle est positivement liée à la pollution (r = 0,43) et à la turbidité (r = 0,46), ce qui pourrait refléter l'effet combiné de la pente et des activités humaines en aval.

Les variables biologiques montrent des schémas intéressants. La végétation hydrophyte est étroitement associée à la profondeur de l'eau (PLE, r = 0,75), alors que les hélophytes présentent une corrélation modérée avec la pente (r = 0,47). La pollution affiche des liens significatifs avec plusieurs paramètres : positive avec la vélocité (r = 0,43) et la turbidité (r = 0,56), mais négative avec l'altitude (r = -0,62) et le RIP (r = -0,59), confirmant son rôle comme facteur de dégradation environnementale (Figure 60).

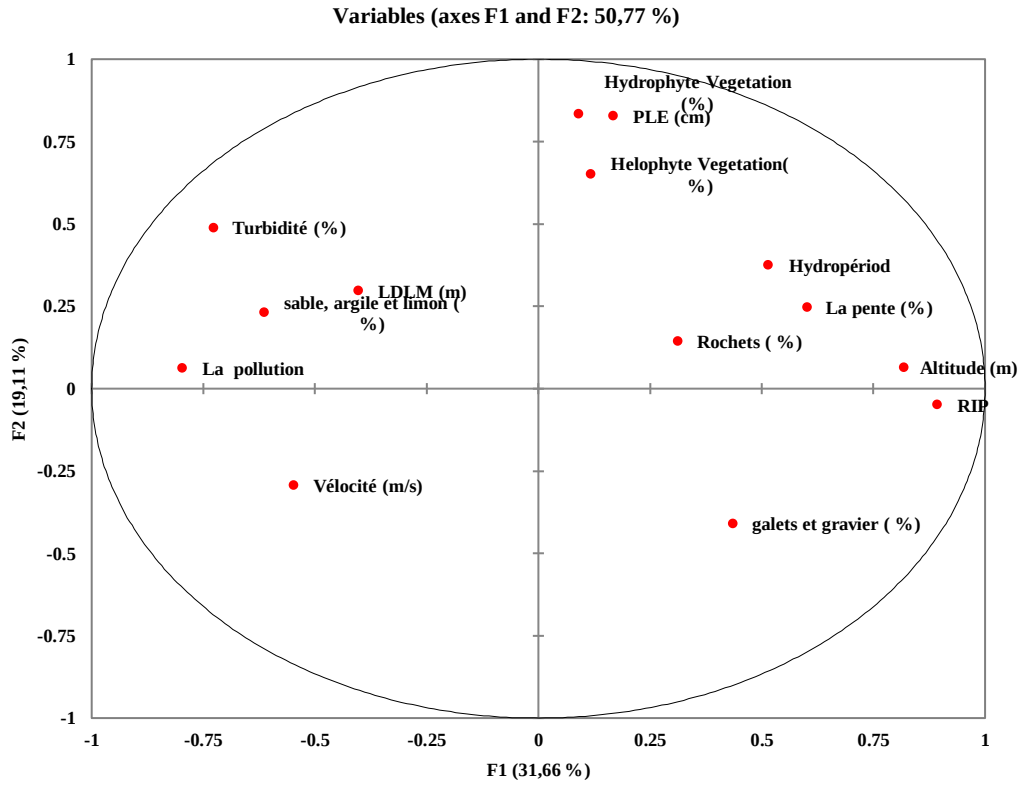


Figure 60 : Répartition des variables actives sur le plan factoriel (ACP – axes 1 et 2).

La composition des substrats révèle des relations d'exclusion mutuelle. Les pourcentages de galets/gravier et de sable/argile/limon présentent une corrélation négative marquée (r = -0,64), de même que les rochers et les particules fines (r = -0,58), traduisant une répartition spatiale contrastée de ces types de substrats. Le RIP montre un réseau de corrélations particulièrement riche, avec des relations fortes et opposées avec la turbidité (r = -0,75) et l'hydropériode (r = 0,64), soulignant son importance comme indicateur synthétique de la qualité physique du cours d'eau.

Ces résultats corrélatifs préparent efficacement l'analyse en composantes principales en identifiant les variables potentiellement redondantes et en révélant les structures sous-jacentes qui pourraient émerger comme axes factoriels principaux. Les corrélations élevées entre certaines variables suggèrent notamment que l'ACP pourrait réduire la dimensionnalité des données tout en conservant l'essentiel de l'information écologique.

IV.8. Analyse des composantes

IV.8.1. Corrélation des variables avec les axes

L'analyse des corrélations entre les variables environnementales et les axes factoriels permet d'identifier les principaux gradients écologiques structurant les Oueds étudiés. Le premier axe (F1), expliquant 31.7% de la variance totale, présente des corrélations particulièrement marquées avec plusieurs variables clés. D'un côté, il montre une forte association positive avec le RIP (r = 0.89) et l'altitude (r = 0.82), ainsi qu'avec la pente (r = 0.60) et l'hydropériode (r = 0.51). À l'opposé, il est négativement corrélé avec la pollution (r = -0.80) et la turbidité (r = -0.73), ainsi qu'avec la vélocité du courant (r = -0.55) et la présence de substrats fins (r = -0.61). Cet axe semble donc représenter un gradient global opposant les caractéristiques des cours d'eau en amont (altitude élevée, forte intégrité physique, pentes importantes) à celles des zones aval (pollution accrue, eaux turbides, écoulements rapides) Tableau 15.

Tableau 15 : Corrélations (r) des variables environnementales avec les deux premiers axes factoriels (F1 et F2) de l'ACP.

Variables	F1	F2
Altitude (m)	0.8181	0.0639
Vélocité (m/s)	-0.5484	-0.2922
LDLM (m)	-0.4038	0.2972
PLE (cm)	0.1674	0.8283
RIP	0.8917	-0.0486
Hélophyte (%)	0.1170	0.6522
Hydrophyte (%)	0.0894	0.8346
La pollution	-0.7981	0.0628
La pente (%)	0.6006	0.2479
Turbidité (%)	-0.7273	0.4894
galets et gravier (%)	0.4349	-0.4085
Rochets (%)	0.3119	0.1436
sable, argile et limon (%)	-0.6141	0.2311
Hydropériod	0.5138	0.3760

Le second axe (F2), expliquant 19.1% de la variance supplémentaire, présente un profil de corrélations différent. Il est fortement associé à des variables biologiques, notamment la végétation aquatique avec des corrélations très élevées pour les hydrophytes (r = 0.83) et les hélophytes (r = 0.65), toutes deux liées à la profondeur de l'eau (r = 0.83). La turbidité montre également une corrélation modérée (r = 0.49), tandis que les substrats grossiers comme les galets et graviers présentent une association négative (r = -0.41). Cet axe semble donc décrire un gradient biologique indépendant, opposant les milieux fortement végétalisés avec des eaux relativement profondes aux zones à substrats grossiers moins propices au développement de la végétation aquatique.

La complémentarité de ces deux axes principaux permet d'établir une première typologie des Oueds. Le premier axe (F1) représente clairement un gradient physico-géographique marqué par l'altitude et la qualité de l'eau, tandis que le second (F2) reflète plutôt un gradient biologique lié à la colonisation végétale. Cette structuration suggère que les facteurs abiotiques (altitude, pente) et les pressions anthropiques (pollution) agissent de manière relativement indépendante sur les communautés biologiques. Les projections ultérieures des stations sur ce plan factoriel permettront de vérifier cette interprétation et d'identifier d'éventuels groupes homogènes de cours d'eau partageant des caractéristiques écologiques similaires.

IV.8.2. Projection des individus (Oueds)

La projection des différents Oueds sur le plan formé par les deux premiers axes factoriels (F1 x F2) permet d'établir une typologie des sites basée sur leurs caractéristiques environnementales communes. Cette représentation graphique révèle plusieurs groupes distincts (Figure 61).

Les Oueds situés dans la partie positive de l'axe F1 se caractérisent par leur forte altitude, leur pente marquée et un excellent indice RIP. Ces stations, localisées en tête de bassin versant, présentent généralement une faible pollution et une turbidité réduite. À l'opposé, les sites positionnés dans la partie négative de F1 correspondent à des cours d'eau de plaine, soumis à des pressions anthropiques plus importantes, avec des vitesses d'écoulement plus élevées et une turbidité accentuée.

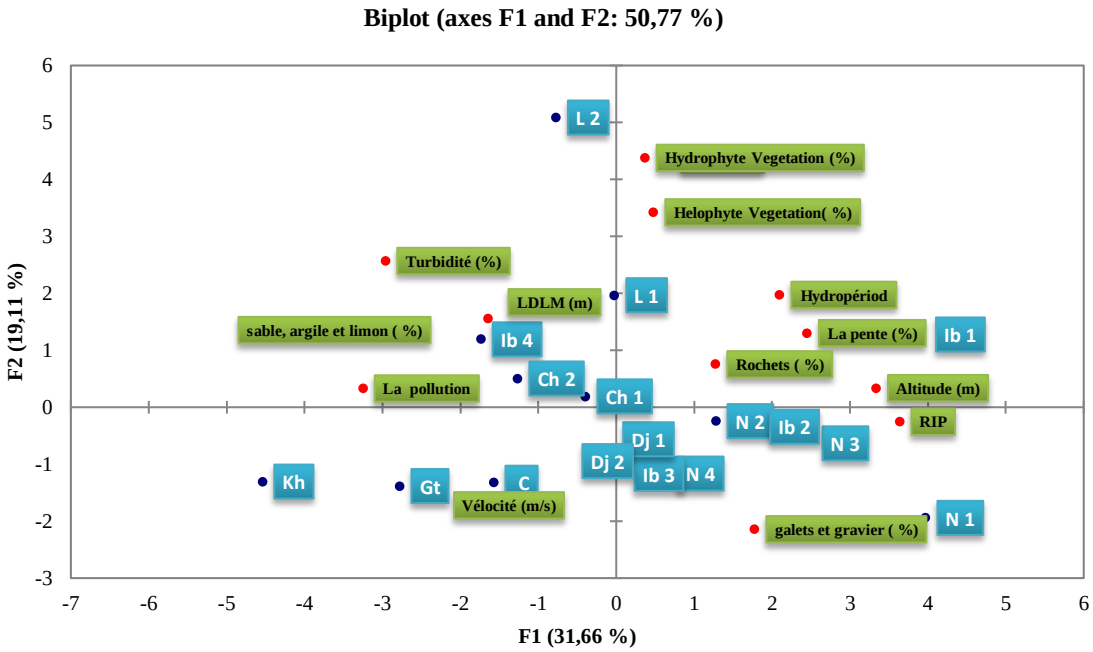


Figure 61 : Biplot de projection des Oueds.

Sur l'axe F2, les Oueds présentant les scores les plus élevés se distinguent par une végétation aquatique abondante (hydrophytes et hélophytes) et des profondeurs d'eau plus importantes. Ces caractéristiques contrastent avec les sites situés dans la partie inférieure du graphique, où dominent les substrats grossiers (galets et graviers) et où la végétation est moins développée.

L'analyse de la distribution des points permet d'identifier trois groupes principaux :

- ✓ Un groupe de stations d'altitude à forte intégrité écologique (en haut à droite du graphique)
- ✓ Un ensemble de sites dégradés, typiques des zones aval (en bas à gauche)
- ✓ Des Oueds intermédiaires, caractérisés par une végétation aquatique développée (en haut du graphique)

Cette typologie, corroborée par les analyses précédentes, met en évidence l'influence combinée des facteurs abiotiques (altitude, pente) et des pressions anthropiques dans la structuration des écosystèmes aquatiques étudiés. La position relative des différents sites pourra guider des mesures de gestion différenciées selon les caractéristiques de chaque groupe identifié.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de réduire la complexité des données environnementales des Oueds tout en mettant en lumière les principaux gradients écologiques structurants. Les résultats révèlent deux axes majeurs d'interprétation :

- **Gradient physico-géographique (Axe F1 - 31.7% de variance)**

Cet axe oppose clairement les caractéristiques des Oueds d'altitude (forte intégrité physique, pentes marquées, faible pollution) à celles des zones aval (turbidité élevée, vitesse d'écoulement accrue, pressions anthropiques). La forte corrélation positive avec le RIP (r = 0.89) et l'altitude (r = 0.82) souligne l'importance de la topographie dans la qualité des habitats aquatiques. À l'inverse, les corrélations négatives avec la pollution (r = -0.80) et la turbidité (r = -0.73) confirment l'impact des activités humaines sur la dégradation des milieux en plaine.

- **Gradient biologique (Axe F2 - 19.1% de variance)**

Ce second axe reflète une dynamique indépendante centrée sur la végétation aquatique et les substrats. Les hydrophytes (r = 0.83) et hélophytes (r = 0.65) sont étroitement liées à la profondeur (PLE, r = 0.83), tandis que les substrats grossiers (galets/gravier, r = -0.41) s'opposent à ces habitats végétalisés. Cet axe met en évidence des niches écologiques distinctes, où la disponibilité en substrats fins et la profondeur d'eau favorisent le développement de communautés biologiques spécifiques.

IV.9. Analyse Canonique des Correspondances (ACC)

Dans cette étude, nous appliquons l'ACC à un jeu de données portant sur les macroinvertébrés aquatiques et les caractéristiques physico-chimiques de différents Oueds. L'analyse repose sur deux matrices clés :

1. La matrice des espèces (abondances ou présences/absences), comprenant des taxons indicateurs tels que L-Notonectidae, *Notonecta maculata*, ou *Gerris sp* qui reflètent la diversité biologique des sites.
2. La matrice des variables environnementales, incluant des paramètres hydrologiques (vélocité, LDLM, PLE), physico-chimiques (RIP, turbidité), biologiques (couverture végétale), et anthropiques (pollution).

L'analyse descriptive des variables biologiques (espèces) et environnementales révèle une importante variabilité entre les 17 sites étudiés, sans aucune donnée manquante. Les statistiques descriptives mettent en évidence des dynamiques écologiques contrastées (Tableau 16).

IV.9.1. Variables Biologiques (Communautés d'Espèces)

Les abondances des espèces présentent des distributions très hétérogènes :

- *Hydropsyche maroccana* domine avec des abondances allant jusqu'à 410 individus (moyenne = 29,1 ± 99,2), reflétant sa forte adaptabilité à certains habitats.
- D'autres espèces comme *Onychogomphus uncatus* (0–90 individus, moyenne = 11,1 ± 24,2) et *Limnephilus sp* (0–106 individus, moyenne = 6,5 ± 25,7) montrent également une large dispersion, suggérant des niches écologiques spécifiques.
- À l'inverse, des espèces comme *Hydropsyche siltalai* (max = 1 individu) ou *Orthetrum coerulescens* (max = 3 individus) sont rares, indiquant une sensibilité aux conditions locales ou une spécialisation habitatique.

Ces écarts soulignent la spécialisation des espèces et leur potentiel comme bioindicateurs. Par exemple, la présence exclusive de *Hydropsyche maroccana* dans certains sites pourrait signaler des conditions hydrologiques particulières (fort débit, substrats grossiers).

IV.9.2. Variables Environnementales

Les paramètres physico-chimiques et morphologiques varient considérablement :

- Hydrologie : la vélocité (2,06–3,88 m/s) et la profondeur (PLE : 3,25–34,33 cm) montrent des amplitudes modérées, mais leur interaction influence directement les communautés (ex : espèces rhéophiles vs. lentiques).
- Qualité de l'eau : le RIP (50–96) et la turbidité (0–80%) sont anticorrélés (r = -0,75 en ACP), confirmant que les eaux turbides sont associées à une intégrité physique réduite.
- Substrats : la dominance des particules fines (sable/argile/limon : 0–100%, moyenne = 73,8%) contraste avec des sites à substrats grossiers (galets/gravier jusqu'à 100%), ce qui explique en partie la distribution des invertébrés fouisseurs vs. fixés.
- Pollution (0–4, moyenne = 1,9 ± 1,2) : les scores élevés coïncident avec des sites à forte turbidité et faible RIP, typiques des zones aval anthropisées.

Tableau 16 : Statistiques Descriptives des Variables Biologiques et Environnementales.

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
L-Notonectidae	17	0	17	0.0000	3.0000	0.2941	0.7717
Notonecta maculata	17	0	17	0.0000	30.0000	3.2353	9.0106
Gerris sp	17	0	17	0.0000	37.0000	5.8824	11.8210
L-Gerris	17	0	17	0.0000	19.0000	2.1176	4.6888

Aquarius sp2	17	0	17	0.0000	13.0000	3.0000	4.8218
A-Veliidae	17	0	17	0.0000	7.0000	1.4118	2.6939
Orthetrum coerulescens	17	0	17	0.0000	3.0000	0.2353	0.7524
Onychogomphus uncatus	17	0	17	0.0000	90.0000	11.1176	24.1710
platycnémis subdilatata	17	0	17	0.0000	4.0000	0.3529	1.0572
Calopteryx haemorrhoidalis	17	0	17	0.0000	64.0000	4.3529	15.4432
Hydropsyche maroccana Navás 1936	17	0	17	0.0000	410.0000	29.1176	99.1891
Hydropsyche obscura Navás 1928	17	0	17	0.0000	60.0000	7.7059	18.8639
Hydropsyche lobata McLachlan 1884	17	0	17	0.0000	4.0000	0.2353	0.9701
***Hydropsyche siltalai* Döhler 1963**	17	0	17	0.0000	1.0000	0.0588	0.2425
Limnephilus sp	17	0	17	0.0000	106.0000	6.4706	25.6567
Plectrocnemia sp.	17	0	17	0.0000	2.0000	0.2941	0.5879
Vélocité (m/s)	17	0	17	2.0600	3.8800	2.6994	0.4701
LDLM (m)	17	0	17	9.1600	40.0000	16.3218	6.8653
PLE (cm)	17	0	17	3.2500	34.3300	13.6353	6.2942
RIP	17	0	17	50.0000	96.0000	77.9412	14.0422
Hélophyte (%)	17	0	17	3.0000	5.0000	4.1765	0.6359
Hydrophyte (%)	17	0	17	0.0000	4.0000	0.5294	1.0676
La pollution	17	0	17	0.0000	4.0000	1.8824	1.1663
La pente (%)	17	0	17	11.0000	87.0000	33.5294	24.8674
Turbidité (%)	17	0	17	0.0000	80.0000	24.2941	28.8764
galets et gravier (%)	17	0	17	0.0000	100.0000	14.4118	27.4933
Rochets (%)	17	0	17	0.0000	80.0000	11.7647	25.7961
sable, argile et limon (%)	17	0	17	0.0000	100.0000	73.8235	32.5734

IV.9.3. Contribution des sites dans la construction des axes

Le tableau 17 illustre l'analyse des contributions des sites aux axes principaux F1 et F2 révèle des influences distinctes : les sites Dj1 (27,78%) et Ch1 (35,94%) dominent fortement la construction de l'axe F1, suivis de L2 (17,51%) et Ib1 (12,24%), suggérant qu'ils représentent des positions extrêmes le long du premier gradient environnemental. Pour l'axe F2, le site Ib1 montre une contribution prépondérante (65,51%), largement supérieure aux autres sites, indiquant son rôle clé dans la définition du second gradient. Les sites N1 à N4, Ib2, Ib3, C, Gt et Kh présentent des contributions marginales (<3%) aux deux axes, reflétant leur position plus centrale dans l'espace ordonné. Cette distribution met en évidence une structuration spatiale marquée, où quelques sites particuliers (Dj1, Ch1 pour F1 ; Ib1 pour F2) jouent un rôle déterminant dans la configuration des axes, tandis que la majorité des sites contribuent peu à la variance expliquée.

Tableau 17 : Contribution des sites dans la construction des axes.

Sites	F1	F2
L 1	0.0246	0.0040
L 2	0.1751	0.0411
N 1	0.0007	0.0072
N 2	0.0000	0.0015
N 3	0.0002	0.0087
N 4	0.0017	0.0093
Ib 1	0.1224	0.6551
Ib 2	0.0001	0.0001
Ib 3	0.0036	0.0208
Ib 4	0.0147	0.0026
Dj 1	0.2778	0.1219
Ch 1	0.3594	0.1226
C	0.0095	0.0013
Gt	0.0003	0.0023
Kh	0.0097	0.0016

IV.9.4. Contribution des espèces dans la construction des axes

L'analyse des contributions des espèces aux axes F1 et F2 révèle des patrons écologiques marqués. *Hydropsyche obscura* domine largement l'axe F1 avec une contribution de 65,49%, suivie de *Hydropsyche maroccana* (16,19%) et *Limnephilus sp* (9,51%), indiquant que ces

espèces structurent principalement le premier gradient environnemental. Pour l'axe F2, *Limnephilus sp* montre une contribution prépondérante (55,11%), tandis que *Notonecta maculata* (12,61%) et *Hydropsyche obscura* (23,08%) jouent également un rôle significatif. Les autres espèces (ex : *Onychogomphus uncatus*, *Calopteryx haemorrhoidalis*) présentent des contributions marginales (<5%), reflétant leur influence limitée sur ces axes (Tableau 18).

Tableau 18 : Contribution des espèces dans la construction des axes.

Espèce	F1	F2
L-Notonectidae	0.0002	0.0025
Notonecta maculata	0.0192	0.1261
Gerris sp	0.0066	0.0000
L-Gerris	0.0003	0.0006
Aquarius sp2	0.0031	0.0000
A-Veliidae	0.0033	0.0252
Orthetrum coerulescens	0.0013	0.0003
Onychogomphus uncatus	0.0247	0.0049
Platycnémis subdilatata	0.0019	0.0004
Calopteryx haemorrhoidalis	0.0222	0.0056
Hydropsyche maroccana Navás 1936	0.1619	0.0391
Hydropsyche obscura Navás 1928	0.6549	0.2308
Hydropsyche lobata McLachlan 1884	0.0000	0.0000
Hydropsyche siltalai Döhler 1963	0.0053	0.0008
Limnephilus sp	0.0951	0.5511
Plectrocnemia sp.	0.0000	0.0125

IV.9.5. Correspondance avec le graphe sites/objets

La dominance de *Hydropsyche obscura* sur F1 et de *Limnephilus* sp sur F2 dans l'analyse des espèces corrobore les positions extrêmes des sites Dj1, Ch1 (pour F1) et Ib1 (pour F2) observées dans le graphe sites/objets (Figure 62). Cette cohérence confirme que :

1. Les sites à forte contribution abritent les espèces clés identifiées,
2. Les gradients écologiques (F1/F2) sont bien expliqués par la distribution différentielle de ces espèces indicatrices.

Note : Les espèces à contributions négligeables (ex : *Hydropsyche lobata*, *Plectrocnemia sp*.) peuvent être associées à des microhabitats ou à des effets aléatoires, mais n'influencent pas significativement les axes majeurs.

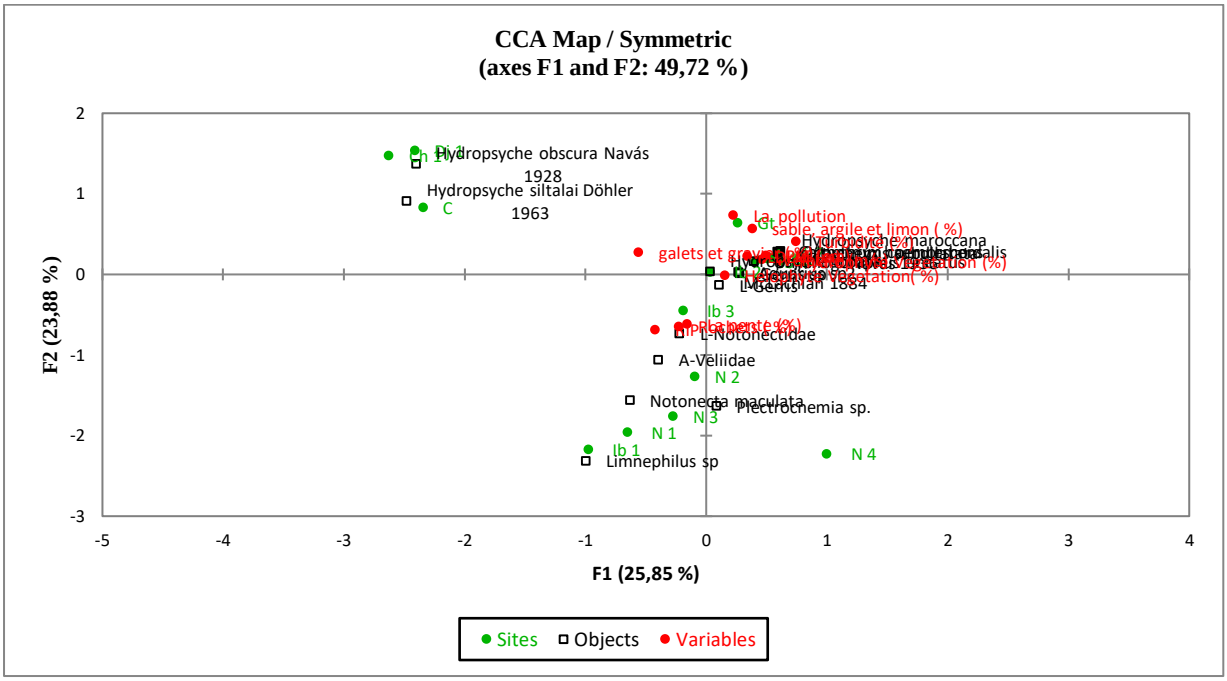


Figure 62 : Bi-plot sites/espèces de l'analyse ACC.

IV.10. Analyse Factorielle des Correspondances (AFC)

L'analyse statistique descriptive des 17 sites étudiés révèle une forte hétérogénéité environnementale, tant sur le plan topographique qu'hydrologique (Tableau 19) :

Tableau 19 : Statistique descriptive des variables.

Variables	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Altitude (m)	17	480.0000	1551.0000	1190.9412	270.0739
Vélocité (m/s)	17	2.0600	3.8800	2.6994	0.4701
LDLM (m)	17	9.1600	40.0000	16.3218	6.8653
PLE (cm)	17	3.2500	34.3300	13.6353	6.2942
RIP	17	50.0000	96.0000	77.9412	14.0422
Hélophyte (%)	17	3.0000	5.0000	4.1765	0.6359
Hydrophyte Végétation (%)	17	0.0000	4.0000	0.5294	1.0676
La pollution	17	0.0000	4.0000	1.8824	1.1663
La pente (%)	17	11.0000	87.0000	33.5294	24.8674
Turbidité (%)	17	0.0000	80.0000	24.2941	28.8764
Galets et gravier (%)	17	0.0000	100.0000	14.4118	27.4933
Rochets (%)	17	0.0000	80.0000	11.7647	25.7961
Sable, argile et limon (%)	17	0.0000	100.0000	73.8235	32.5734
Hydropériod	17	0.0000	1.0000	0.5294	0.5145

L'altitude varie considérablement entre les sites, avec un minimum de 480 mètres et un maximum de 1 551 mètres, pour une moyenne située autour de 1 190,94 mètres. Cet écart important (écart-type de 270,07) indique que les sites sont répartis sur des gradients altitudinaux significatifs, susceptibles d'influencer la température, les régimes hydriques, ainsi que la composition de la végétation.

La vélocité de l'eau est globalement modérée, oscillant entre 2,06 m/s et 3,88 m/s, avec une moyenne de 2,70 m/s. La faible dispersion (écart-type de 0,47) suggère que l'écoulement reste relativement stable d'un site à l'autre. En revanche, les variables LDLM (longueur de la zone de dépôt de litière et de matière organique) et PLE (profondeur limite d'eau), présentent une variabilité importante. Leurs écarts-types respectifs (6,86 et 6,29) mettent en évidence une diversité des microhabitats aquatiques pouvant influencer la structure des communautés biologiques.

La ripisylve (RIP) est bien représentée dans la majorité des sites, avec une moyenne de couverture végétale de 77,94 %, bien que sa variabilité (écart-type de 14,04) indique des situations très contrastées. La végétation aquatique, quant à elle, est dominée par les hélophytes (moyenne de 4,18 %), tandis que les hydrophytes sont quasiment absents dans certains sites (moyenne faible de 0,53 % et un minimum de 0 %), ce qui reflète probablement des conditions hydrologiques peu favorables à leur développement.

Le niveau de pollution présente une moyenne modérée de 1,88 (sur une échelle de 0 à 4), avec une dispersion notable (écart-type de 1,17), ce qui traduit une variabilité marquée de la qualité de l'eau entre les sites. Cette hétérogénéité est également observée dans la pente des sites (moyenne de 33,53 %, écart-type de 24,87), qui influence directement la vitesse d'écoulement et les processus d'érosion.

La turbidité de l'eau varie fortement (de 0 % à 80 %), avec une moyenne de 24,29 % et un écart-type élevé de 28,88, indiquant des différences marquées de transparence de l'eau. Cela peut refléter des apports solides différents ou des activités anthropiques variables entre les sites. La composition du substrat est également très diverse. Les galets et graviers présentent une moyenne faible (14,41 %) mais avec un écart-type élevé (27,49), tout comme les rochers (moyenne de 11,76 %, $\sigma = 25,80$), tandis que les sables, argiles et limons dominent globalement le substrat avec une moyenne élevée (73,82 %) et un écart-type de 32,57, indiquant des sites plus fins ou instables dans leur structure.

Enfin, la variable Hydropériode (mesurant la présence ou absence d'eau permanente) présente une moyenne de 0,53 avec un écart-type de 0,51, ce qui suggère que les sites sont équitablement répartis entre zones à inondation temporaire et zones à inondation permanente.

Le tableau ci-dessous présente la structure factorielle des variables environnementales, avec leurs coefficients de saturation (ou *loadings*) sur cinq facteurs (F1 à F5), ainsi que les *communautés* initiales et finales et les *variances spécifiques*. Ces valeurs permettent d'évaluer la contribution de chaque facteur à la variance de chaque variable et d'identifier les axes sous-jacents expliquant les relations entre variables.

Tableau 20 : La matrice des saturations factorielles Factor pattern.

Variables	F1	F2	F3	F4	F5	Communauté Initiale	Communauté Finale	Variance Spécifique
Altitude (m)	**0.8121**	-0.0840	0.4325	-0.1595	-0.0003	initiale	0.8790	0.1210
Vélocité (m/s)	-0.5218	0.2755	0.1912	**0.5672**	-0.0601	0.9876	0.7100	0.2900
LDLM (m)	-0.3698	-0.2554	0.1154	0.2660	**0.5350**	0.9788	0.5722	0.4278
PLE (cm)	0.1454	**-0.7549**	0.0761	-0.1046	0.0794	0.8318	0.6140	0.3860
RIP	**0.9002**	0.0247	0.1025	0.0666	0.3023	0.9975	0.9172	0.0828
Helophyte (%)	0.0942	**-0.5784**	-0.2074	-0.1371	-0.3929	0.9059	0.5595	0.4405
Hydrophyte (%)	0.0747	**-0.8416**	0.2256	0.2984	-0.0084	0.9795	0.8538	0.1462
La pollution	**-0.7417**	-0.0337	-0.1317	0.1303	0.1698	0.9307	0.6144	0.3856
La pente (%)	**0.5566**	-0.2434	-0.3642	0.0858	-0.3746	0.9908	0.6494	0.3506
Turbidité (%)	**-0.7537**	-0.4988	-0.0648	0.2888	-0.2826	0.9610	0.9844	0.0156
galets et gravier (%)	0.4184	0.3616	0.2539	**0.4821**	-0.3202	1.0000	0.7052	0.2948
Rochets (%)	0.3224	-0.1567	**-0.8536**	0.1227	0.3575	1.0000	**1.0000**	**0.0000**
sable, argile et limon (%)	**-0.6216**	-0.2094	0.4044	-0.5572	0.0549	1.0000	0.9072	0.0928
Hydropériod	**0.4770**	-0.3629	0.3598	0.3104	0.1952	0.9973	0.6232	0.3768

IV.10.1. Facteur 1 (F1) – Gradient altitudinal et qualité physique de l'eau

Le facteur F1 regroupe des variables fortement saturées telles que l'altitude (0.8121), la ripisylve (RIP) (0.9002), la pente (0.5566), et présente des saturations négatives sur la pollution (-0.7417), la turbidité (-0.7537), et les sédiments fins (sable, argile, limon : -0.6216). Ce facteur semble refléter un gradient d'intégrité écologique et topographique : les sites en altitude, à forte pente et bien végétalisés (ripisylve) sont faiblement pollués, moins turbides et présentent un substrat grossier. Il peut donc être interprété comme un axe de naturalité ou de préservation écologique.

IV.10.2. Facteur 2 (F2) – Gradient trophique et végétation aquatique

Ce facteur est marqué par des charges élevées et négatives sur la végétation hydrophyte (-0.8416), les hélophytes (-0.5784), et la profondeur d'eau (PLE) (-0.7549), ce qui suggère une

composante liée aux conditions trophiques et à la dynamique de la colonne d'eau. Les variables végétales aquatiques y sont fortement représentées, ce qui désigne F2 comme un facteur de structuration de la végétation aquatique, influencé possiblement par la lumière, la profondeur et les nutriments.

IV.10.3. Facteur 3 (F3) – Nature du substrat

Le facteur F3 est caractérisé par une saturation négative forte sur les roches (-0.8536), et des charges positives modérées sur le sable/limon/argile (0.4044) et l'altitude (0.4325). Ce facteur distingue les substrats rocheux versus meubles, ce qui a des implications écologiques importantes pour la faune benthique et la dynamique sédimentaire. F3 représente donc un gradient granulométrique du substrat.

IV.10.4. Facteur 4 (F4) – Flux hydriques et dynamique sédimentaire

Les variables les plus liées à F4 sont la vélocité (0.5672), galets et graviers (0.4821) et en négatif le sable/argile/limon (-0.5572). Cette structure indique que F4 est un facteur d'énergie hydraulique, opposant les sites à fort courant (avec substrat grossier) à ceux à faible dynamique (sédiments fins).

IV.10.5. Facteur 5 (F5) – LDLM et structure microhabitat

Ce facteur est essentiellement influencé par la variable LDLM (0.5350), et dans une moindre mesure par la ripisylve, les rochers, et Hydropériode. Il semble représenter la structure locale du microhabitat, en lien avec les zones d'accumulation de matière organique et les conditions d'inondation.

❖ **Communautés et variances spécifiques**

Les communautés finales indiquent la part de la variance expliquée par l'ensemble des facteurs. Les variables les mieux représentées par le modèle factoriel sont :

- Rochets (1.0000) – parfaitement expliquée par F3.
- Turbidité (0.9844) – bien représentée par F1 et F2.
- Altitude (0.8790) et RIP (0.9172) – fortement influencées par F1.
- Hydrophyte végétation (0.8538) – très bien captée par F2.

À l'inverse, des variables comme LDLM (0.5722) ou Hélophyte végétation (0.5595) sont partiellement expliquées, indiquant qu'une part importante de leur variance reste spécifique (variances spécifiques respectives de 0.43 et 0.44).

L'analyse factorielle permet de structurer les relations complexes entre variables environnementales en cinq axes interprétables : **(1)** naturalité-altitude, **(2)** végétation aquatique, **(3)** type de substrat, **(4)** dynamique fluviale, et **(5)** microstructure des habitats. Cette réduction dimensionnelle facilitera l'interprétation écologique globale, la classification des sites ou l'exploration d'autres relations (biodiversité, pollution, etc.) (Figure 63).

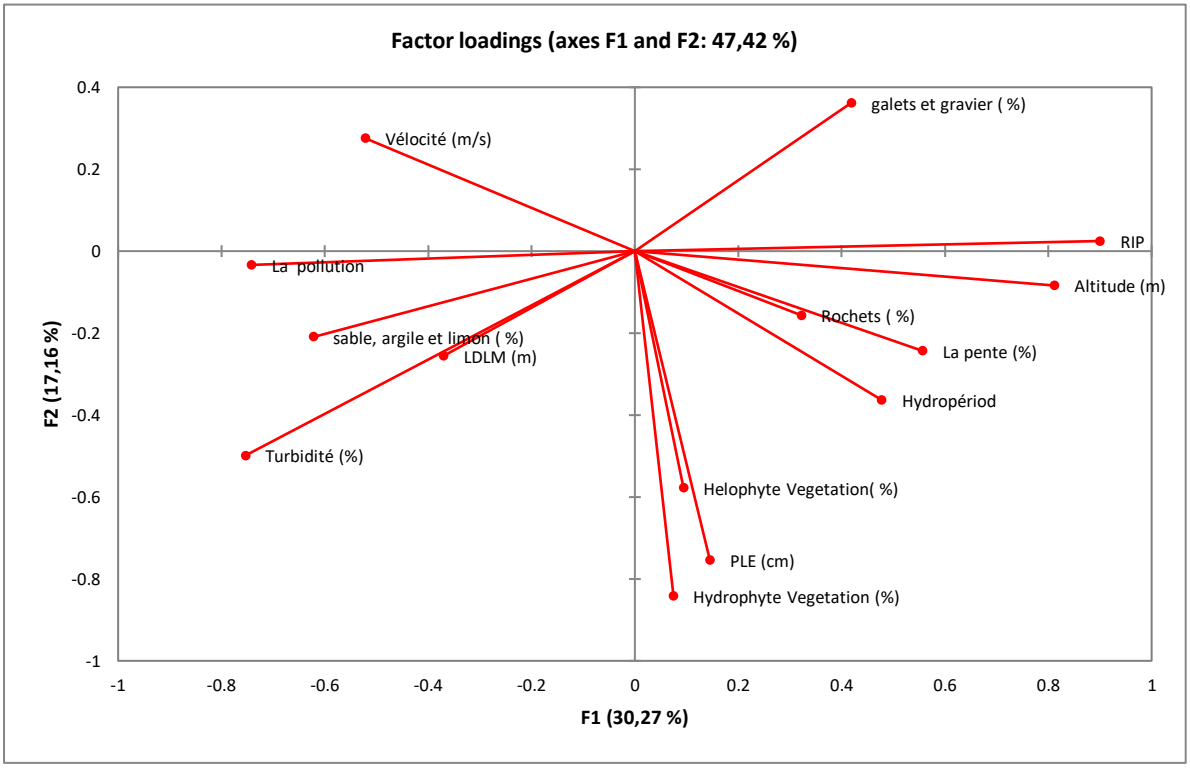


Figure 63 : Représentation graphique de l'analyse factorielle des correspondances (AFC).

L'analyse des valeurs propres issues de l'analyse factorielle révèle que cinq facteurs présentent des valeurs supérieures à 1, conformément au critère de Kaiser, ce qui justifie leur conservation pour l'interprétation. Ces cinq composantes principales expliquent ensemble 75,76 % de la variance totale, ce qui témoigne d'une structuration significative de l'information dans les données initiales. Le premier facteur (F1) est dominant avec 30,27 % de variance expliquée, suivi des facteurs F2 à F5 qui contribuent chacun de manière décroissante (Tableau 21).

Tableau 21 : Valeurs Propres, Variabilité et Pourcentage Cumulé des Composantes Factorielles.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Valeur propre	4.2371	2.4018	1.5996	1.3033	1.0645	0.5356	0.2494	0.1162
Variabilité (%)	30.2652	17.1560	11.4255	9.3094	7.6034	3.8257	1.7813	0.8297
Cumulative %	30.2652	47.4212	58.8466	68.1561	75.7594	79.5851	81.3664	82.1961

Le scree plot, confirme visuellement ce choix avec un coude marqué après la cinquième composante, tandis que les facteurs restants (F6 à F8) n'apportent qu'une faible part de variance (moins de 4 % cumulée), correspondant probablement à du bruit ou à de la variance spécifique. Cette réduction dimensionnelle permet donc une synthèse efficace des données tout en conservant l'essentiel de l'information statistique (Figure 64).

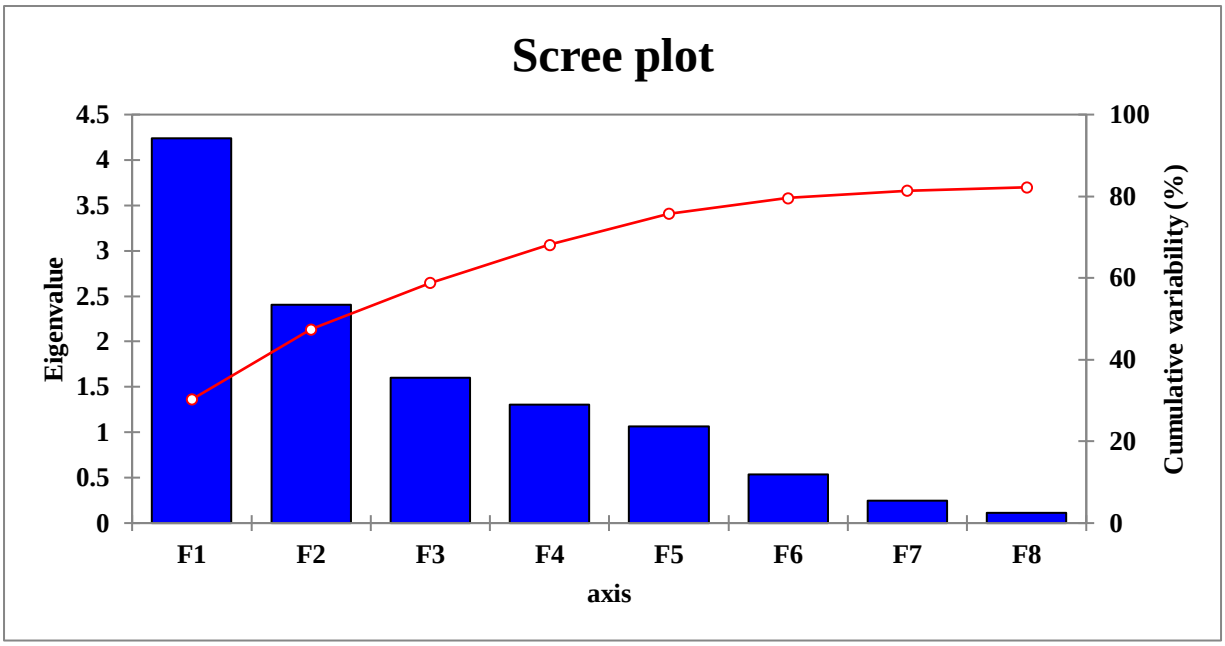


Figure 64 : Scree plot des valeurs propres.

IV.11. Ordre des Ephéméroptères

L'investigation des individus de l'ordre des Ephéméroptères dans ce travail a fait l'objet d'une collaboration de plusieurs collègues doctorants du Laboratoire de conservation des zones humides (LCZH), sous la direction des professeurs Samraoui F. et Samraoui B., dans les zones de travail notamment la wilaya de Khenchela, Oum El Bouaghi, Collo et l'Aurès occidental Batna.

Les écosystèmes d'eau douce fournissent une multitude de services vitaux, tels que la fourniture d'eau potable, les ressources alimentaires, le traitement de l'eau et la gestion des inondations, qui sont essentiels au bien-être des humains (Dudgeon et al., 2006 ; Lynch et al., 2023). Outre leurs rôles écologiques, ces environnements détiennent aussi une grande valeur en termes culturels, éducatifs et scientifiques (Albert et al., 2021 ; Pascual et al., 2024). De plus, ces endroits hébergent une biodiversité remarquable, représentant près de 10 % des espèces animales connues, y compris un tiers des vertébrés, ce qui leur confère le statut de havres de biodiversité mondialement reconnus (Balian et al., 2008 ; Strayer & Dudgeon, 2010).

Toutefois, les écosystèmes d'eau douce connaissent une diminution sans précédent due à diverses actions humaines telles que les modifications de l'utilisation des terres, les extractions d'eau pour l'agriculture et l'industrie, les altérations des régimes hydrologiques, la contamination, l'introduction d'espèces non indigènes, le réchauffement climatique et la surexploitation (Malmquist & Rundle, 2002 ; Geist, 2011 ; Hafiane et al., 2016). L'érosion accélérée des habitats aquatiques, couplée à une réduction inquiétante des populations d'invertébrés et de vertébrés, fait que ces environnements figurent parmi les plus menacés au niveau global (Tickner et al., 2020). Ce contexte alarmant met en relief la nécessité impérieuse d'appliquer des stratégies de conservation et de gestion durable pour stopper le déclin incessant de la biodiversité (Boulton et al., 2016).

Les insectes d'eau douce, qui occupent une place centrale dans ces écosystèmes grâce à leur abondance et leur diversité, font partie des organismes les plus affectés. Plusieurs recherches ont souligné une diminution globale des populations d'insectes aquatiques, illustrant la tendance générale de la perte de biodiversité des insectes (Hallmann et al., 2017 ; Leather, 2018 ; Simmons et al., 2019 ; Möller, 2020).

Au sein de ce groupe, les éphéméroptères (Ephemeroptera) ont une position spécifique en raison de leur apport crucial aux services écosystémiques et de leur importance comme indicateurs biologiques de la santé des écosystèmes aquatiques (Macadam & Stockan, 2015 ; Jacobus et al., 2019). Ils font partie des réseaux trophiques aquatiques et terrestres et représentent une alimentation essentielle pour de nombreuses espèces, notamment les poissons et les oiseaux insectivores (Ormerod et al., 1987 ; Twining et al., 2018). Il est donc crucial de saisir les éléments qui provoquent leur diminution pour la préservation intégrale de la biodiversité des écosystèmes d'eau douce.

Les éphéméroptères fouisseurs ont une importance cruciale dans les processus liés aux rivières, en particulier en ce qui concerne le cycle des nutriments. Ils sont réputés pour leurs apparitions massives, synchronisées et saisonnières (Walters et al., 2018), qui, malgré leur caractère parfois considéré comme une gêne du fait de leur profusion impressionnante, reflètent la santé et la productivité des systèmes aquatiques. Ces apparitions jouent un rôle crucial dans le transfert de biomasse et de nutriments entre les écotones, ayant un impact sur les écosystèmes terrestres et aquatiques (Stepanian et al., 2020).

Les espèces d'éphéméroptères qui creusent sont également particulièrement réceptives aux pesticides, en raison de leur contact direct avec les polluants dissous dans l'eau et la concentration de toxines contenues dans les sédiments. Par conséquent, l'observation de leurs populations offre des données essentielles sur la santé et l'équilibre des écosystèmes d'eau douce. De plus, leur présence et leur nombre sont de bons indicateurs biologiques du degré de contamination des systèmes fluviaux (Winter et al., 2003).

Selon Stepanian et al. (2020), les populations d'éphéméroptères fouisseurs ont subi une diminution significative au cours des dernières décennies, due à divers facteurs de stress environnementaux. Dans les rivières du Midwest des États-Unis, l'eutrophisation progressive due aux déversements agricoles, en lien avec une hypoxie persistante, a conduit à la disparition des espèces appartenant au genre Hexagenia, entraînant des répercussions en chaîne sur les insectivores aériens (Bartlett et al., 2018 ; Everall et al., 2018 ; Spiller & Dettmers, 2019). Même si certaines mesures de préservation ont conduit à une amélioration partielle des populations (Schloesser et al., 2000) et que des recolonisations ont été notées suite à des catastrophes (Britt, 1955), les recherches actuelles indiquent que les tendances démographiques demeurent fluctuantes, mettant en évidence la fragilité durable de ces espèces.

En Algérie, on observe une diminution significative des populations d'insectes aquatiques, en particulier des éphémères, qui s'accompagne de changements importants dans la composition des communautés d'eau douce (Benslimane et al., 2019 ; Morghad et al., 2019). Toutefois, l'information régionale sur les éphéméroptères reste encore restreinte, ce qui complique l'analyse des tendances sur le long terme. La liste de référence élaborée par Thomas (1998) sert de base fondamentale pour les études sur les éphéméroptères en Algérie durant le XXIe siècle (Benhadji et al., 2018, 2019 ; Samraoui et al., 2021a, b ; Labdaoui et al., 2024).

Les progrès en matière de taxonomie ont conduit à l'identification et à la caractérisation officielle de nouvelles espèces auparavant méconnues, comme *Habrophlebia djurdjurensis* (Kechemir et al., 2020). De plus, des recherches récentes ont élargi la connaissance de la faune éphémère en Algérie en ajoutant de nouvelles espèces telles que *Rhithrogena sartori* (Samraoui et al., 2021b). Outre l'identification des espèces, ces études ont approfondi notre compréhension de leur distribution géographique et de leurs cycles biologiques, fournissant ainsi des données écologiques essentielles pour guider la gestion des écosystèmes aquatiques et les stratégies de préservation de la biodiversité (Bouhala et al., 2020a, b).

Bien que des progrès significatifs aient été réalisés dans le domaine de la taxonomie, de l'écologie et de la préservation des éphéméroptères en Algérie, les études dédiées à cet ordre restent relativement restreintes. Cette omission est d'autant plus alarmante que la qualité des eaux des rivières algériennes se détériore largement (Abdennour et al., 2000 ; Belabed et al., 2017 ; Samraoui et al., 2024), alors que les éphéméroptères fouisseurs occupent une place centrale en tant qu'indicateurs biologiques de la contamination de l'eau et des sédiments.

Pour pallier ce manque de connaissances et s'appuyer sur les avancées taxonomiques récentes, cette étude a pour objectifs : (1) d'analyser la phénologie, l'abondance et la répartition des éphéméroptères, y compris les espèces fouisseuses rares, dans le nord-est de l'Algérie ; (2) de mettre à jour l'inventaire régional des espèces dans cette zone maghrébine d'importance écologique ; et (3) d'identifier les habitats prioritaires pour la conservation, évaluer les menaces principales et proposer des actions en faveur de la préservation des populations d'éphéméroptères et des écosystèmes d'eau douce.

L'étude de l'ordre des éphéméroptères a été réalisé sur une zone d'étude plus vaste que celle spécifiée dans la section matériaux et méthodes. Cette recherche se déroule dans quatre zones du nord-est de l'Algérie, caractérisées par une variété géographique et climatique notable, et englobe les principaux bassins versants localisés le long du massif de l'Aurès et de la zone de Collo. Ces zones couvrent un éventail environnemental étendu, depuis les habitats côtiers humides de Collo (Skikda) jusqu'aux territoires semi-arides d'Oum El Bouaghi, Batna et Khenchela (Figure 65).

Le climat le long de la côte est caractérisé par une typologie méditerranéenne, où la période humide s'étend de novembre à avril et la phase aride se déroule de mai à octobre. Les précipitations montrent une progression d'aridité du nord au sud, oscillant entre environ 800 mm/an dans les régions en aval et 350 mm/an dans les zones en amont. Cependant, cette pente est ajustée en fonction de l'altitude, produisant une variété de conditions écologiques qui offre un environnement idéal pour l'évaluation de la diversité des éphéméroptères.

- Le massif de l'Aurès, qui fait partie de l'Atlas saharien, englobe à la fois l'Aurès occidental (Batna) et l'Aurès oriental (Khenchela). Ce relief montagneux est délimité au nord par les Hauts Plateaux constantinois et au sud par la dépression saharienne. L'altitude y est très contrastée, variant de 124 m à Biskra jusqu'à 2 230 m à Khenchela. Le climat y est

diversifié : les versants nord connaissent des hivers rigoureux, avec des températures descendant en dessous de 4 °C, tandis que les zones méridionales bénéficient d'hivers plus doux, avec une moyenne de 13 °C. Les étés sont généralement chauds et arides, avec des températures oscillantes entre 30 °C et 39 °C.

- La région de Khenchela, située à l'extrémité nord du massif de l'Aurès, se trouve à environ 120 km au sud-est de Constantine. Elle se caractérise par un relief très varié, allant de 26 m en dessous du niveau de la mer au niveau du Chott Melghir, jusqu'à 2 169 m au sommet du Djebel Chelia.

- Oum El Bouaghi constitue un complexe de zones humides situé dans les Hauts Plateaux orientaux (35,26°–36,11°N, 6,9°–7,5°E), jouant un rôle de transition naturelle entre la Méditerranée et le Sahara. Bordée au nord par les montagnes de Guelma et au sud par le massif de l'Aurès, cette région présente une grande diversité de paysages : montagnes, vallées et plateaux. Le climat y est semi-aride, avec une température moyenne annuelle de 17,5 °C et des précipitations inférieures à 350 mm. La végétation steppique y est ponctuée de lacs salés temporaires appelés chotts, garaas ou sebkhas.

- La région de Collo, située en zone côtière à 71 km au nord-est de Skikda (36,61°–37,06°N, 6,28°–6,73°E), s'inscrit dans le Tell Atlas, qui s'étend du nord-ouest de la Tunisie au nord-est du Maroc. Cette région bénéficie d'un climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers frais et pluvieux. Les températures annuelles varient entre 2,9°C et 6,6°C pour les minima, et entre 25°C et 28°C pour les maxima. Les précipitations annuelles moyennes oscillent quant à elles entre 800 et 1 400 mm.

Les éphéméroptères ont été échantillonnés mensuellement de juin 2019 à mai 2022 sur 61 sites de cours d'eau répartis dans les quatre régions hydrologiques étudiées (Tableau 22). Sur chaque site, les spécimens ont été collectés à l'aide d'une épuisette de 30 cm de diamètre avec une maille de 500 µm, permettant de prospecter efficacement les différents microhabitats.

Les échantillons récoltés ont été conservés dans de l'éthanol à 80 %, étiquetés avec la date et le lieu de prélèvement, puis transportés au laboratoire pour le tri, l'identification et la classification. L'identification des larves a été réalisée en s'appuyant sur diverses clés taxonomiques et descriptions disponibles dans la littérature (Müller-Liebenau, 1969 ; Bauernfeind & Soldán, 2012 ; Gattolliat et al., 2023).

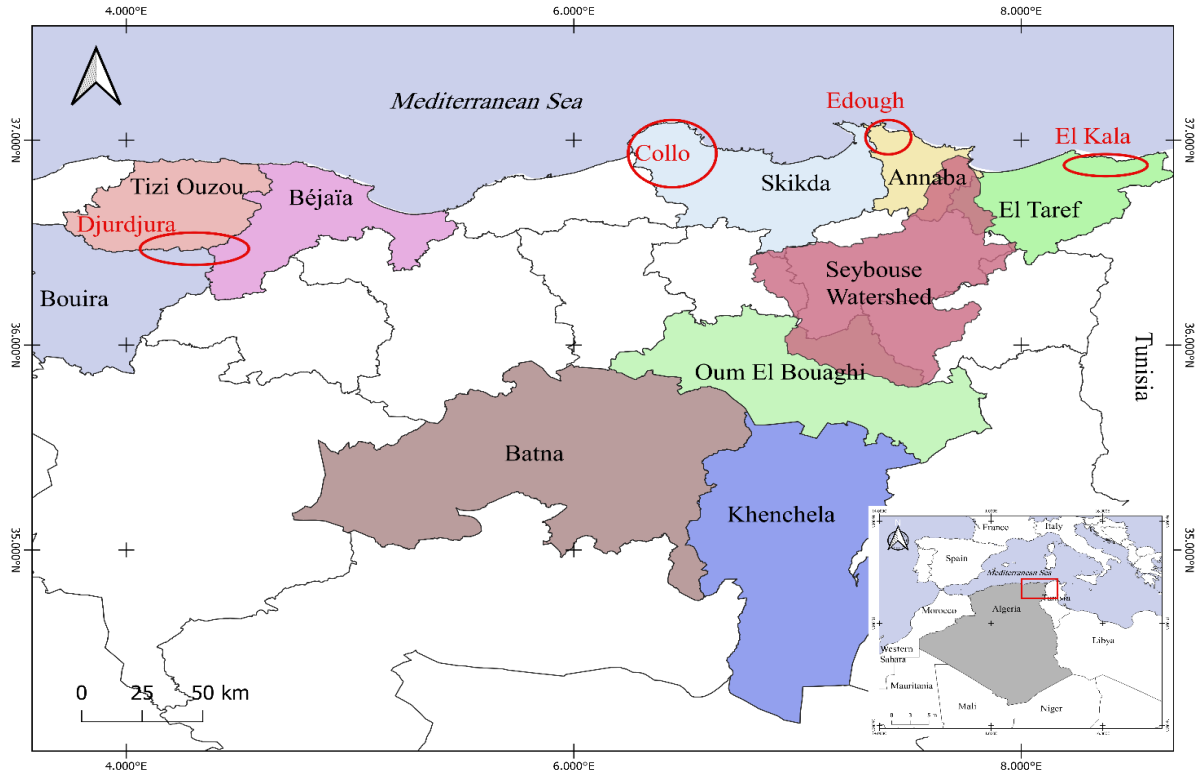


Figure 65 : Carte nord-est Algerian avec la location de prélèvement dans les régions d'étude (Ordre Ephéméroptère).

Des observations sur le terrain ont été effectuées pour mesurer les paramètres clés de l'habitat, y compris la profondeur de l'eau, la largeur du lit du ruisseau et la vitesse du flux d'eau. Des informations supplémentaires ont également été collectées pour chaque lieu, y compris les coordonnées GPS, l'altitude, l'utilisation des terres, la composition du substrat, le taux de couverture par les hélophytes et les hydrophytes, ainsi que les traits de l'hydroperiodicité.

Tableau 22 : Coordonnées des sites d'échantillonnage : Collo, Oum El Bouaghi, Khenchela et Batna.

Code	Name	Region	Coordinates	Altitude (m)	Code	Nom	Region	Coordinates	Altitude(m)
L1	O. Beni Zid	Collo	36°54'25.88"N, 6°28'32.30"E	79	L42	Tarf_1	Oum El Bouaghi	35°44'19.17"N, 7°8'46.06"E	**829**
L2	O. Tizagbane	Collo	37°0'39.41"N, 6°22'29.57"E	492	L43	Tarf_2	Oum El Bouaghi	35°44'0.89"N, 7°7'33.32"E	**829**
L3	O. Tamanart_S1	Collo	37°1'49.90"N, 6°30'19.58"E	47	L44	O. Lazrag_1	Khenchela	35°21'32.63"N, 6°45'9.91"E	**1214**
L4	O. Tamanart_S2	Collo	37°2'56.04"N, 6°30'52.95"E	14	L45	O. Lazrag_2	Khenchela	35°21'28.59"N, 6°45'13.15"E	**1201**
L5	O. Kfayoun	Collo	36°56'16.20"N, 6°18'7.31"E	194	L46	O. Noghis_1	Khenchela	35°19'38.07"N, 6°53'18.18"E	**1551**
L6	O. Zhor_S1	Collo	36°54'25.32"N, 6°19'10.68"E	28	L47	O. Noghis_2	Khenchela	35°19'36.87"N, 6°53'15.87"E	**1546**
L7	O. Zhor_S2	Collo	36°54'51.34"N, 6°17'29.29"E	18	L48	O. Noghis_3	Khenchela	35°19'39.25"N, 6°53'12.76"E	**1529**
L8	O. El Meraya	Collo	36°47'36.87"N, 6°40'8.27"E	58	L49	O. Noghis_4	Khenchela	35°19'42.17"N, 6°53'7.75"E	**1492**
L9	O. Guebli_S1	Collo	36°48'2.88"N, 6°39'54.49"E	61	L50	O. Ibikan_1	Khenchela	35°23'26.61"N, 6°58'42.29"E	**1280**
L10	O. Guebli_S2	Collo	36°51'36.26"N, 6°36'54.46"E	31	L51	O. Ibikan_2	Khenchela	35°24'20.40"N, 6°57'58.38"E	**1110**
L11	O. Gratam	Collo	36°47'37.41"N, 6°37'35.95"E	108	L52	O. Ibikan_3	Khenchela	35°24'43.16"N, 6°57'51.11"E	**1071**
L12	O. Di El Habal	Collo	36°48'25.29"N, 6°34'4.60"E	73	L53	O. Ibikan_4	Khenchela	35°25'6.57"N, 6°57'0.97"E	**1038**
L13	O. Dhimine	Oum El Bouaghi	35°59'49.16"N, 7°16'46.99"E	803	L54	O. Djemri_1	Khenchela	35°20'42.13"N, 7°2'4.16"E	**1248**
L14	O. Dahmen_0	Oum El Bouaghi	36°0'31.28"N, 7°14'1.33"E	818	L55	O. Djemri_2	Khenchela	35°18'39.97"N, 7°1'20.49"E	**1176**
L15	O. Dahmen_1	Oum El Bouaghi	36°1'13.20"N, 7°14'55.50"E	799	L57	O. Chindgouma_2	Khenchela	35°17'36.67"N, 6°59'54.47"E	**1145**
L16	O. Dahmen_2	Oum El Bouaghi	36°2'26.44"N, 7°16'23.63"E	779	L58	Confluence	Khenchela	35°16'22.30"N, 7°1'10.42	**1080**
L17	O. Dahmen_3	Oum El Bouaghi	36°3'12.09"N, 7°19'33.95"E	755	L59	O. Arab_S1	Khenchela	35°6'12.38"N, 6°55'39.03"E	**835**
L18	O. Dahmen_4	Oum El Bouaghi	36°3'29.21"N, 7°20'24.68"E	747	L60	O. Arab_S2	Khenchela	34°57'57.16"N, 6°44'13.00"E	**480**
L19	Timerganine_1	Oum El Bouaghi	35°38'55.15"N, 6°57'52.84"E	836	L61	O. Assoul	Batna	35°10'28.33"N, 6°38'26.01"E	**1310**
L20	Timerganine_2	Oum El Bouaghi	35°38'48.91"N, 6°57'53.24"E	835	L62	O. Rbaa_S1	Batna	35°21'46.91"N, 6°30'52.78"E	**1449**
L21	Timerganine_3	Oum El Bouaghi	35°38'42.00"N, 6°57'56.93"E	836	L63	O. Rbaa_S2	Batna	35°27'28.99"N, 6°31'7.28"E	**1040**
L22	Jemott_1	Oum El Bouaghi	35°38'44.04"N, 7°0'45.17"E	833	L64	O. Rbaa_S3	Batna	35°29'23.58"N, 6°32'7.62"E	**1011**
L23	Jemott_2	Oum El Bouaghi	35°39'3.85"N, 7°0'42.63"E	829	L65	O. Lakhal_S1	Batna	35°21'17.70"N, 6°38'37.20"E	**1341**
L24	Ourkis Dam_1	Oum El Bouaghi	35°53'48.86"N, 6°55'38.87"E	947	L66	O. Lakhal_S2	Batna	35°22'7.22"N, 6°39'3.04"E	**1303**
L25	Ourkis Dam_2	Oum El Bouaghi	35°53'34.80"N, 6°55'48.24"E	947	L67	O. Lakhal_S3	Batna	35°22'50.76"N, 6°39'1.50"E	**1246**
L26	Touzline_1	Oum El Bouaghi	35°56'15.37"N, 6°56'14.47"E	995	L68	O. Bouilef_S1	Batna	35°36'44.15"N, 6°9'1.97"E	**1033**
L27	Touzline_2	Oum El Bouaghi	35°56'18.03"N, 6°56'19.85"E	997	L69	O. Bouilef_S2	Batna	35°37'7.06"N, 6°11'11.35"E	**1068**
L28	O. Sigus	Oum El Bouaghi	36°9'0.08"N, 6°44'1.13"E	720	L70	O. Bouilef_S3	Batna	35°36'8.70"N, 6°12'12.68"E	**1000**
L30	O. Zerhaib_1	Oum El Bouaghi	35°51'53.83"N, 6°24'22.55"E	798	L71	O. Labiod_S1	Batna	35°16'43.25"N, 6°32'28.47"E	**1259**
L32	Tinsilt_1	Oum El Bouaghi	35°53'27.96"N, 6°29'56.55"E	787	L72	O. Labiod_S2	Batna	35°14'42.79"N, 6°21'38.26"E	**610**
L33	Tinsilt_2	Oum El Bouaghi	35°53'57.23"N, 6°28'36.68"E	787	L73	O. Labiod_S3	Batna	35°3'2.38"N, 6°10'6.61"E	**1226**
L34	Tinsilt_3	Oum El Bouaghi	35°53'28.38"N, 6°27'31.48"E	799	L74	O. Bouzina_S1	Batna	35°16'53.12"N, 6°6'56.45"E	**1318**
L35	Ezzemoul_0	Oum El Bouaghi	35°53'18.41"N, 6°30'20.86"E	791	L75	O. Bouzina_S2	Batna	35°16'44.54"N, 6°6'50.21"E	**1299**
L37	Ezzemoul_1	Oum El Bouaghi	35°53'20.43"N, 6°30'22.24"E	791	L76	O. Abdi_S1	Batna	35°19'29.42"N 6°19'30.81"E	**1608**

La liste mise à jour des Éphéméroptères du nord-est algérien a été élaborée en se basant sur les résultats de cette étude actuelle, ainsi que sur les campagnes d'échantillonnage menées entre 2018 et 2022 dans divers lieux : la rivière Seybouse (Samraoui et al., 2021a), El Kala (Samraoui et al., 2021b), le Djurdjura (Labdaoui et al., 2024) et les monts de l'Edough (Figure 66).

Figure 66 : Trois vues des localités : a) Oued Arab, Khenchela (L60), b) Oued Dahman, Oum El Bouaghi (L16), c) O. Agab, Mountagne d'Edough.

IV.11.1. Résultats

Dans les quatre zones étudiées, on a recensé quinze espèces d'éphéméroptères (Tableau 23), ce qui porte à 36 le total des espèces répertoriées dans le nord-est de l'Algérie entre 2018 et 2021 (Tableau 24). Dix de ces espèces sont inédites pour la science : l'une a déjà été documentée (*Centroptilum samraouii* ; Kaltenbach et al., 2022), alors que les neuf autres n'ont toujours pas été formellement décrites. Ces trouvailles englobent sept espèces du genre Habrophlebia, une espèce de Baetidae (*Centroptilum samraouii*) ainsi que deux espèces d'Heptageniidae : *Ecdyonurus sp.* Co et *Rhithrogena sp. EK*.

Par ailleurs, trois espèces fouisseuses ont été identifiées : *Potamanthus luteus* (Potamanthidae), *Ephemera glaucops* (Ephemeridae) et *Ephoron virgo* (Polymitarcyidae).

Tableau 23 : Liste des Ephéméroptères recensés au cours de cette étude à Collo, Oum El Bouaghi, Khenchela et Batna, dans le nord-est de l'Algérie.

Famille et espèces	*Distribution*
Leptophlebiidae	
***Habrophlebia* sp. 12**	L8, L12 (Collo)
***Choroterpes atlas* Soldán & Thomas, 1983**	L3 (Collo), L59, L60 (Khenchela), L69-70 (Batna)
Potamanthidae	
***Potamanthus luteus* (Linné, 1758)**	L3-4 (Collo)
Ephemeridae	
***Ephemera glaucops* Pictet, 1845**	L59 (Khenchela)
Caenidae	
***Caenis luctuosa* (Burmeister, 1839)**	L2-4, L6-7, L8-12 (Collo), L13-15, L18-21, L24-25, L42-43 (Oum El Bouaghi), L44-45, L51, L53, L59-60 (Khenchela), L62-64, L66-70, L3 (Batna)
Baetidae	
***Baetis atlanticus* (Soldán & Godunko, 2006)**	L2-4, L6-8, L12 (Collo), L44-49, L50-54, L57 (Khenchela), L61-67, L69, L71, L74-75 (Batna)
***Baetis pavidus* Grandi, 1949**	L3-4, L6-7, L9 (Collo), L14-18 (Oum El Bouaghi), L44-45, L53, L59-60 (Khenchela), L62-64, L66-73 (Batna)
Baetis gr. alpinus	L2-3, L6, L8, L10, L12 (Collo)
***Baetis dihyae* Benhadji, Dambri & Godunko, 2023**	L44, L47, L49, L51, L54 (Khenchela), L65, L71 (Batna)
***Acentrella sinaica* (Bogoescu, 1931)**	L28 (Oum El Bouaghi), L62-64, L66-69, L72-73 (Batna)
Cloeon gr. dipterum	L8 (Collo), L14-18, L20-21, L24-25, L27, L30, L33, L37, L42-43 (Oum El Bouaghi), L60 (Khenchela), L61, L63-65, L67-68 (Batna)
Heptageniidae	
***Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929**	L14 (Oum El Bouaghi)
***Ecdyonurus* sp. Co**	L2, L6-7 (Collo)
***Ecdyonurus aurasius* Dambri, Benhadji & Sartori, 2022**	L44-46, L50-54, L57, L59-60 (Khenchela), L62, L64-68, L70-71, L73, L75 (Batna)
***Rhithrogena* sp. EK**	L2 (Collo)

Tableau 24 : Liste actualisée des Ephéméroptères recensés entre 2018 et 2022 dans le nord-est de l'Algérie

	Famille et espèces	*Distribution*
	Leptophlebiidae	
1	***Habrophlebia djurdjurensis***	Djurdjura
2	***Habrophlebia* sp. 7**	El Kala
3	***Habrophlebia* sp. 8**	Djurdjura
4	***Habrophlebia* sp. 9**	Edough
5	***Habrophlebia* sp. 11**	Edough, El Kala
6	***Habrophlebia* sp. 12**	Seybouse River; Collo
7	***Habrophlebia* sp. 13**	Djurdjura
8	***Habrophlebia* sp. 17**	Edough; Djurdjura
9	***Choroterpes (Euthraulus) lindrothi* (Peters, 1980)**	Djurdjura
10	***Choroterpes atlas* Soldán & Thomas, 1983**	El Kala; Seybouse River; Collo; Khenchela; Batna; Djurdjura

	Potamanthidae	
11	***Potamanthus luteus* (Linné, 1758)**	El Kala; Seybouse River; Collo
	Polymitarcyidae	
12	***Ephoron virgo* (Olivier, 1791)**	Seybouse River
	Ephemeridae	
13	***Ephemera glaucops* Pictet, 1845**	El Kala; Seybouse River; Khenchela
	Caenidae	
14	***Caenis luctuosa* (Burmeister, 1839)**	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo, O.E.B., Khenchela, Batna, Djurdjura
15	***Caenis pusilla* Navás, 1913**	Seybouse River; Djurdjura
	Baetidae	
16	***Baetis atlanticus* (Soldán & Godunko, 2006)**	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo; Khenchela; Batna; Djurdjura
17	***Baetis pavidus* Grandi, 1949**	El Kala; Seybouse River; Collo; O.E.B.; Khenchela; Batna; Djurdjura
18	***Baetis gr. alpinus***	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo
19	***Baetis dihyae* Benhadji, Dambri & Godunko, 2023**	Khenchela; Batna
20	***Baetis maurus* Kimmins, 1938**	El Kala; Seybouse River
21	***Acentrella sinaica* (Bogoescu, 1931)**	El Kala; O.E.B.; Batna; Djurdjura
22	***Alainites sadati* Thomas, 1994**	El Kala; Seybouse River; Djurdjura
23	***Cloeon gr. dipterum***	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo; O.E.B.; Khenchela; Batna; Djurdjura
24	***Centroptilum samraouii* Kaltenbach, Vuataz & Gattolliat, 2022**	El Kala; Djurdjura
25	***Procloeon stagnicola* Soldán & Thomas, 1983**	El Kala; Seybouse River; Djurdjura
26	***Procloeon* spA**	Seybouse River
27	***Cheleocloeon dimorphicum* (Soldán & Thomas, 1985)**	El Kala
28	***Similicloeon simile* (Eaton, 1870)**	Djurdjura
29	***Labiobaetis neglectus* (Navás, 1913)**	El Kala; Seybouse River
30	***Nigrobaetis rhithralis* Soldán & Thomas, 1983**	El Kala; Djurdjura
	Oligoneuriidae	
31	***Oligoneuriopsis skhounate* Dakki and Guidicelli, 1980**	Seybouse River
	Heptageniidae	
32	***Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929**	El Kala; Seybouse River; O.E.B.
33	***Ecdyonurus aurasius* Dambri, Benhadji & Sartori, 2022**	Khenchela; Batna
34	***Ecdyonurus* sp. Co**	Seybouse River; Collo; Djurdjura
35	***Rhithrogena sartorii* Zrelli and Boumaiza, 2011**	El Kala; Djurdjura
36	***Rhithrogena* sp. EK**	El Kala; Collo; Djurdjura

La section suivante présente un aperçu de la distribution connue et de la phénologie des éphéméroptères fouisseurs en Algérie.

- **Potamanthidae :** *Potamanthus luteus* (Linné, 1758) (Figure 67c)

Répartition passée : Constantine (Eaton, 1899) ; Alger (Lestage, 1915) ; Tafna (Gagneur & Thomas,1988).

Présence dans cette étude : Oued Bougous (El Kala) ; Oued Cherf, un affluent de l'Oued Seybouse.

Croissance et développement larvaire : de novembre à avril/mai.

Émergence : données indisponibles.

- **Ephemeridae :** *Ephemera glaucops* Pictet, 1845 (Figure 67a, b)

Répartition passée : localité non précisée (Eaton, 1883) ; Mascara, Hammam Righa (Navas, 1922a ; Lestage, 1925) ; Oued Bouhamdane, un affluent de l'Oued Seybouse (Navas, 1929) ; Oued Tafna (Gagneur & Thomas, 1988).

Présence dans cette étude : Oued Seybouse, y compris son affluent l'Oued Cherf ; Oued Bougous (El Kala) ; Oued Tafna

Croissance et développement larvaire : janvier à mai.

Émergence : mai.

- **Polymitarcyidae :** *Ephoron virgo* (Olivier, 1791) (Fig. 67c, 68a, b)

Répartition passée : Oued Tafna (Gagneur & Thomas, 1988).

Présence dans cette étude : Oued Seybouse, incluant son affluent l'Oued Cherf.

Croissance et développement larvaire : mai à juillet.

Émergence : de fin juin à fin août.

Figure 67 : a) Larve d'E*phemera glaucops*, b) Adulte d'*Ephemera glaucops*

c) Adulte *Ephoron virgo*, d) Larve *Potamanthus luteus.*

Figure 68 : Larve d'*Ephoron virgo* (a & b).

IV.11.2. Discussion Générale

L'exploration systématique récente effectuée dans diverses zones du nord-est de l'Algérie, s'étendant des montagnes du Djurdjura à la frontière tunisienne, et depuis la côte méditerranéenne jusqu'à l'Atlas saharien, combinée aux progrès réalisés en taxonomie des éphéméroptères, a considérablement enrichi notre compréhension de la répartition des espèces maghrébines. Ces zones, identifiées comme des centres de biodiversité aquatique, hébergent un grand nombre d'espèces endémiques du Maghreb ainsi que des vestiges d'eau douce d'origine afrotropicale. Malgré leur rôle crucial pour l'écosystème, les éphéméroptères demeurent sous-explorés, aucune opération de collecte à grande échelle n'ayant été réalisée depuis les recherches d'Eaton à la fin du XIXe siècle. Par conséquent, les études récentes dans ces régions sont d'une

grande importance à la fois pour la classification des éphéméroptères et la préservation des écosystèmes aquatiques.

De 2018 à 2022, on a référencé un total de 36 espèces d'éphéméroptères dans le nord-est algérien, incluant dix qui sont inédites pour la science. Parmi celles-ci se trouve *Centroptilum samraouii*, récemment identifiée par Kaltenbach et al. (2022). De plus, on a décrit récemment trois espèces microendémiques dans cette région : *Habrophlebia djurdjurensis* (Kechemir et al., 2020), *Ecdyonurus aurasius* (Dambri et al., 2022) et *Baetis dihaye* (Dambri et al., 2023). Cette démarche de prospection a aussi conduit à l'ajout de *Rhithrogena sartori* dans l'inventaire des espèces algériennes (Samraoui et al., 2021b).

L'illustration frappante du nombre impressionnant de nouvelles espèces découvertes est fournie par le genre *Habrophlebia*, ayant subi une évolution remarquable au Maghreb, avec pas moins de sept espèces non documentées identifiées dans le nord-est algérien. Ces espèces nouvelles sont limitées aux milieux collinéens et montagnards, mais leur distribution géographique est étendue, s'étendant de la frontière tunisienne aux montagnes du Djurdjura. Leur identification renforce le modèle croissant d'endémisme au Maghreb, déjà démontré par les espèces marocaines *H. vaillantorum* (Thomas et al., 1999) et *H. dakki* (Alami et al., 2023), ainsi que par les deux espèces algériennes *H. hassainae* (Benhadji et al., 2020) et *H. djurdjurensis* (Kechemir et al., 2020).

Ces résultats remettent également en question certaines anciennes mentions d'espèces européennes dans la région. Notamment, les signalements de *H. fusca* (Thomas, 1998) et *H. consiglioi* (Zrelli et al., 2011) semblent être le fruit de mauvaises identifications, ce qui souligne la nécessité d'une révision taxonomique approfondie et de recherches complémentaires sur la diversité du genre *Habrophlebia* au Maghreb.

Plusieurs facteurs pourraient expliquer la remarquable diversité du genre *Habrophlebia* au Maghreb, notamment sa niche écologique étroite, sa faible capacité de dispersion, ainsi que le rôle du Maghreb en tant que refuge durant les périodes glaciaires. Certaines parties de la région ont également probablement fonctionné comme des « îles biogéographiques » lors des transgressions marines, favorisant ainsi la spéciation.

Parmi les questions non résolues de cette étude figure le statut taxonomique du taxon froid-sténotherme *Baetis gr. alpinus*, largement réparti en altitude dans les cours d'eau côtiers,

mais devenant rare, voire remplacé par *B. maurus* et *B. dihyae*, plus au sud. De même, *B. gr. alpinus* semble rare, voire absent en Algérie occidentale, où seule la présence de *B. maurus* a été confirmée (Gagneur & Thomas, 1988 ; Benhadji et al., 2020). Face à ces incertitudes taxonomiques et écologiques, une révision complète du complexe *B. alpinus* s'impose afin de clarifier ses relations phylogénétiques, ses distributions et ses adaptations écologiques.

Une ambiguïté similaire affecte le complexe *Cloeon gr. dipterum*, qui pourrait inclure *C. peregrinator*, récemment signalé dans l'ouest algérien (Benhadji et al., 2020), ainsi que d'autres taxons encore non décrits. Une révision taxonomique approfondie de ce groupe est nécessaire pour mieux définir les limites spécifiques et améliorer la compréhension de leur écologie et de leur biogéographie.

L'étude a également permis de documenter une autre espèce alticole, *Rhithrogena* sp. EK, qui semble avoir une distribution similaire à celle de *R. sartorii*. À l'exception de *R. sartorii*, endémique de Tunisie et d'Algérie, les cinq autres espèces de *Rhithrogena* connues au Maghreb *R. ayadi*, *R. giudicelliorum*, *R. maria*, *R. ourika* et *R. ryszardi* sont toutes endémiques du Maroc, principalement confinées aux cours d'eau de montagne. *R. sartorii* et la nouvelle espèce découverte sont allotopiques, occupant des ruisseaux distincts au sein des mêmes localités, mais toutes deux fréquentent les radiers des rivières de montagne. Toutefois, *R. sartorii* semble avoir une plus grande valence écologique. Ce genre est particulièrement sensible aux changements environnementaux et connaît un déclin généralisé (Lubini & Sartori, 1994 ; Jacobus et al., 2019 ; Burian, 2024).

Un autre Heptageniidae identifié lors de cette étude est *Ecdyonurus* sp. Co, qui constitue une nouvelle addition à la faune du Maghreb. Jusqu'alors, seules trois espèces y étaient connues : *E. rothschildi* Navás, 1929, *E. ifranensis* Vitte & Thomas, 1988 et *E. aurasius* récemment décrit. Deux autres taxons, *Ecdyonurus venosus var. constantinicus* (Lestage, 1925) et *E. venosus* (Fabricius, 1793), n'ont jamais été confirmés et résultent probablement de mauvaises identifications. La nouvelle espèce est relativement moins commune que *E. rothschildi*, bien qu'elle présente une répartition assez étendue. Comme les espèces de *Rhithrogena*, les deux espèces d'*Ecdyonurus* sont allotopiques, occupant des cours d'eau distincts au sein du même bassin, mais les données préliminaires suggèrent qu'*E. sp. Co* est limitée aux ruisseaux collinéens et montagneux, alors que *E. rothschildi* affiche une valence écologique plus large.

L'étude a également révélé la distribution très restreinte de certaines espèces, apparemment confinées à des bassins versants spécifiques. Parmi celles-ci figurent *Procloeon* sp. A (non décrit), *Oligoneuropsis skhounate* et l'éphémère fouisseur *Ephoron virgo*, tous localisés dans le bassin de la Seybouse. *E. virgo* a par ailleurs été observé dans d'autres grands cours d'eau à eaux chaudes au Maghreb (El Agbani et al., 1992), suggérant que sa distribution est conditionnée par des paramètres hydrologiques particuliers.

De plus, *Choroterpes lindrothi* et *Similicloeon simile* semblent se cantonner aux montagnes du Djurdjura, tandis que *Cheleocloeon dimorphicum* n'a été observé que dans la région d'El Kala. Ces résultats soulignent l'importance des facteurs environnementaux locaux dans la répartition des espèces et la nécessité de mieux comprendre leurs exigences écologiques pour définir des stratégies de conservation ciblées et assurer leur préservation à long terme.

Ces résultats traduisent la richesse et l'originalité de la biodiversité aquatique du nord-est algérien, région identifiée comme un hotspot de biodiversité méditerranéenne (Samraoui et al., 2021b). Toutefois, plusieurs incertitudes taxonomiques persistent, notamment pour les complexes *Baetis gr. alpinus* et *Cloeon gr. dipterum*, justifiant des révisions phylogénétiques approfondies. Ces découvertes soulignent l'importance de renforcer les efforts de conservation face aux multiples pressions anthropiques et aux effets du changement climatique, afin de préserver ce patrimoine biologique unique.

La gestion durable des ressources devra nécessairement concilier les impératifs de conservation avec les besoins humains afin de garantir la préservation de la biodiversité aquatique et des services écosystémiques essentiels qu'elle fournit (Boulton et al., 2016). Un renforcement de la planification de la conservation, des approches de gestion adaptative et une gouvernance améliorée seront essentiels pour inverser le déclin de la biodiversité et maintenir l'intégrité écologique des écosystèmes aquatiques en Afrique du Nord (Erős et al., 2023).

Conclusion

Conclusion et perspectives

Située au centre des Aurès, la wilaya de Khenchela se caractérise par une importante richesse écologique. Elle se trouve à la croisée des zones humides telliennes et des steppes présahariennes arides, constituant un écotone propice à de nombreuses interactions naturelles. Il couvre une variété d'écosystèmes, allant des montagnes aux steppes, avec des ressources en eau particulièrement délicates. Les altitudes, dominées par le massif du Chélia qui atteint 2 328 m, accueillent de vastes forêts d'Atlas cèdres, de pins et de chênes verts. Ces formations forestières ont une importance significative dans le contrôle du climat local, la préservation de la biodiversité et la défense contre l'érosion, positionnant Khenchela comme une zone cruciale pour l'équilibre écologique au niveau régional.

Dans la partie méridionale de la wilaya, les steppes et les grandes plaines semi-arides hébergent une flore typique, dominée par l'alfa et l'armoise. Ces espèces sont cruciales en offrant des ressources pastorales et en aidant à la stabilisation des sols face à une variabilité climatique importante. Cependant, la biodiversité locale, qui regorge d'espèces indigènes et parfois en danger, est confrontée à de nombreuses tensions dues aux actions de l'homme, comme l'urbanisation, la déforestation et les feux de forêt. Cela entraîne une division et une détérioration graduelle des habitats. À ces conséquences, il faut ajouter les conséquences du changement climatique, déjà visibles à travers la hausse des températures, la diminution des précipitations et l'instabilité rapide des écosystèmes, notamment dans les formations forestières et steppiques de Khenchela.

En outre, la région est confrontée à une vulnérabilité grandissante associée à l'augmentation du déficit en eau. Malgré l'existence de ressources naturelles et de réservoirs d'eau sur place, l'approvisionnement en eau devient de plus en plus précaire à cause des sécheresses fréquentes, exacerbées par le changement climatique, et de l'exploitation excessive des ressources aquatiques.

Jusqu'à présent, ces milieux humides, encore largement inexplorés sur le plan scientifique, n'avaient pas été l'objet d'une étude systématique concernant la faune benthique, malgré une intensification de la pression humaine. Cette première étude réalisée sur ce territoire étendu fournit, d'une part, une perspective d'ensemble sur les communautés d'invertébrés benthiques, reconnus comme de très bons bioindicateurs de la qualité des écosystèmes

aquatiques. Par ailleurs, elle fournit des informations cruciales concernant leur distribution et leur mouvement à travers ces milieux.

Dans le contexte de cette recherche, un échantillonnage systématique des macro-invertébrés benthiques a été effectué dans le système d'eau de surface de la zone de Khenchela. La collecte de données a eu lieu de juin 2019 à mai 2021, sur 17 stations dispersées le long de six Oueds. Ces stations se trouvent dans deux importants bassins de la wilaya : le bassin du nord et le bassin du sud. De plus, une analyse environnementale détaillée a été effectuée sur chaque site d'échantillonnage.

L'étude mésologique a révélé une grande variabilité des propriétés physico-environnementales entre les divers Oueds. Dans le bassin versant septentrional, les rivières fluides principalement à travers des régions montagneuses, bordées par une végétation riveraine fournie. En revanche, la végétation dans le bassin versant sud est généralement plus éparse et se limite souvent aux rives.

Les formations forestières prédominent l'usage du sol autour des stations, même si quelques cours d'eau montrent des signes d'anthropisation associés aux zones semi-urbaines et aux pratiques agricoles. Le substrat des lits présente une composition variée, qui va des sables fins aux composants plus grossiers, comprenant des cailloux, des blocs de roche et des dépôts de sable qui forment un agencement complexe. Le débit varie en fonction des endroits : généralement faible à modéré, il a tendance à rester bas dans la plupart des stations, étant donné leur position sur des terrains plats ou légèrement inclinés, bien que certaines zones affichent des débits plus rapides. L'observation des profondeurs reste généralement limitée, tandis que la largeur des lits varie en fonction de la taille et de la forme du cours d'eau analysé.

Un total de 273 spécimens d'Odonates a été comptabilisé lors des diverses explorations. L'étude des données révèle une nette domination des Anisoptères, qui constituent 71 % du total, soit 193 spécimens. Ce groupe est majoritairement composé de la famille des Gomphidae, dominée presque entièrement par l'espèce *Onychogomphus uncatus*, avec un total de 189 spécimens rien que pour elle.

En comparaison, le sous-ordre des Zygoptères ne représente que 29 % des individus collectés, soit 80 spécimens. Au sein de ce groupe, la famille des Calopterygidae est majoritaire,

avec 74 individus appartenant à l'espèce *Calopteryx haemorrhoidalis*, soit 27 % du total des odonates recensés.

En somme, les individus identifiés appartiennent à quatre familles et se divisent en quatre espèces, reflétant une diversité spécifique plutôt restreinte dans les régions analysées. La prévalence marquée des Anisoptères semble associée à leur penchant pour des environnements aquatiques ouverts et en mouvement, alors que la représentation restreinte des Zygoptères, plus sensibles aux variations environnementales, suggère des conditions écologiques moins favorables à leur croissance dans les lieux échantillonnés.

La présence de Trichoptères indique une qualité supérieure des eaux dans les sites échantillonnés. L'analyse taxonomique effectuée sur ce groupe à Khenchela a grandement amélioré la compréhension d'une entomofaune encore méconnue dans cette partie de l'Algérie. C'est effectivement le premier inventaire réalisé sur place. En tout, on a rassemblé 752 spécimens, issus de trois familles et répartis en sept espèces différentes. L'étude a démontré une grande diversité au sein du genre *Hydropsyche*, comprenant cinq espèces, dont la plupart sont relevées pour la première fois dans la région analysée. Pour la seconde fois, *Hydropsyche siltalai e*st signalée en Algérie. L'espèce la plus répandue est *Hydropsyche maroccana Navás*, 1936, qui constitue 66 % de la population avec 495 spécimens, ce qui en fait l'entité prépondérante.

Au cours de la période de recherche, nous avons recueilli un total de 271 spécimens d'Hémiptères répartis en trois familles. Les Gerridae sont les plus nombreux avec 187 spécimens, ce qui constitue 69 % de l'ensemble. Ensuite viennent les Notonectidae, avec 60 spécimens représentant 22 %, et enfin, les Veliidae situés en troisième position avec 24 spécimens, soit 9 % du total.

L'étude menée sur les Éphéméroptères dans les quatre régions hydrologiques majeures (Aurès occidental et oriental Batna et Khenchela, Oum El Bouaghi, Collo (Samraoui et al., 2021a, b ; Labdaoui et al., 2024), a donné une mise à jour significative de la faune (Hezil et al., 2025). Au total, 36 espèces ont été recensées, dont dix nouvelles pour la science, parmi lesquelles *Centroptilum samraouii* (Kaltenbach et al., 2022), ainsi que trois microendémiques récemment décrits : *Habrophlebia djurdjurensis* (Kechemir et al., 2020), *Ecdyonurus aurasius* (Dambri et al., 2022) et *Baetis dihyae* (Dambri et al., 2023).

L'étude a également permis de documenter trois espèces fouisseuses rares en Afrique du Nord : *Potamanthus luteus*, *Ephemera glaucops* et *Ephoron virgo*. Ces espèces, localisées respectivement à El Kala, Oued Seybouse, et ses affluents, se caractérisent par leur étroite association avec les sédiments et leur sensibilité aux stress environnementaux, faisant d'elles d'excellents bioindicateurs de la qualité écologique des milieux lotiques (Hezil et al., 2025).

L'étude entomologique menée dans certaines zones humides de la région de Khenchela constitue une initiative pionnière, susceptible de servir de base et de référence pour les recherches futures portant sur les peuplements des écosystèmes aquatiques. Une connaissance approfondie de la faune et de la flore de ces milieux s'avère en effet indispensable pour assurer leur gestion durable et leur conservation efficace.

La présente étude, concentrée sur la faune benthique, permet de recueillir des données inédites sur un groupe zoologique encore peu étudié en Algérie, en particulier dans la région de Khenchela. La répartition actuelle de nombreuses espèces, y compris les plus communes, demeure mal documentée. Il serait donc pertinent de poursuivre et d'étendre les inventaires spatio-temporels de ces organismes. Par ailleurs, plusieurs aspects méritent un approfondissement, notamment les interactions entre les paramètres physico-chimiques du milieu et la composition des communautés benthiques.

Bien que cette étude représente une première contribution importante, elle reste néanmoins partielle. C'est pourquoi nous recommandons la mise en œuvre d'investigations complémentaires, axées sur l'inventaire et l'écologie des populations benthiques dans ces zones à étage bioclimatique semi-aride.

Cette recherche met l'accent sur le rôle crucial des zones humides temporaires et permanentes dans la formation des communautés des macroinvertébrés et préconise une intégration plus large de ces habitats dans les stratégies de conservation.

Perspectives

Les macroinvertébrés, qui représentent une catégorie taxonomique très variée, occupent une place prépondérante dans l'évaluation de la qualité écologique des environnements aquatiques. Actuellement, leur emploi en tant que bioindicateurs constitue l'un des outils les plus précis et fiables pour identifier rapidement les perturbations environnementales. Cette recherche offre une contribution importante à la compréhension, au suivi et à l'évaluation de la biodiversité aquatique locale. Ils fournissent aussi des fondements scientifiques robustes pour guider les stratégies de préservation, les initiatives de gestion durable et les projets de réhabilitation des écosystèmes lotiques dans la zone étudiée. Ces données contribueront donc à prévoir et diminuer, dans le futur, les principales forces qui causent la dégradation des espèces et de leurs habitats naturels.

La conservation et la restauration des écosystèmes aquatiques, y compris les rivières et les cours d'eau, sont désormais des priorités majeures. Toute action de sauvegarde ou de réhabilitation exige d'abord une compréhension détaillée de la biodiversité qui y est associée.

Au terme de cette recherche, nous pouvons formuler plusieurs recommandations qui sont à la fois scientifiques et axées sur la préservation :

- Il serait judicieux d'étendre cette recherche à une dimension spatiale plus large (incluant davantage de oueds et de stations dans la wilaya de Khenchela) ainsi qu'à une perspective temporelle prolongée (grâce à des suivis périodiques sur plusieurs années et en différentes saisons). Ces recherches devraient inclure non seulement l'évaluation de la qualité de l'eau et des habitats, mais également l'étude de la composition et du dynamisme des communautés de macroinvertébrés benthiques, considérés comme d'excellents bioindicateurs.

- Un mécanisme de contrôle périodique basé sur les macroinvertébrés benthiques est primordial, car ces derniers servent d'indicateurs particulièrement précis de la santé écologique des rivières. Ce suivi faciliterait l'identification précoce de toute dégradation des milieux aquatiques et l'orientation précise des interventions adaptées à la gestion, à la conservation et à la restauration.

- Il est également suggéré d'approfondir les connaissances sur la biodiversité des macroinvertébrés benthiques, qui demeure encore sous-explorée dans cette région. L'identification précise de certains groupes pourrait être améliorée grâce à la réalisation d'études taxonomiques spécifiques. Par ailleurs, des explorations plus étendues pourraient apporter une plus grande richesse aux études, non seulement concernant les macroinvertébrés, mais aussi la faune aquatique dans son ensemble.

La recherche entomologique effectuée dans certaines zones humides de la région de Khenchela représente une initiative précurseur qui pourrait servir de modèle pour les études futures concernant les communautés des écosystèmes aquatiques. Il est en effet crucial de posséder une connaissance détaillée de la flore et de la faune dans ces environnements pour garantir leur préservation et leur gestion durable. L'établissement d'études de longue haleine, conduites sur une période minimale d'un an et englobant un réseau étendu de stations d'échantillonnage, faciliterait l'obtention d'une connaissance plus exacte de la diversité, de la répartition et du mouvement de ces communautés.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- Abdennour, C., Smith, B.D., Boulakoud, M.S., Samraoui, B. & Rainbow, P.S. (2000). Trace metals in marine, brackish and freshwater prawns (Crustacea, Decapoda) from northeast Algeria. Hydrobiologia 432: 217–227.
- Acreman, M., Bergkamp, G., McCartney, M., Dugan, P., & McNeely, J. (2000). *Dams, ecosystem functions and environmental restoration* (Thematic Review II.1, pp. 1–187).
- Ait Mouloud, S. (1988). *Essais de recherches sur la dérive des macro-invertébrés dans l'oued Aïssi: faunistique, écologie et biogéographie* (Doctoral dissertation, USTHB University).
- Albert, J.S., Destouni, G., Duke-Sylvester, S.M., Magurran, A., Oberdoff, T., Reis, R.E. et al. (2021). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. Ambio 50: 85-94. https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8.
- Andersen, N. M. (1982). *The semiaquatic bugs (Hemiptera, Gerromorpha): Phylogeny, adaptations, biogeography, and classification*. Scandinavian Science Press Ltd.
- Andersen, N. M. (1995). Cladistics, historical biogeography and a classification of water striders. *Biological Journal of the Linnean Society*, *55*(1), 1–76.
- Angelier, E. 2000. « Ecologie des eaux courantes». Technique et documentation. Paris.
- Annani, F. (2013). *Essai de biotypologie des zones humides du Constantinois* (Doctoral dissertation, Université de Annaba).
- Annani, F., Alfarhan, A. H., & Samraoui, B. (2012). Aquatic Hemiptera of northern Algeria: Distribution, phenology and conservation. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)*, *67*, 423–435.
- Arab, A. (1989). *Étude des peuplements d'invertébrés et de poissons appliquée à l'évaluation de la qualité des eaux et des ressources piscicoles des oueds Mouzaïa et Chiffa* (Dissertation, USTHB University).
- Arab, A., Lek, S., Lounaci, A., & Park, Y. S. (2004). Distribution patterns of benthic macroinvertebrates in an intermittent river (North Africa). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, *40*(4), 317–327.
- Auber, L. (1999). *Atlas des coléoptères de France*. Boubée.

- Ayral, H. (1966). *Zoologie agricole* (Vol. 2). Collection d'enseignement agricole. J.-B. Baillière et Fils.

B

- B.N.E.F. (2004). *Plan d'aménagement des forêts d'Ouled Yagoub et Beni Ouadjana*. Rapport de travail.
- Balian, E.V., Lévêque, C., Segers, H. & Martens, K. (2008). The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. Hydrobiologia 595: 627–637.
- Barbarin, B. (2003). *Les Odonates (Insectes) de la région Rhône-Alpes : éléments de synthèse et propositions pour leur conservation* (Thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1). 381 pages.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish (2nd ed.)*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Barrault, S. (1995). *Structure et dynamique des peuplements de macroinvertébrés benthiques en milieu lotique: Application à la bioindication de la qualité des eaux* (Doctoral dissertation). Université Claude Bernard Lyon 1.
- Bartlett, A.J., Hedges, A.M., Intini, K.D.,Brown, L.R., Maisonneuve, F.J., Robinson, S.A. et al. (2018). Lethal and sublethal toxicity of neonicotinoid and butenolide insecticides to the mayfly, Hexagenia spp. Environmental Pollution 238: 63-75. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.004
- Basaguren, A., & Orive, E. (1990). The relationship between water quality and caddisfly assemblage structure in fast-running rivers: The river Cadagua Basin. Environmental Monitoring and Assessment, 15, 35–48.
- Bauernfeind, E. & Soldán, T. (2012). The mayflies of Europe (Ephemeroptera). Apollo Books, Ollerup. https://doi.org/10.1163/9789004260887.
- Beaumont, A., & Cassier, P. (1983). *Biologie animale, des protozoaires aux métazoaires épithélioneuriens* (3rd ed., Vol. 2). Dunod Université.
- Bedel, L. (1895). *Catalogue raisonné des Coléoptères du Nord de l'Afrique (Maroc, Algérie, Tunisie et Tripolitaine) avec notes sur la faune des îles Canaries et de Madère. Première partie*. Annales de la Société Entomologique de France. 402 p.
- Belabed, B-E., Meddour, A., Samraoui, B. & Chenchouni, H. (2017). Modeling seasonal and spatial contamination of surface watersand upper sediments with trace

metal elements across industrialized urban areas of the Seybouse watershed in North Africa. Environ Monit Assess 189: 265. https://doi.org/10.1007/s10661-017-5968-5.

- Belaidi, N., Taleb, A., & Gagneur, J. (2004). Composition and dynamics of hyporheic and surface fauna in a semiarid stream in relation to the management of a polluted reservoir. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, *40*(3), 237–248.
- Belaïr, G. De., & Samraoui, B. (1994). Death of lake: Lac Noir in Northern Algeria. *Environmental Conservation*, *21*(2), 169–172.
- Bemmoussat-Dekkak, S., Abdellaoui-Hassaine, K., Sartori, M., & Zamora-Muñoz, C. (2021). Contribution to knowledge of the Trichoptera of northwestern Algeria: New species records for the Algerian fauna and taxonomic remarks for the Maghreb fauna. *Zootaxa*, *5068*(2), 186–210.
- Benchalel, S., & Samraoui, B. (2012). Contribution à la connaissance des libellules (Odonata) du Parc National d'El-Kala (Nord-Est algérien). *Bulletin de la Société zoologique de France*, 137(1-4), 89-99.
- 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), 2610–2621.
- Benhadji, N., Hassaine, K.A. & Sartori, M. (2018) *Habrophlebia hassainae*, a new mayfly species (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from North Africa. Zootaxa 4403: 557– 569. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4403.3.8
- Benhadji, N., Hassaine, K.A., Gattolliat, J-L. & Sartori, M. (2019). Thirty years after: An update to the mayflies composition in the Tafna basin (Algeria). Zoosymposia 16: 22–35.
- Benhadji, N., Sartori, M., Hassaine, K. A., & Gattolliat, J. L. (2020). Reports of Baetidae (Ephemeroptera) species from Tafna Basin, Algeria and biogeographic affinities revealed by DNA barcoding. *Biodiversity Data Journal*, *8*, e57691.
- Benhadji, N., Sartori, M., Hassaine, K.A. & Gattolliat, J-L. (2020). Reports of Baetidae (Ephemeroptera) species from Tafna Basin, Algeria and biogeographic affinities revealed by DNA barcoding. Biodiversity Data Journal 8: 1–23. https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e55596
- Bensaidi, F., & Kirane, A. (2014). *Étude des macroinvertébrés d'Oued Seybouse* (Master's thesis). Université 8 Mai 1945 Guelma. 51 p.

- Benslimane, N., Chakri, K., Haiahem, D., Guelmami, A., Samraoui, F. & Samraoui, B. (2019). Anthropogenic stressors are driving a steep decline of hemipteran diversity in dune ponds in north-eastern Algeria. Journal of Insect Conservation 23: 475-488. https://doi.org/10.1007/s10841-019)00133-1
- Benyacoub, A., & Chabi, Y. (2000). Étude des macroinvertébrés benthiques et qualité biologique de l'oued Beni Bahdel (Tlemcen, Algérie). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, *22*, 41–47.
- Benzina, I., & Si Bachir, A. (2018). Biodiversité des macroinvertébrés benthiques et évaluation multiparamétrique de la qualité des cours d'eau dans la réserve de biosphère du Belezma. *[Publication non précisée]*.
- Bernadet, C. (2013). Indice de qualité biologique des rivières et écologie fonctionnelle des bioindicateurs (Doctoral dissertation, Université Toulouse III - Paul Sabatier). 274 p.
- Bertrand, H. (1951). Les insectes aquatiques. *Bulletin Français de Pisciculture, 161*, 144–155.
- Bigot, L., & Bodot, P. (1973). Contribution à l'étude biocénotique de la garrigue à Quercus coccifera – II. Composition biotique du peuplement des invertébrés. *Vie et Milieu, 23*(2, Sér. C), 229–249.
- Blaustein, L. (1998). Influence of predatory backswimmers (*Notonecta maculata*) on invertebrate community structure in temporary pools. *Hydrobiologia, 385*(1), 207–213.
- Blondel, J. (1979). *Biogéographie et écologie*. Masson, Paris, 173 p.
- Blot, J. (1993). *Le monde animal*. L'Édition de l'École.
- Boissonneault, Y., 2006. Le suivi écologique des rivières au Québec: comparaison des bioindicateurs basés sur les invertébrés et les diatomées benthiques. Présenté comme exigence partielle de la maîtrise en science de l'environnement. Université Du Québec À Trois-Rivières. P36.
- 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.
- Bonnet, M. P., Barroux, G., Seyler, F., Pécly, J., Moreira-Turcq, P., & Lagane, C. (2005). Hydrological process of the Curuaí floodplain (Amazon Basin, Brazil). *Hydrological Processes, 19*(4), 747–758.

- Boucenna, H., Satour, A., Hezil, W., Taferghoust, M., Samraoui, F., & Samraoui, B. (2023). Diversity, distribution, and conservation of the Trichoptera and their habitats in northeastern Algeria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *33*(5).
- Bouchelaghem, H. (2008). *Caractérisation des peuplements odonatologiques du bassin de l'oued Cherf, Seybouse* (Master's thesis). Université 8 Mai 1945 Guelma.
- Bouchelouche, D. (2015). *Étude des macroinvertébrés comme bio-indicateurs de la pollution dans les cours d'eau du nord centre de l'Algérie* (Master's thesis). Faculté des Sciences Biologiques, Université d'Alger.
- Bouchelouche, D., Kherbouche-Abrous, O., Mebarki, M., Arab, A., & Samraoui, B. (2015). The Odonata of Wadi Isser (Kabylia, Algeria): Status and environmental determinants of their distribution. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)*, 70(3), 248–260.
- Bouda, S. (2002). *Étude des macroinvertébrés benthiques et relation avec rétrécissement saisonnier de la superficie d'eau du lac de barrage de la Comoé* (Diplôme d'ingénieur). Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Boudot, J.-P., & Kalkman, V. J. (Eds.). (2015). *Atlas of the European dragonflies and damselflies*. KNNV Publishing.
- Bouhala, Z., Khemissa, C., Márquez-Rodríguez, J., Ferreras-Romero, M., Samraoui, F., & 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.
- Bouhala, Z., Márquez-Rodríguez, J., Chakri, K., Samraoui, F., El-Serehy, H.A., Ferreras-Romero, M. & Samraoui, B. (2020a). The life history of the Ibero-Maghrebian endemic *Oligoneuriopsis skhounate* Dakki and Guidicelli (Ephemeroptera: Oligoneuriidae). *Limnologica*, 81, 125761
- Bouhala, Z., Márquez-Rodríguez, J., Chakri, K., Samraoui, F., El-Serehy, H.A., Ferreras-Romero, M. & Samraoui, B. (2020b). The life cycle of the Maghrebian endemic *Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929 (Ephemeroptera: Heptageniidae) and its potential importance for environmental monitoring. *Limnology*, in press (DOI: 10.1007/s10201- 020-00625-z)

- Boukli Hacene, S. (2012). *Bioécologie des Coléoptères (Arthropodes-Insectes) du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Tlemcen)* (Doctoral dissertation). Université de Tlemcen.
- Boulton, A. J., Ekebom, J. & Gíslason, G. M. (2016). Integrating ecosystem services into conservation strategies for freshwater and marine habitats: a review. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst., 26: 963–985. https://doi.org/ 10.1002/aqc.2703
- Brink, P., Russi, D., & Farmer, A. (2013). *The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands: Executive summary*. Institute for European Environmental Policy (IEEP), Ramsar Secretariat. 16 p.
- Britt, N.W. (1955). *Hexagenia* (Ephemeroptera) population recov-ery in western Lake Erie following the 1953 catastrophe. Ecology 36: 520–522.
- Brocher, F. (1909). Les hémiptères du lac Léman. *Mémoires de la Société Lémanique d'Histoire Naturelle*, **4**, 209-243.
- Buchwald, R. (1992). Vegetation and dragonfly fauna—characteristics and examples of biocenological field studies. *Vegetatio, 101*, 99–107.
- Bueno, F. (1905). Les hémiptères de France. *Revue des insectes*, 12(3), 123–145.
- Burian, S.K. (2024). Nymphs of the Northeastern Nearctic species of *Rhithrogena* Eaton, 1885 (Ephemeroptera: Heptageniidae). Canadian Journal of Arthropod Identification 51: 1-126.
- Burrows, M. (2009). Jumping mechanisms in water striders (Hemiptera, Gerridae). *Journal of Experimental Biology, 212*, 166–173.
- Bush, G. L., & Hu, X. P. (2006). Possible pheromonal basis of reproductive isolation in true bugs (Heteroptera). In G. J. Blomquist & R. G. Vogt (Eds.), *Insect pheromone biochemistry and molecular biology* (pp. 151–180). Elsevier.

C

- C.F. (2012). *Rapport de travail*. Direction de Forêt Khenchela
- Chaib, N., Bouhala, Z., Fouzari, L., Marziali, L., Samraoui, B., & Rossaro, B. (2013). Environmental factors affecting the distribution of Chironomid larvae of the Seybouse wadi, North-Eastern Algeria. *Journal of Limnology, 72*(2), 203–214.
- Chaib, N., Samraoui, B., Marziali, L., & Rossaro, B. (2011). *Chironomid taxocenosis in a South Mediterranean wadi, the Kebir-East (Algeria)*., *88*, 61–75.

- Chandra, G., Bhattacharjee, I., Chatterjee, S. N., & Ghosh, A. (2008). Mosquito control by larvivorous fish. *Indian Journal of Medical Research, 127*(1), 13–27.
- Chapman, A. D. (2013). *Insect morphology and evolution*. Cambridge University Press.
- Chauvin, C., & Guillet, J. (2005). *Les Trichoptères de France et d'Europe*. Biotope.
- Cheng, L. (1985). *Biology of marine insects*. Springer.
- Chibani, S. (2009). *Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et microbiologique des eaux de surface et souterraine de la région de Ain Makhlouf (Wilaya de Guelma)* (Mémoire de magistère, Université 8 Mai 1945 Guelma). 104 p.
- Cosandey, C., Bigot, S., Dacharry, M., Gille, E., Laganier, R., & Salvador, P. (2003). *Les eaux courantes: Géographie et environnement*. Belin.
- Curtis, J. (1835). *Insects*. In R. J. Clark (Ed.), *Appendix (Natural History) to John Ross' narrative of a second voyage in search of a northwest passage* (Vol. 2, pp. 1–64).

D

- Dambri, B., 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* Leach, 1815 biogeography within Maghreb. Insects 14: 899. https://doi.org/10.3390/insects14110899.
- D.P.A.T. (2012). *Rapport de travail*. Direction de la Planification et de l'Aménagement du territoire de la wilaya de Khenchela.
- D.SA. (2011). *Rapport de travail*. Service des statistiques, Direction des services agricoles de la wilaya de Khenchela, pp. 15-31.
- Dajoz, R. (1975). *Précis d'écologie*. Paris : Gauther-Villars.
- Dajoz, R. (1985). *Précis d'écologie* (5e éd.). Dunod.
- Dajoz, R. (2006). *Précis d'écologie. Cours et questions de réflexions* (8e éd.). Dunod.
- Dakki, M. (1987). *Recherches hydrobiologiques sur le Haut Sebou (Moyen Atlas)* (Thèse de doctorat). Université de Rabat, Maroc.
- 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), 478–484.

- Dambri, B.M., Benhadji, N., Vuataz, L. & Sartori, M. (2022). *Ecdyonurus aurasius*, sp. nov. (Insecta, Ephemeroptera, Heptageniidae, Ecdyonurinae), a new micro-endemic mayfly species from Aurès Mountains (north-eastern Algeria). ZooKeys 1121: 17-37. https://doi.org/10.3897/zookeys.1121.89613.
- Debbiche Zerguine, K. (2010). *Contribution à l'étude des Chironomidae (Diptera; Insecta) des mares temporaires de la Numidie orientale: Aspect de biologie, écologie et systématique* (Doctoral dissertation, Université d'Annaba).
- Delmas, R., Pison, I., & Ramonet, M. (2012). *Atmosphère, océan et climat*. Paris : Belin, Bibliothèque scientifique, 319 p.
- Dethier, M.-N. (1985, 1986). *Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises : Hétéroptères aquatiques et rupicoles (genres et principales espèces)*. Association Française de Limnologie.
- DGF. (2002). *Atlas des 26 zones humides algériennes d'importance internationale*. Direction générale des forêts.
- DGF. (2004). *Atlas IV des zones humides algériennes d'importance internationale*. Direction générale des forêts, Ben Aknoun.
- Duby, C., & Robin, S. (2006). *Analyse en composante principale*. Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 80, 53.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D.J., Leveque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny, M.L.J. & Sullivan, C.A. (2006). Freshwater Biodiversity: Importance, Threats, Status and Conservation Challenges. Biological Review, 8, 163.
  182. https://doi.org/10.1017/S1464793105006950.

E

- Eaton, A.E. (1899). List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria with localities. Entomology Monthly Magazine 35: 4-5.
- Eckerlein, H., & Wagner, E. (1969). Die Heteropterenfauna Lybiens. *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae*, *38*, 155–194.
- Edington, J. M., & Hildrew, A. G. (1981). *A key to the caseless caddis larvae of the British Isles with notes on their ecology* (Scientific Publication No. 43). Freshwater Biological Association.

- Edwards, F. W. (1923). On some Algerian species of *Simulium*. *Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie*, *1*, 647–653.
- El Agbani, M.A., Dakki, M. & Bournaud, M. (1992). Etude typologique du Bou Regreg (Maroc) : les milieux aquatiques et leurs peuplements en macroinvertébrés. Bull Ecol. 23 : 103-113.
- El Alami, M., Vuataz, L., El Yaagoubi, S. & Sartori, M. (2023). Another new species of the genus *Habrophlebia* Eaton, 1881 (Ephemeroptera, Leptophlebiidae) from the Maghreb. ZooKeys 1186: 47-70.
- Elder, J. A. (2012). An introduction to the Hemiptera. *Journal of Insect Science*, 12(1), 1–10.
- Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats. *Revue des Travaux du Laboratoire de Botanique*.
- Erös, T., Hermoso, V. & Langhans, S.D. (2023). Leading the path toward sustainable freshwater management: Reconciling challenges and opportunities in historical, hybrid, and novel ecosystem types. WIREs Water 10: e1645.
- Everall, N.C., Johnson, M.F., Wood, P. & Mattingley, L. (2018). Sensitivity of the early life stages of a mayfly to fine sediment and orthophosphate levels. Environmental Pollution 237: 792-802.

F

- Faurel, L., & Laaffite, L. (1949). Facteurs de répartition des cédraies dans le massif de l'Aurès et du Belezma. *Bulletin des Sciences d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, *40*, [pages non précisées].
- Fekir, M. (2010). *Les zones humides en Algérie*. Ecologie, Vitamine DZ. Source d'énergie locale. Alger, Algérie.
- Ferreras-Romero, M., Márquez-Rodríguez, J., & Ruiz-García, A. (2009). Implications of anthropogenic disturbance factors on the Odonata assemblage in a Mediterranean fluvial system. *International Journal of Odonatology*, *12*(2), 413–428. Fischer, S. A., & Cupp, E. W. (1990). The role of *Notonecta undulata* in the suppression of larval mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association*, *6*(3), 513–516.
- Fischer, F. P., & Cupp, E. W. (1990). The Notonectidae of North America (Hemiptera). *Transactions of the American Entomological Society*, *116*(2), 173–220.

- Froutier, S., & Pichod-Viale, D. (1991). *Écosystème, fonctionnement, évolution* (392 p.). Masson.
- Fustec, É., Lefeuvre, J. C., & collaborateurs. (2000). *Fonctions et valeurs des zones humides* (426 p.). Dunod.

G

- Gagneur, J., & Thomas, A. G. B. (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.
- Garciá, N., Cuttelod, A. & Abdul Malak, D. (Eds.) (2010). The status and distribution of freshwater biodiversity in Northern Africa. Gland, Switzerland: IUCN.
- Gattolliat, J-L., Samraoui, B., Benhadji, N., Kechemir, L., Zrelli, S., El Yaagoubi, S., El Alami El Moutaouakil, M. & Sartori, M. (2023). Baetidae (Baetidae, Ephemeroptera) in the Maghreb: state of the art, key, and perspectives. ZooKeys 1139: 137–163. https://doi.org/0.3897/zookeys.1139.94586
- Gaussen, H. (1954). Théorie et classification des climats et microclimats. *Actes du VIIe Congrès International de Botanique*, Paris, 125–130.
- Gauthier, H. (1928). *Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie* (Thèse de doctorat, Université d'Alger, 149 p.).
- Gavin, M. C. (2000). *Insectes, araignées et autres arthropodes terrestres*. Larousse Bordas.
- Geist, J. (2011). Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. Ecological Indicators 11, 1507-1516. https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2011.04.002.
- Geol.Zool. Fac. Sci., Montpellier. (n.d.). *[Titre de l'article ou de l'ouvrage manquant]*, *7*, 1–43.
- Gittelman, S. H. (1975). Physical and behavioral adaptations of *Notonecta* (Hemiptera: Notonectidae) for predation under water. *Behavioral Biology*, *15*(1), 41–51.

- Glèlè Kakaï, R., Salako, V. K., Padonou, E. A., & Lykke, A. M. (2016). Méthodes statistiques multivariées utilisées en écologie. *Annales des Sciences Agronomiques*, *20*(spécial Projet Undesert-UE), 139–157.
- Goaziou, C. (2004). *Identification et analyse des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau bretons*. Rennes : Conseil Régional de Bretagne, Service Environnement. 88 p.
- González, M. A., & Martínez, J. (2011). Checklist of the caddisflies of the Iberian Peninsula and Balearic Islands (Trichoptera). *Zoosymposia*, *5*(1), 115–135.
- Graf, W., Murphy, J., Dahl, J., Zamora-Muñoz, C., & López-Rodríguez, M. J. (2008). Trichoptera. In *Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms* (Vol. 1, pp. [pages manquantes]). Pensoft.
- Grasse, P., Piérre, R., & Dounenc, D. (1998). *Zoologie d'invertébré*. Masson.

H

- Hafiane, M., Hamzaoui, D., Attoui, F., Bouchelouche, D., Arab, A., Alfarhan, A.H. & Samraoui, B. (2016). Anthropogenic impacts and their influence on the spatial distribution of the Odonata of Wadi El Harrach (north-central Algeria). Revue d'Ecologie (Terre et Vie) 71: 239-249
- Hajji, K., El Alami, M., Bonada i Caparrós, N., & Zamora-Muñoz, C. (2013). Contribution à la connaissance des Trichoptères (Trichoptera) du Rif (Nord du Maroc). *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, *37*(3–4), 181–216.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H. et al. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS One, 12, e0185809.
- Haouchine, S. (2011). *Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie* (Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri). 157 p.
- Hardersen, S. (2008). Dragonfly (Odonata) communities at three lotic sites with different hydrological characteristics. *Italian Journal of Zoology*, *75*(3), 271–283.
- Hecher, N., & Tomas, P. (1995). *Statut de l'inventaire de toutes les zones humides de la région méditerranéenne* (WRB n° 38). 146 p.

- Hellawell, J. M. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier. 546 p.
- Hezil, W., Samraoui, F., Satour, A., Taferghoust, M., Boucenna, H., Vuataz, L., & Samraoui, B. (2025). Updated checklist of mayflies from northeastern Algeria with biogeographical and ecological insights (Insecta, Ephemeroptera). *Alpine Entomology*, *9*, 37-49.
- Hoarau, C., & Hoareau, G. (1999). *Bilan bibliographique de deux ordres de larves d'insectes aquatiques, les Ephéméroptères et les Trichoptères : systématique, écologie, biologie et répartition* (p. 598).
- Holzenthal, R. W., Blahnik, R. J., Prather, A. L., & Kjer, K. M. (2007). *Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), caddisflies*. Zootaxa, 1668, 639–698.
- Hu, D. L., Chan, B., & Bush, J. W. M. (2003). The hydrodynamics of water strider locomotion. *Nature, 424*(6949), 663–666.
- Hughes, R. H., & Hughes, J. S. (1992). *Répertoire des zones humides de l'Afrique*. UICN, PNUE et CMS. 141 p.
- Hungerford, H. B. (1919). The life history of *Notonecta undulata*. *University of Kansas Science Bulletin, 11*, 5–11.
- Hutchinson, T. C., & Meema, K. M. (1987). Lead, mercury and arsenic in the environment. *Hydrobiologia, 562*, 217–229.

J

- Jacobus, L.M., Macadam, C.R. & Sartori, M. (2019). Mayflies (Ephemeroptera) and their contributions to ecosystem services. Insects 10: 170. https://doi.org/10.3390/insects10060170.
- Jurd, D., & Richard. (2000). *L'essentiel en biologie animale*. Port Royale Livres.

K

- Kaltenbach, T., Vuataz, L., Samraoui, B., El Yaagoubi, S., El Alami, M. & Gattolliat, J-L.(2022). Two new species of *Centroptilum* Eaton, 1869 from North Africa (Ephemeroptera,Baetidae).ZooKzys 1131: 71-97. https://doi.org/10.3897/zookeys.1131.91017.

- Kechemir, L.H., Sartori, M. & Lounaci, A. (2020). An unexpected new species of *Habrophlebia* from Algeria (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). Zookeys 953: 31-47. https://doi.org/10.3897/zookeys.953.51244.
- Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 74*(1–3), 373–393.
- Khelifa, R., Youcefi, A., Kahlerras, A., Alfarhan, A., Al-Rasheid, K. A. S., & Samraoui, B. (2011). L'odonatofaune (Insecta : Odonata) du bassin de la Seybouse en Algérie : Intérêt pour la biodiversité du Maghreb. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie), 66*(1), 55–66.
- Khettar, S. (2009). *Étude des peuplements de macroinvertébrés et des conditions de milieu de l'oued El Hammam (W. Mascara et Saïda)* [Mémoire de magistère, Université Abou Bekr Belkaïd - Tlemcen].
- Khettar, S., Haouchine-Bouzidi, N., Kherbouche-Abrous, O., Radi, N., Elalami, M., & Beladjal, L. (2022). Taxonomy and distribution of Trichoptera in El Harrach Wadi (Northcentral Algeria) with the first record of *Hydropsyche incognita* in North Africa. *Zootaxa*, *5120*(4), 482–500.
- Kirkaldy, G. W. (1901). *Catalogue of the Hemiptera (Heteroptera) with biological and anatomical references*. London: British Museum (Natural History).

L

- Lamark, J. (2003). Les Mollusques. Dans *Nouveau dictionnaire d'histoire de la nature*.
- 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* (Mémoire de magistère, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou). 228 p.
- Larousse. (1973). *La grande encyclopédie* (Vol. 7, 4033 p.). Librairie Larousse.
- Layachi, N. (1997). *Étude comparative de deux étangs dunaires G. Estah et G. Dakhla (Nord-Est algérien)* (Mémoire d'ingéniorat, Université d'Annaba). 58 p.
- Leather, S.R. (2018) "Ecological Armageddon"− more evidence for the drastic decline in insect numbers. *Ann. Appl. Biol.*, 172, 1-3.

- Leclerq, M. (1971). *Les mouches nuisibles aux animaux domestiques. Un problème mondial*. Vander.
- Legendre, P., & Legendre, L. (1998). *Numerical ecology* (2e éd.). Elsevier Science B.V. (Developments in Environmental Modelling, Vol. 20), 853 p.
- Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical ecology* (3e éd.). Elsevier Science B.V. (Developments in Environmental Modelling, Vol. 24), 1006 p.
- Lehmkuhl, J. F. (1984). Determining size and dispersion of minimum viable populations for land management planning and species conservation. *Environmental Management*, *8*(2), 167–176.
- Lestage, J. A. (1925). Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par M. H. Guathier et liste des espèces connues actuellement de l'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord*, *16*, 8–18.
- Lounaci, A. (1987). *Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'oued Aïssi (Grande Kabylie)* (Thèse de magistère, Université USTHB, Alger). 133 p.
- Lounaci, A., Brosse, S., Ait Mouloud, S., Lounaci-Daoudi, D., Mebarki, N., & Thomas, A. (2000). Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream: A species check-list of the SébaouRiver basin (Tizi-Ouzou). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, *136*, 43–55.
- Lounaci-Daoudi, D. (1996). *Travaux sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des insectes aquatiques du réseau hydrographique du Sébaou* (Thèse de magistère, Université Mouloud Mammeri, Algérie). 152 p.
- Lubini, V. & Sartori, M. (1994). Current status, distribution, life cycle and ecology of *Rhithrogena germanica* Eaton, 1885 in Switzerland: Preliminary results (Ephemeroptera, Heptageniidae). Aquatic Sciences 56: 388-397. https://doi.org/10.1007/BF00877184
- Lynch, A. J.; Cooke, S.J.; Arthington, A.H.; Baigun, C.; Bossenbroek, L.; Dickens, C. et al. (2023). People need freshwater biodiversity. WIREs Water, e1633. https://doi.org/10.1002/wat2.1633].

M

- Mabrouki, Y., Taybi, A. F., Alami, M. E., Wiggers, R., & Berrahou, A. (2020). New data on fauna of caddisflies (Insecta: Trichoptera) from northeastern Morocco with notes on chorology. *Aquatic Insects, 41*(4), 356-390.
- Macadam, C.R. & Stockan, J.A. (2015) More than just fish food: ecosystem services provided by freshwater insects. Ecological Entomology, 40 (Suppl. 1): 113-123.
- Maissait, J., Baehr, J. L., & Pecaud, J. L. (2005). *Biologie animale : invertébrés* (2e éd.). Dunod.
- Malicky, H. & Lounaci, A. (1987). Beiträg zur Taxonomie und Faunistik der Köcherfliegen von Tunesien, Algerien und Marokko (Trichoptera). Opuscula Zoologica Fluminensia 14: 1-20.
- Malicky, H. (2004). *Atlas of European Trichoptera*. Springer.
- Malicky, H., & Lounaci, A. (1987). Beitrag zur Taxonomie und Faunistik der Köcherfliegen von Tunesien, Algerien und Marokko (Trichoptera). *Opuscula Zoologica Fluminensia*.
- Malmquist, B. **&** Rundle, S. **(**2002**)**. Threats to running water ecosystems in the world. Environ. Conserv. 29**:** 134–153
- Mare-Rosca, O., Marian, M., & Mihalescu, L. (2008). Distribution of the communities of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in the basin of Sasar River. *Analele Universităţii din Oradea, Fascicula Biologie, 15*, 36-40.
- Mathieu, R. (1995). *Biologie Campbell*. PERSON Québec.
- 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* (231 p.). Faculté de Biologie.
- Mekki, M. (1998). *Etude comparative de l'écologie de quatre dépressions dunaires du Nord-est algérien* (Mémoire d'ingéniorat). Université d'Annaba.
- Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America* (4th ed.). Kendall Hunt.
- Meziane, N. (2009). *Contribution à l'étude des macroinvertébrés de Oued Seybouse: Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera et Bivalva* (Mémoire de Magister). Université de Guelma.

- Moisan, J. (2006). *Guide d'identification des principales macroinvertébrées benthiques d'eau douce du Québec, surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds* (Direction). 82 p.
- Moisan, J., Gagnon, E., Laporte, Y., Baillargeon, J. P., Pelletier, L., Piedboeuf, N., Hendrycks, E., Cloutier, J., Deschamps, D., Génier, F., & André, M. (2008). *Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. ISBN : 978-2-550-53591-1.
- Moisan, J., Gagnon, E., Pelletier, L., Piedboeuf, N., Laporte, Y., & Audet, R. (2010). *Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. ISBN : 978-2-550-58397-4.
- Møller, A. P. (2020)**.** Quantifying rapidly declining abundance of insects in **E**urope using a paired experimental design. Ecology and Evolution, 10: 2446-2451.
- Moret, L. (1966). *Manuel de paléontologie animal*. Masson.
- 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. Vie Milieu 69: 25-33.
- Moubayed-Breil, A., & Lounaci, A. (2013). Orthocladius (Euorthocladius) kabylianus sp. n., a crenophilous element inhabiting karstic helocrenes and temporary streams in Algeria (Diptera: Chironomidae). *Ephemera*, *14*(1), 25-34.
- Mouthon, L. (1980). Les mollusques dulcicoles. Données biologiques et écologiques. Clés de détermination des principaux genres de bivalves et de gastéropodes de France.
- Müller, K. (1985). The role of spring channels in the formation of the river fauna. *Archiv für Hydrobiologie*, *104*, 199–210.
- Müller-Liebenau, I. (1969). Revision der europäischen Arten der Gattung *Baetis* Leach, 1815 (Insecta, Ephemeroptera). Gewässer und Abwässer 48-49: 1-214.
- Musy, A., & Higy, C. (2004). *Hydrologie: Une science de la nature* (Vol. 21). PPUR presses polytechniques universitaires romandes.

N

- Narsis, S. (2008). *Contribution à l'étude de la pollution de Oued Seybouse : suivi physico-chimique des eaux de la séquence finale* (Diplôme d'ingénieur d'état). Université Badji Mokhtar Annaba. 60 p.
- Navas, L. (1929). Insectes névroptères et voisins Barbarie. Septième série. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle d'Afrique du Nord, 7*, 57–60.
- Neffar, F. (1991). *Contribution à l'analyse phytoécologique du Lac Bleu (Vielle-Calle)* (Mémoire d'ingéniorat). Université d'Annaba. 75 p.
- Ngo, C., & Regent, A. (2008). *Wastes, effluents and pollution. Impact on environnement; Déchets, effluents et pollution. Impact sur l'environnement et la santé* (117 p.).

O

- Oertli, B., Joye, D. A., Castella, E., Juge, R., Cambin, D., & Lachavanne, J.-B. (2002). Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological Conservation, 104*(1), 59-70.
- Ormerod, S.J., Efteland, S. & Gabrielsen, L.E. (1987) The diet of breeding dippers *Cinclus cinclus* and their nestlings in southwestern Norway. Holarctic Ecology, 10**:** 201-205.
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011).*Identification guide of freshwater macroinvertebrates of Spain*. Springer.
- Ouchtati, (1993).Inventaires et écologie des Cinindelidae, Carabidae, Branchinidae (ordre : Coleoptera) du Parc National d'El-Kala (Thèse de magister). Université Badji Mokhtar, Annaba.

P

- Pascual, R., Piana, L., Bhat, S. U., Castro, P. F., Corbera, J., Cummings, D. et al. (2024). The Cultural Ecohydrogeology of Mediterranean-Climate Springs: A Global Review with Case Studies. *Environments*. https//doi.org/10.3390/environments11060110

- Pearce, F., & Crivelli, A. J. (1994). *Caractéristiques générales des zones humides méditerranéennes*. Arles: Tour du Valat, Medwet. (Conservation of Mediterranean wetlands, n°1).
- Peyerimhoff, P. D. (1905). Nouveaux Coléoptères du Nord-Africain (première note). *Bulletin de la Société entomologique de France, 10*(16), 229-230.
- Poisson, R. (1926). Hémiptères aquatiques nouveaux ou peu connus de l'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 17*, 237-247.
- Poisson, R. (1928). Description d'un Micronecta nouveau (Micronecta algirican. sp.) de l'Afrique du Nord (Hemiptera Micronectidae). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 19*, 241-243.
- Poisson, R. (1929a). Micronectes de l'Afrique du Nord (Hemiptera Micronectidae) Micronecta minusculan. sp. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 20*, 45-46.
- Poisson, R. (1929b). Résultats scientifiques de la Mission du Hoggar (1928) – Hémiptères aquatiques (1ère note). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 20*, 87-96.
- Poisson, R. (1929c). Résultats scientifiques de la Mission du Hoggar (1928) Hémiptères aquatiques (2ème note). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, 20*, 112-113.
- Poisson, R. (1933a). Note sur les Mesoveliade la faune française (Hémiptère Mesoveliidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France, 38*, 181-187.
- Poisson, R. (1933b). Les espèces françaises du genre Notonecta et leurs principales formes affines paléarctiques. Contribution à la connaissance de l'espèce chez les Notonectes. *Annales de la Société Entomologique de France, 102*, 317-358.
- Poisson, R. (1933c). Hémiptères aquatiques. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord*, 134-143.
- Poisson, R. (1935). Les Hémiptères aquatiques Sandalisrrhyncha Born. de la faune française. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale, 77*, 455-563.
- Poisson, R. (1936). Sur une nouvelle espèce africaine du genre Laccocoris (Hémiptère Cryptocérate). In *Livre Jubilaire de M. Eugène - Louis Bouvier* (pp. 273-275). Paris.
- Poisson, R. (1938). Les Hémiptères aquatiques de la faune française - Micronectinae. Étude systématique et biologique ; principales espèces paléarctiques. *Annales de la Société Entomologique de France, 107*, 81-120.

- Poisson, R. (1939). Quelques observations sur les Sigaradu sous-genre Parasigara Poisson1935 (Hemiptera, Corixidae) et description d'une nouvelle espèce africaine du genre Hydrometra Latr. (Hemiptera, Hydrometridae). *Bulletin de la Société Entomologique de France, 44*, 103-108.
- Poisson, R. (1940). Contribution à l'étude des Gerris de France et de l'Afrique du Nord (Hemiptera, Gerridae). *Bulletin de la Société des Sciences de Bretagne, 17*, 140-173.
- Poisson, R. (1953). Recherches zoologiques et médicales. Les Hydrocorises du Tassili des Ajjer (Sahara Central). *Institut de Recherches Sahariennes, Université d'Alger. Mission scientifique Tassili des Ajjer (1949)*, 3-22.
- Poisson, R. (1957). *Faune de France*. Paris: Editions Paul Lechevalier.
- Polhemus, J. T., & Polhemus, A. D. (2008). Global diversity of true bugs (Heteroptera; Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia, 595*, 379–391.
- Puri, I. M. (1925). On the life-history and structure of the early stages of Simuliidae (Diptera: Nematocera). Part I. *Parasitology, 17*, 295-337.

R

- Raachi, M. L. (2007). *Étude préalable pour une gestion intégrée des ressources du bassin versant du lac Tonga au Nord-Est Algérien*.
- Ramade, F. (1984). *Éléments d'écologie : écologie fondamentale* (éd. McGraw-Hill). Paris.
- Ramade, F. (1993). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement* (2e éd.). Dunod / Ediscience International. Paris.
- Ramade, F. (1994). *Éléments d'écologie : écologie fondamentale*. Dunod. Paris.
- Ramade, F. (2002). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement* (2e éd.). Dunod. Paris.
- Ramade, F. (2003). *Éléments d'écologie : écologie fondamentale*. Dunod. Paris.
- Ramade, F. (2008). *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Dunod. Paris.
- Ramsar Convention Secretariat. (1971). *Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat (Ramsar, Iran, 2 February 1971, as*

amended by the Paris Protocol, 1982 and the Regina Amendments, 1987). Ramsar Convention Secretariat.

- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates* (pp. 1–9). Chapman & Hall.
- Roset, N. (2013). *Bio-indication : de l'écologie des communautés aux indicateurs standardisés : Une prise en compte progressive de la vie aquatique*. ONEMARA.
- Rossaro, B., Boggero, A., Lencioni, V., Marziali, L., & Solimini, A. (2006). Tools for the development of a benthic quality index for Italian lakes. *Journal of Limnology, 65*(1), 41–51.

S

- Sacchi, C. F., & Testard, P. (1971). *Écologie animale : organismes et milieu*. Paris: Doin.
- Samraoui, B. (2009). Seasonal ecology of Algerian Lestidae (Odonata). *International Journal of Odonatology, 12*, 383–394.
- Samraoui, B., & Corbet, P. S. (2000a). The Odonata of Numidia. I. Status and distribution. *International Journal of Odonatology, 3*, 11–25.
- Samraoui, B., & Corbet, P. S. (2000b). The Odonata of Numidia. Part II: Seasonal ecology. *International Journal of Odonatology*, *3*(1), 27–39.
- Samraoui, B., & De Belair, G. (1997). The Guerbes-Senhadja wetlands (NE Algeria). Part I: An overview. *Ecologie*, *28*(3), 233–250.
- Samraoui, B., & De Belair, G. (1998). Les zones humides de la Numidie Orientale : Bilan des connaissances et perspectives de gestion. *Synthèse (Numéro spécial)*, *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., Benyacoub, S., Mecibah, S. & Dumont, H.J. (1993). Afrotropical libellulids in the lake district of El Kala, North-East Algeria, with a rediscovery of *Urothemis e. edwardsi* (Selys) and *Acisoma panorpoides ascalaphoides* (Rambur) (Anisoptera: Libellulidae). Odonatologica 22: 365-372.
- Samraoui, B., Bouhala, Z., Chakri, K., Marquez-Rodriguez, J., Ferreras-Romero, M., El- Serehy, H.A. et al. (2021a) Environmental determinants of mayfly assemblages

in the Seybouse River, north-eastern Algeria (Insecta: Ephemeroptera). Biologia76: 2277– 2289. https://doi.org/10.1007/s11756-021- 00726-9

- Samraoui, B., Bouhala, Z., Garcia, A. R., Márquez-Rodríguez, 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), 4845–4844.
- 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 31: 3357–3369. https://doi.org/10.1002/aqc.3719
- Samraoui, B., Samraoui, F. & Olah, J. (2024). Trichoptera of northeastern Algeria : New species, noteworthy records, and a review of the genus *Hydropsyche* (Hydropsychidae). Opusc. Zool. Budapest 55: 59-96.
- Samraoui, B., Segers, H., Maas, S., Baribwegure, D. & Dumont, H.J. (1988). Rotifera, Cladocera, Copepoda, and Ostracoda from coastal wetlands in northeast Algeria. Hydrobiologia 386: 183-193. https://doi.org/10.1023/A:1003538730152
- Samraoui, K.R., Chelaghmia, M.L. & Samraoui, B. (2024). Multivariate analysis of water quality in the Seybouse river: implications for pollution management. Environmental Quality Management 34. https://doi.org/10.1002/tqem.22342
- Satha, A. Y., & Samraoui, B. (2017). Environmental factors influencing Odonata communities of three Mediterranean rivers: Kebir-East, Seybouse, and Rhumel wadis, northeastern Algeria. *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, *72*(3), 314–329.
- Satha, H. (2014). *Évaluation de l'intégrité écologique des eaux de l'oued Seybouse* (Mémoire de Master). Université de Guelma. 111 p.
- Satour, A., Hezil, W., Taferghoust, M., Boucenna, H., Samraoui, F., & Samraoui, B. (2024). Land use and beyond: Unraveling environmental determinants of odonate assemblages in northeastern Algeria. *International Journal of Odonatology*, *27*(1), 172–186. https://doi.org/10.48156/1388.2024.1917289.
- Secrétariat de la Convention de Ramsar. (2013). *Le Manuel de la Convention de Ramsar : Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971)* (6e éd.). Gland, Suisse : Secrétariat de la Convention de Ramsar.
- Schloesser, D.W., Krieger, K.A., Ciborowski, J.J.H., Corkum, L.D., 2000. Recolonization and possible recovery of burrowing mayflies (Ephemeroptera:

Ephemeridae: *Hexagenia* spp.) in Lake Erie of the Laurentian Great Lakes. J. Aquat. Ecosyst. Stress Recovery 8, 125–141

- Schuh, R. T., & Slater, J. A. (1995). *True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): Classification and natural history*. Cornell University Press.
- Sekhi, S., Haouchine, S., Lounaci-Daoudi, D., El Alami, M., & Lounaci, A. (2016). Contribution à la connaissance des Trichoptères de Grande-Kabylie (Algérie) [Trichoptera]. *Ephemera*, *17*(1), 51–69.
- Sellam, N., Amador, V., Zouggaghe, F., & Moulai, R. (2016). L'utilisation des Coléoptères, Éphéméroptères et Diptères comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques oueds en Algérie. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, *80*, 47–56.
- Seurat, L. G. (1934). Études zoologiques sur le Sahara central. Mission du Hoggar III (Fév-Mai 1928). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, *4*, 5–195.
- Simmons, B.I., Balmford, A., Bladon, A.J., Christie, A.P., De Palma, A., Dicks, L.V. et al. (2019). Worldwide insect decline: An important message, but interpret with caution. Ecol. Evol. 9, 3678-3680.
- Skinner, J., & Zalewski, S. (1995). *Fonctions and valeurs of Mediterranean wetlands* (Vol. I, 111 p.). MedWet/WI/ICONA.
- Soltner, D. (1984). *Les bases de la production végétale. Tome 1 : Le sol* (6e éd.). Éditions Techniques Agricoles.
- Spence, J. R., & Andersen, N. M. (1994). Biology of water striders: Interactions between systematics and ecology. *Annual Review of Entomology*, *39*(1), 101–128.
- Spiller, K.J. & Dettmers, R. (2019). Evidence for multiple drivers of aerial insectivore declines in North America. Condor 121: 1-13. https://doi.org/ 10.1093/condor/duz010
- Stepanian, P.M., Entrekin, S.A., Wainwright, C.E., Mirkovic, D., Tank, J.L. & Kelly, J.F. (2020). Declines in an abundant aquatic insect, the burrowing mayfly, across major North American waterways. PNAS 117, 2987-2992.
- Strayer, D.L. & Dudgeon, D. (2010). Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. Journal of the North American Benthological Society 29: 344-358.

- Subramanian, K., Ali, S., & Ramchandra, T. (2008). Odonata as indicators of riparian ecosystem health: A case study from southwestern Karnataka, India. *Fraseria (NS)*, *7*, 83–95.

T

- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2000). *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie* (588 p.). CNRS Éditions.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2003). *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie* (2e éd., 587 p.). CNRS Éditions.
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2010). *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie* (Vol. 15, 607 p.). CNRS Éditions.
- Taferghoust, M., Samraoui, F., Boucenna, H., Satour, A., Hezil, W., Bouhala, Z., & Samraoui, B. (2025). Environmental drivers of backswimmer diversity and distribution in Northeastern Algeria's freshwater systems (Heteroptera: Nepomorpha). *Biologia*, 1-12.
- Terki, F. (1997). *Étude comparative de deux dépressions dunaires : le Lac Bleu et la Saulaie (Parc National d'El-Kala)* (Mémoire de fin d'études, 57 p.).
- Thomas, A. (1998). A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 134, 13–20.
- Tickner, D., Opperman, J.J., Abell, R., Acreman, M., Arthington, A.H., Bunn, S.E. et al. (2020). Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: An emergency recovery plan. BioScience 70: 330-342.
- Tobias, D., & Tobias, W. (2008). *Caddisflies of the West Palaearctic and Afrotropical regions of Africa*. Working documents.
- Touati, L. (2008). *Distribution spatio-temporelle des genres Daphnia et Simocephalus dans les mares temporaires de la Numidie* (Mémoire de magistère, Université 08 Mai 1945, Guelma).
- Touchart, L. (2003). *Hydrologie : mers, fleuves et lacs* (190 p.). Armand Colin.
- Touzin, D. (2008). *Utilisation des macroinvertébrés bentiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec* (Mémoire, Université Laval, Canada).

- Touzin, D., & Roy, M. (2008). *Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec* (40 p.). Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval.
- Turak, E., & Waddelle, N. (2001). Development of AusRivAS for New South Wales. In *NSW Environment Protection Authority* (pp. 254–271). Sydney.
- Twining, C.W., Shipley, J.R., Winkler, D.W. (2018). Aquatic insects rich in omega-3 fatty acids drive breeding success in a widespread bird. *Ecol. Lett.*, 21, 1812-1820.

V

- Vaillant, F. (1955). *Recherches sur la faune madicole de France, de Corse et d'Afrique du Nord* (Mémoires du Muséum d'Histoire Naturelle, 11, pp. 1–258). Paris: Muséum d'Histoire Naturelle.
- Vieira-Lanero, R. (2000). *Las larvas de los Tricópteros de Galicia (Insecta: Trichoptera)*. University of Santiago de Compostela.
- Virginie, A., Juliette, R., & Soizic, M. (2010). Traits biologiques et écologiques, intérêt et perspectives pour la bio-indication des pollutions toxiques. *Sciences Eaux & Territoires*, (01), 46-51.

W

- Wallace, I. D., Wallace, B., & Philipson, G. N. (1990). *A key to the casebearing caddis larvae of Britain and Ireland*. Freshwater Biological Association Scientific Publication, 43, 1–91.
- Walters, D.M., Wesner, J.S., Zuellig, R.E., Kowalski, D.A. & Kondratieff, M.C. (2018) Holy flux: Spatial and temporal variation in massive pulses of emerging insect biomass from western U.S. rivers. Ecology, 99, 238-240.
- Wiberg-Larsen, P. (2008). Overall distributional patterns of European Trichoptera. *Ferrantia*, 55, 143–155.
- Williams, M. (1990). *Wetlands: A threatened landscape*. Basil Blackwell.
- Wills, T. C., Baker, E. A., Nuhner, A. J., & Zorn, T. G. (2006). Response of the benthic macroinvertebrate community in a northern Michigan stream to reduced summer streamflows. *River Research and Applications*, 22, 819–836.
- Wilson, E. O., & Peter, F. M. (Eds.). (1988). *Biodiversity*. National Academy Press.

- Winter, J.G., Duthie, H.C. & Nalewajko, C. (2003). The use of *Hexagenia* (Ephemeroptera: Ephemeridae) as a bioindicator of sediment contamination in the Detroit River. Journal of Great Lakes Research 29: 367-376.

Y

- Yalles-Satha. (2017). *Contribution à l'étude des peuplements odonatologiques des oueds du Nord-est algérien* (Doctoral dissertation, Université de Guelma).
- Yasri, N., Vinçon, G., & Lounaci, A. (2013). A new *Amphinemura* from Central Maghreb (Algeria, Tunisia): *A. berthelemyi* sp. n. (Plecoptera: Nemouridae). *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, *86*, 25–33.
- 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 Entomogischen Gesellschaft 86: 175-188.

Z

- Zaafour, D. (2012). *Impact des décharges sauvages sur les zones humides de la région d'El-Tarf* (Thèse de doctorat, Université d'Annaba).
- 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*.
- Zrelli, S., Boumaïza, M., Béjaoui, M., Gattolliat, J.L. & Sartori, M. (2011a). New reports of mayflies (Insecta : Ephemeroptera) from Tunisia. Revue Suisse de Zoologie 118: 3-11.

Liste des publications

- Hayat Boucenna, Abdellatif Satour, Meriem Taferghoust, **Wissem Hezil** Farrah Samraoui, Boudjéma Samraoui "**Diversity, distribution, and conservation of the Trichoptera and their habitats in north-eastern Algeria**" Journal of Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems.
  First published: 20 March 2023/ https://doi.org/10.1002/aqc.3931

- Abdellatif Satour,**Wissem Hezil**, Meriem Taferghoust , Hayat Boucenna , Farrah Samraoui , Boudjéma Samraoui "**Land use and beyond: unraveling environmental determinants of odonate assemblages in northeastern Algeria**"
  International Journal of Odonatology, Volume 27, Pages 172-186, 2024
  https://doi.org/10.48156/1388.2024.1917289
  Published: 30 July 2024 (**Received**: 27 August 2023, **Accepted**: 25 June 2024).

- Meriem Taferghoust, Farrah Samraoui, Hayat Boucenna, Abdellatif Satour, **Wissem Hezil**, Zineb Bouhala, Boudjéma Samraoui "**Environmental drivers of backswimmer diversity and distribution in Northeastern Algeria's freshwater systems (Heteroptera: Nepomorpha)**" Journal of Biologia.

- **Wissem Hezil**, Farrah Samraoui, Abdellatif Satour, Meriem Taferghoust, Hayet Boucenna, Laurent Vuataz, Jean-Luc Gattolliat, Michel Sartori, Boudjéma Samraoui" **Updated Checklist of Mayflies from Northeastern Algeria with Distribution and Ecological Insights into Three Burrowing Species (Insecta: Ephemeroptera)**"

Conférences

- **HEZIL Wissem**, Tafrghoust Meriem, Yaacoub Hafida, Dellaa Yasmina **"Cedrus atlantica biodiversity in the Aures region in relation to the industrial effluents of a BaSO4 chemical pollutant and impacts on chlorophyll"** The XV International Seminar on "Plant ecology and conservation in the Mediterranean area" will be held in Linguaglossa (Catania, Sicily, Italy) from Tuesday 6th to Saturday 10th June 2023.

- **HEZILWissem,** Tafarghoust Meriem, Samraoui Farrah, Samraoui Boudjemaa **"The biodiversity of aquatics insects in Khenchela wadis"** International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and Forest Ecosystems: (In support of sustainable development) On 29 and 30 March 2021 in M'sila, Algeria.

- **Wissem HEZIL**, Meriem TAFRGHOUST, **"Impacts des effluents industriels d'un polluants chimique $BaSO_4$ sur la chlorophylle de *Cedrus atlantica* dans une région des Aurès"** First International Seminar Pollution , Health, Environement and Bio-monitoring 27 28 December 2021 Skikda-Algeria.

- **Wissem HEZIL**, *Yasmina DELLAA, Abdelatif Satour, Manel Djehaiche , Soltana Hamadou* **"Etude Comparative de l'hydrochimie et la physicochimie de deux Sources Thermales, Djaarir et Tamersit"** The 1st International Hybrid conference on Climate Change, Georesources and Sustainable Development 1st I2CGSD 2022.

Alpine Entomology 9 2025, 37–49 | DOI 10.3897/alpento.9.156544

PENSOFT

Alpine Entomology

Updated checklist of mayflies from northeastern Algeria with biogeographical and ecological insights (Insecta, Ephemeroptera)

Wissem Hezil[1,2], Farrah Samraoui[1,2], Abdellatif Satour[1,2], Meriem Taferghoust[1,2], Hayat Boucenna[1,2], Laurent Vuataz[3,4], Jean-Luc Gattolliat[3,4], Michel Sartori[3,4], Boudjéma Samraoui[5,6]

1 *Laboratoire de Conservation des Zones Humides, University 8 May 1945 Guelma, Guelma, Algeria*
2 *Department of Ecology, University 8 May 1945 Guelma, Guelma, Algeria*
3 *Department of Zoology, State Museum of Natural Sciences (Naturéum), Lausanne, Switzerland*
4 *Department of Ecology and Evolution, University of Lausanne (UNIL), Lausanne, Switzerland*
5 *Department of Biology, University Badji Mokhtar, Annaba, Algeria*
6 *Algerian Academy of Sciences and Technologies, El Madania 16015, Algeria*

https://zoobank.org/F889239A-DD48-468D-B265-FC85642E92CB

Corresponding author: Boudjéma Samraoui (bsamraoui@gmail.com)

Academic editor: Dávid Murányi ♦ **Received** 21 April 2025 ♦ **Accepted** 3 July 2025 ♦ **Published** 24 July 2025

Abstract

Mayflies (Ephemeroptera) play a crucial role in nutrient cycling and energy transfer between ecotones, making them key indicators of freshwater ecosystem health. As part of a broader study conducted between 2018 and 2022, a survey of rivers and streams across four regions in northeastern Algeria recorded 15 mayfly species, contributing to an updated regional checklist and mapping the distribution of 36 species. Notably, ten species were putatively new to science, with nine awaiting formal description. The survey also documented two rarely recorded burrowing mayfly species and one interstitial species in North Africa, whose mass emergences serve as valuable bioindicators of riverine ecological integrity. Their close association with sediment or hyporheic zones, combined with a high sensitivity to environmental stressors, makes them effective for cost-efficient, rapid assessments of contaminants in fluvial systems. This study advances knowledge of mayfly taxonomy, biogeography, and ecology in the region while providing essential data for freshwater conservation efforts.

Key Words

Aquatic insects, biodiversity, bioindicators, burrowing mayflies, freshwater conservation, Maghreb, North Africa, species distribution

Introduction

Freshwater ecosystems provide a diverse array of essential services, including drinking water supply, food resources, water purification, and flood regulation, all of which are crucial to human well-being (Dudgeon et al. 2006; Lynch et al. 2023). Beyond their ecological functions, these ecosystems hold significant cultural, educational, and scientific value (Albert et al. 2021; Pascual et al. 2024). They also support an extraordinary level of biodiversity, harbouring approximately 10% of all known animal species, including one-third of all vertebrates, making them globally recognised biodiversity hotspots (Balian et al. 2008; Strayer and Dudgeon 2010).

However, freshwater ecosystems are experiencing unprecedented declines due to multiple anthropogenic stressors, including land-use changes, flow modification, pollution, invasive species, climate change, and overexploitation (Malmquist and Rundle 2002; Geist 2011; Hafiane et al. 2016). The rapid degradation of freshwater habitats, coupled with alarming declines in both plants, invertebrate and vertebrate populations, places these ecosystems among the most threatened worldwide (Tickner et al. 2020). This crisis underscores the urgent need for

Copyright *Wissem Hezil et al.* This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

sustainable management and conservation strategies to mitigate further biodiversity loss (Boulton et al. 2016).

Among the most affected organisms are freshwater insects, which play a key role in these ecosystems in terms of both abundance and diversity (Vilenica et al. 2022). A growing body of research has documented a global decline in aquatic insect populations, mirroring broader insect biodiversity losses (Hallmann et al. 2017; Leather 2018; Simmons et al. 2019; Møller 2020; Roth et al. 2020). Within this group, mayflies (Ephemeroptera) are particularly important, providing a wide range of ecosystem services and serving as critical indicators of freshwater ecosystem health (Macadam and Stockan 2015; Sartori and Brittain 2015; Jacobus et al. 2019). As an integral part of aquatic and terrestrial food webs, they serve as essential prey for predatory aquatic insects, fish, and insectivorous birds (Ormerod et al. 1987; Twining et al. 2018). Understanding the factors driving their decline is therefore crucial for the broader conservation of freshwater biodiversity.

Of the 42 recognised families, seven (Ephemeridae, Euthyplociidae, Ichthybotidae, Polymitarcyidae, Palingeniidae, Potamanthidae, and Behningiidae) are collectively known as burrowing mayflies (Ogden et al. 2009). Recent phylogenomic research suggests that Potamanthidae is a sister clade to all other burrowing families (Miller et al. 2018). With the exception of Behningiidae, burrowing mayflies are uniquely characterised by the presence of mandibular processes or tusks (McCafferty 2004).

Burrowing mayflies play a crucial role in fluvial processes, particularly nutrient cycling. They are well known for their synchronised, seasonal mass emergences (Walters et al. 2018), which, despite often being considered a nuisance due to their sheer abundance, signify functional and productive hydrosystems. These emergences contribute significantly to the transfer of nutrients and biomass across ecotones, influencing both aquatic and terrestrial ecosystems (Stepanian et al. 2020). Burrowing mayflies also include species that are particularly sensitive to pesticides, as they are exposed to contaminants through direct contact with dissolved pollutants in water and the accumulation of toxins stored in sediments. Consequently, monitoring their populations provides valuable insights into the health and stability of freshwater ecosystems, while they serve as effective bioindicators of contamination levels in fluvial systems (Winter et al. 2003).

Burrowing mayflies have undergone significant population declines in recent decades due to various environmental stressors (Stepanian et al. 2020; Schloesser et al. 2014). In Midwestern waterways of the United States, increased eutrophication from agricultural runoff, coupled with chronic hypoxia, has led to the disappearance of *Hexagenia* species, triggering cascading effects on aerial insectivores (Bartlett et al. 2018; Everall et al. 2018; Spiller and Dettmers 2019). While conservation efforts have supported partial recovery (Schloesser et al. 2000), and recolonization has been observed following catastrophic events (Britt 1955), recent studies reveal fluctuating population trends, highlighting the species' ongoing vulnerability.

In Algeria, aquatic insect populations, including mayflies, are undergoing a steep decline, with noticeable shifts in freshwater community structures (Benslimane et al. 2019; Morghad et al. 2019). Unfortunately, regional data on mayflies remain scarce, making it difficult to assess long-term trends. Thomas' seminal checklist (1998) laid the foundation for numerous mayfly studies in Algeria in the 21st century (Benhadji et al. 2018, 2019, 2020; Samraoui et al. 2021a, 2021b; Labdaoui et al. 2024). Advances in taxonomy have since led to the discovery and formal description of previously undescribed species, such as *Habrophlebia djurdjurensis* Kechemir, Sartori & Lounaci, 2020. Additionally, recent research has expanded the known mayfly fauna of Algeria, with new records including *Rhithrogena sartorii* Zrelli & Boumaiza, 2011 (Samraoui et al. 2021b). Beyond species identification, these studies have improved our understanding of species distributions and life cycles, providing valuable ecological insights that can inform freshwater management and biodiversity conservation strategies (Bouhala et al. 2020a, 2020b).

Advances in the study of Ephemeroptera in Morocco and Tunisia have, to some extent, paralleled those in Algeria, with early pioneering work culminating in the seminal checklist by Thomas (1998), which has since been refined and expanded by more recent studies (Zrelli et al. 2011, 2016; El Alami et al. 2022, 2023; Benlasri et al. 2023). Despite notable advances in the taxonomy, ecology, and conservation of Algerian mayflies, research on this order remains relatively limited. This gap is particularly concerning given the widespread decline in water quality across Algerian rivers (Abdennour et al. 2000; Belabed et al. 2017; Samraoui et al. 2024b) and the critical role of burrowing mayflies as bioindicators of water and sediment pollution. Addressing this knowledge deficit and building on recent taxonomic advancements, this study aims to: (1) investigate the phenology, abundance, and distribution of mayflies, including rare burrowing species, in northeastern Algeria; (2) update the regional checklist of mayfly species in this ecologically significant Maghrebian region; and (3) identify key conservation habitats, assess major threats, and propose measures to support mayfly populations and safeguard freshwater ecosystems.

Materials and methods

Study area

This study was conducted in four geographically and climatically diverse regions in northeastern Algeria, encompassing major watersheds along the Aurès

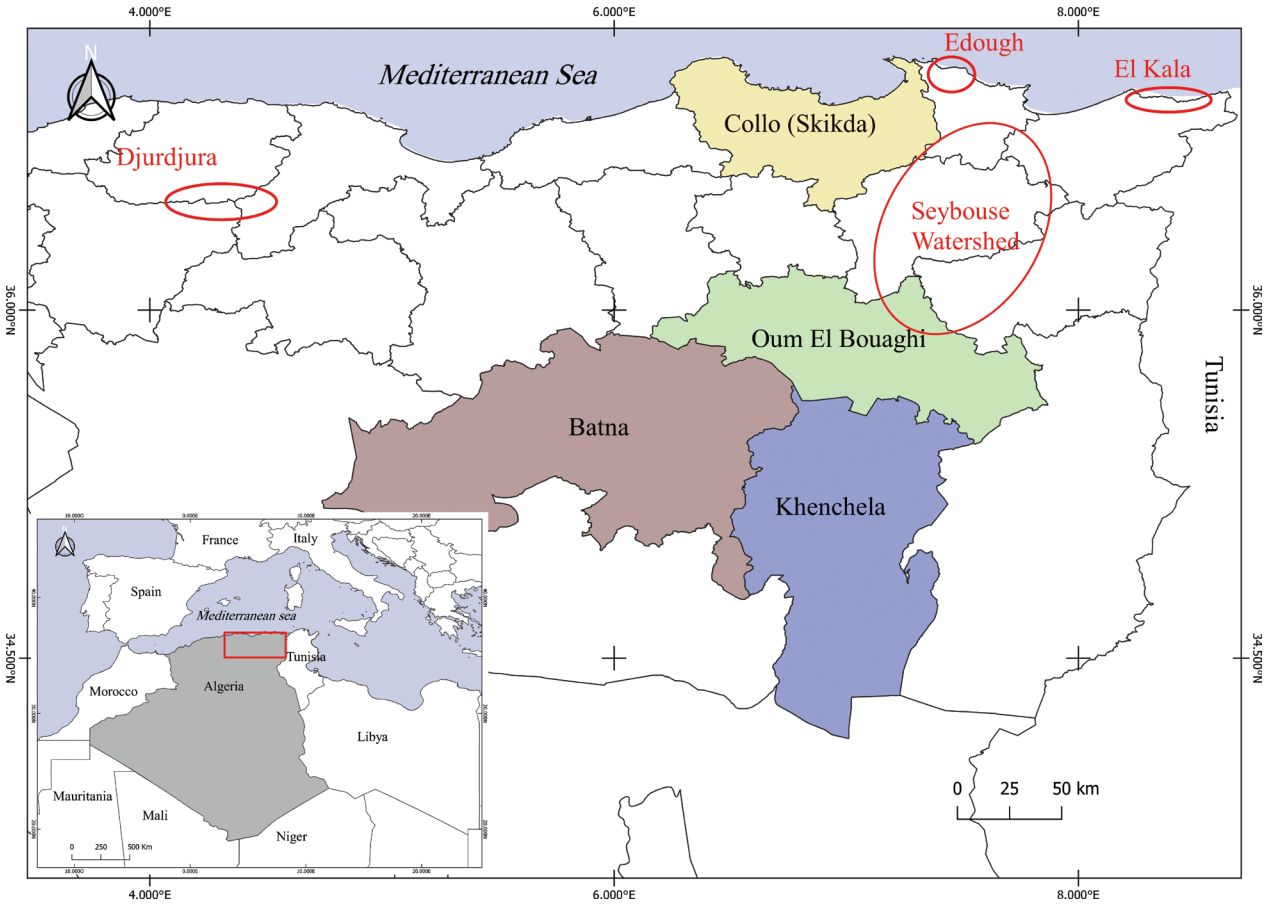


Figure 1. Map of north-eastern Algeria showing the location of the study area (coloured regions). Red ellipses highlight additional sampled regions outside the study area, as listed in Table 2.

Massif and the Collo region. These four regions encompass a broad environmental gradient, ranging from the humid coastal environment of Collo (Skikda) to the semi-arid landscapes of Oum El Bouaghi, Batna, and Khenchela (Fig. 1). The coastal climate is typically Mediterranean, with a rainy season extending from November to April and a dry season from May to October. Rainfall decreases along a north-south gradient, from approximately 800 mm/year in the northern areas to 350 mm/year in the southern regions, reflecting increasing aridity. However, this gradient is further modulated by altitude, creating diverse ecological conditions that offer a valuable framework for assessing mayfly diversity across northeastern Algeria.

Batna is part of the western Aurès Massif, which belongs to the Saharan Atlas. This mountainous region is bordered by the Constantine Hauts Plateaux to the north and the Saharan depression to the south. Elevations in the Aurès Mountains vary significantly, ranging from 87 m at the oasis of Biskra to 2,136 m at Belezma. The region experiences a diverse climate: winters on the northern slopes are cold, with temperatures dropping below 4 °C, while the southern areas have milder winters, averaging 13 °C. Summers are typically hot and dry, with temperatures ranging from 30 °C to 39 °C.

The Khenchela region, located at the northernmost tip of the eastern Aurès Massif, lies approximately 120 km southeast of Constantine. It features highly variable elevations, ranging from 40 m below sea level at Chott Melghir to 2,328 m at Djebel Chelia.

Oum El Bouaghi, a wetland complex in the eastern Hauts Plateaux (35.26°–36.11°N, 6.9°–7.5°E), serves as a natural transition zone between the Mediterranean and the Sahara. Bordered by the Guelma Mountains to the north and the Aurès range to the south, the region comprises diverse landscapes, including mountains, valleys, and plateaux. It has a semi-arid climate, with an average annual temperature of 17.5 °C and less than 350 mm of precipitation. The steppe vegetation is interspersed with temporary salt lakes, known as chotts, garaas, or sebkhas.

The Collo region, a coastal area 71 km northeast of Skikda (36.61°–37.06°N, 6.28°–6.73°E), is part of the Tell Atlas, which extends from northwestern Tunisia to northeastern Morocco. The region experiences a Mediterranean climate, characterized by hot, dry summers and cool, rainy winters. Annual temperatures range from 2.9 °C to 6.6 °C (minimum) and 25 °C to 28 °C (maximum), with average annual precipitation between 800 and 1,400 mm.

The updated checklist of Ephemeroptera in northeast Algeria was compiled based on this study, along with sampling conducted between 2018 and 2022 at the Seybouse River (Samraoui et al. 2021a), El Kala (Samraoui et al. 2021b), Djurdjura (Labdaoui et al. 2024), and the Edough Mountains (B.S. unpublished) (Fig. 2).

Sampling

Mayflies were sampled monthly from June 2019 to May 2022 across 75 sites distributed among the four hydrological regions (Table 1). At each site, specimens were collected using a dip net (30 cm diameter, 500 µm mesh) to ensure comprehensive sampling across different microhabitats. The collected specimens were preserved in 80% ethanol, and transported to the laboratory for sorting, identification, and classification. Larval identification was carried out using various taxonomic keys and descriptions (Müller-Liebenau 1969; Bauernfeind and Soldán 2012; Gattolliat et al. 2023).

In situ measurements were taken to assess key habitat parameters, including water depth, bed width, and current velocity. Additional data collected at each site included GPS coordinates, altitude, land use, substrate composition, percentage cover of helophytes and hydrophytes, and hydroperiod characteristics.

Results

Fifteen mayfly species were recorded across the four study regions (Table 2), contributing to a total of 36 species documented in northeastern Algeria between 2018 and 2022(Table 3). Among these, ten species were new to science, awaiting formal description. The newly discovered species included seven putative new *Habrophlebia* species, one baetid species (*Procloeon* sp. A), and two heptageniid species: *Ecdyonurus* sp. Co and *Rhithrogena* sp. EK. The list also includes a recently described baetid *Centroptilum samraouii* Kaltenbach, Vuataz & Gattolliat, 2022.

In addition, two species of burrowing mayflies were identified: *Ephemera glaucops* Pictet, 1845 (family Ephemeridae) and *Ephoron virgo* (Olivier, 1791) (family Polymitarcyidae). These two species are adapted to soft substrates, where their larvae excavate burrows in sediment. Alongside these, an interstitial mayfly species, *Potamanthus luteus* (Linné, 1758) (family Potamanthidae), was also recorded. In contrast to the burrowing mayflies, this species does not burrow but inhabits interstitial spaces using the gaps between sand or sediment particles for shelter and foraging (Bae and McCafferty 1991).

The following section provides an overview of the known distribution and phenology of burrowing and interstitial mayflies in Algeria:

Figure 2. Three views of sampled localities. **a.** Oued Arab, Khenchela (L60); **b.** Oued Dahman, Oum El Bouaghi (L16); **c.** O. Agab, Edough Mountain.

Table 1. Sampling localities in Collo, Oum El Bouaghi, Khenchela, and Batna, northeast Algeria.

Code	Name	Region	Coordinates	Altitude (m)	Code	Name	Region	Coordinates	Altitude (m)
L1	O. Beni Zid	Collo	36°54'25.88"N, 6°28'32.30"E	79	L42	Tarf_1	Oum El Bouaghi	35°44'19.17"N, 7°8'46.06"E	829
L2	O. Tizagbane	Collo	37°0'39.41"N, 6°22'29.57"E	492	L43	Tarf_2	Oum El Bouaghi	35°44'0.89"N, 7°7'33.32"E	829
L3	O. Tamanart_S1	Collo	37°1'49.90"N, 6°30'19.58"E	47	L44	O. Lazrag_1	Khenchela	35°21'32.63"N, 6°45'9.91"E	1214
L4	O. Tamanart_S2	Collo	37°2'56.04"N, 6°30'52.95"E	14	L45	O. Lazrag_2	Khenchela	35°21'28.59"N, 6°45'13.15"E	1201
L5	O. Kfayoun	Collo	36°56'16.20"N, 6°18'7.31"E	194	L46	O. Noghis_1	Khenchela	35°19'38.07"N, 6°53'18.18"E	1551
L6	O. Zhor_S1	Collo	36°54'25.32"N, 6°19'10.68"E	28	L47	O. Noghis_2	Khenchela	35°19'36.87"N, 6°53'15.87"E	1546
L7	O. Zhor_S2	Collo	36°54'51.34"N, 6°17'29.29"E	18	L48	O. Noghis_3	Khenchela	35°19'39.25"N, 6°53'12.76"E	1529
L8	O. El Meraya	Collo	36°47'36.87"N, 6°40'8.27"E	58	L49	O. Noghis_4	Khenchela	35°19'42.17"N, 6°53'7.75"E	1492
L9	O. Guebli_S1	Collo	36°48'2.88"N, 6°39'54.49"E	61	L50	O. Ibikan_1	Khenchela	35°23'26.61"N, 6°58'42.29"E	1280
L10	O. Guebli_S2	Collo	36°51'36.26"N, 6°36'54.46"E	31	L51	O. Ibikan_2	Khenchela	35°24'20.40"N, 6°57'58.38"E	1110
L11	O. Gratam	Collo	36°47'37.41"N, 6°37'35.95"E	108	L52	O. Ibikan_3	Khenchela	35°24'43.16"N, 6°57'51.11"E	1071
L12	O. Di El Habal	Collo	36°48'25.29"N, 6°34'4.60"E	73	L53	O. Ibikan_4	Khenchela	35°25'6.57"N, 6°57'0.97"E	1038
L13	O. Dhimine	Oum El Bouaghi	35°59'49.16"N, 7°16'46.99"E	803	L54	O. Djemri_1	Khenchela	35°20'42.13"N, 7°2'4.16"E	1248
L14	O. Dahmen_0	Oum El Bouaghi	36°0'31.28"N, 7°14'1.33"E	818	L55	O. Djemri_2	Khenchela	35°18'39.97"N, 7°1'20.49"E	1176
L15	O. Dahmen_1	Oum El Bouaghi	36°1'13.20"N, 7°14'55.50"E	799	L57	O. Chindgouma_2	Khenchela	35°17'36.67"N, 6°59'54.47"E	1145
L16	O. Dahmen_2	Oum El Bouaghi	36°2'26.44"N, 7°16'23.63"E	779	L58	Confluence	Khenchela	35°16'22.30"N, 7°1'10.42	1080
L17	O. Dahmen_3	Oum El Bouaghi	36°3'12.09"N, 7°19'33.95"E	755	L59	O. Arab_S1	Khenchela	35°6'12.38"N, 6°55'39.03"E	835
L18	O. Dahmen_4	Oum El Bouaghi	36°3'29.21"N, 7°20'24.68"E	747	L60	O. Arab_S2	Khenchela	34°57'57.16"N, 6°44'13.00"E	480
L19	Timerganine_1	Oum El Bouaghi	35°38'55.15"N, 6°57'52.84"E	836	L61	O. Assoul	Batna	35°10'28.33"N, 6°38'26.01"E	1310
L20	Timerganine_2	Oum El Bouaghi	35°38'48.91"N, 6°57'53.24"E	835	L62	O. Rbaa_S1	Batna	35°21'46.91"N, 6°30'52.78"E	1449
L21	Timerganine_3	Oum El Bouaghi	35°38'42.00"N, 6°57'56.93"E	836	L63	O. Rbaa_S2	Batna	35°27'28.99"N, 6°31'7.28"E	1040
L22	Jemott_1	Oum El Bouaghi	35°38'44.04"N, 7°0'45.17"E	833	L64	O. Rbaa_S3	Batna	35°29'23.58"N, 6°32'7.62"E	1011
L23	Jemott_2	Oum El Bouaghi	35°39'3.85"N, 7°0'42.63"E	829	L65	O. Lakhal_S1	Batna	35°21'17.70"N, 6°38'37.20"E	1341
L24	Ourkis Dam_1	Oum El Bouaghi	35°53'48.86"N, 6°55'38.87"E	947	L66	O. Lakhal_S2	Batna	35°22'7.22"N, 6°39'3.04"E	1303
L25	Ourkis Dam_2	Oum El Bouaghi	35°53'34.80"N, 6°55'48.24"E	947	L67	O. Lakhal_S3	Batna	35°22'50.76"N, 6°39'1.50"E	1246
L26	Touzline_1	Oum El Bouaghi	35°56'15.37"N, 6°56'14.47"E	995	L68	O. Bouilef_S1	Batna	35°36'44.15"N, 6°9'1.97"E	1033
L27	Touzline_2	Oum El Bouaghi	35°56'18.03"N, 6°56'19.85"E	997	L69	O. Bouilef_S2	Batna	35°37'7.06"N, 6°11'11.35"E	1068
L28	O. Sigus	Oum El Bouaghi	36°9'0.08"N, 6°44'1.13"E	720	L70	O. Bouilef_S3	Batna	35°36'8.70"N, 6°12'12.68"E	1000
L30	O. Zerhaib_1	Oum El Bouaghi	35°51'53.83"N, 6°24'22.55"E	798	L71	O. Labiod_S1	Batna	35°16'43.25"N, 6°32'28.47"E	1259
L32	Tinsilt_1	Oum El Bouaghi	35°53'27.96"N, 6°29'56.55"E	787	L72	O. Labiod_S2	Batna	35°14'42.79"N, 6°21'38.26"E	610
L33	Tinsilt_2	Oum El Bouaghi	35°53'57.23"N, 6°28'36.68"E	787	L73	O. Labiod_S3	Batna	35°3'2.38"N, 6°10'6.61"E	1226
L34	Tinsilt_3	Oum El Bouaghi	35°53'28.38"N, 6°27'31.48"E	799	L74	O. Bouzina_S1	Batna	35°16'53.12"N, 6°6'56.45"E	1318
L35	Ezzemoul_0	Oum El Bouaghi	35°53'18.41"N, 6°30'20.86"E	791	L75	O. Bouzina_S2	Batna	35°16'44.54"N, 6°6'50.21"E	1299
L37	Ezzemoul_1	Oum El Bouaghi	35°53'20.43"N, 6°30'22.24"E	791					

Table 2. Checklist of Ephemeroptera recorded during this study in Collo, Oum El Bouaghi, Khenchela, and Batna, northeast Algeria.

Family and Species	Distribution
Leptophlebiidae	
***Habrophlebia* sp. 12**	L8, L12 (Collo)
***Choroterpes atlas* Soldán & Thomas, 1983**	L3 (Collo), L59, L60 (Khenchela), L69-70 (Batna)
Potamanthidae	
***Potamanthus luteus* (Linné, 1758)**	L3-4 (Collo)
Ephemeridae	
***Ephemera glaucops* Pictet, 1845**	L59 (Khenchela)
Caenidae	
***Caenis luctuosa* (Burmeister, 1839)**	L2-4, L6-7, L8-12 (Collo), L13-15, L18-21, L24-25, L42-43 (Oum El Bouaghi), L44-45, L51, L53, L59-60 (Khenchela), L62-64, L66-70, L3 (Batna)
Baetidae	
***Baetis atlanticus* Soldán & Godunko, 2006**	L2-4, L6-8, L12 (Collo), L44-49, L50-54, L57 (Khenchela), L61-67, L69, L71, L74-75 (Batna)
***Baetis pavidus* Grandi, 1949**	L3-4, L6-7, L9 (Collo), L14-18 (Oum El Bouaghi), L44-45, L53, L59-60 (Khenchela), L62-64, L66-73 (Batna)
Baetis* gr. *alpinus	L2-3, L6, L8, L10, L12 (Collo)
***Baetis dihyae* Benhadji, Dambri & Godunko, 2023**	L44, L47, L49, L51, L54 (Khenchela), L65, L71 (Batna)
***Acentrella sinaica* (Bogoescu, 1931)**	L28 (Oum El Bouaghi), L62-64, L66-69, L72-73 (Batna)
Cloeon* gr. *dipterum	L8 (Collo), L14-18, L20-21, L24-25, L27, L30, L33, L37, L42-43 (Oum El Bouaghi), L60 (Khenchela), L61, L63-65, L67-68 (Batna)
Heptageniidae	
***Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929**	L14 (Oum El Bouaghi)
***Ecdyonurus* sp. Co**	L2, L6-7 (Collo)
***Ecdyonurus aurasius* Dambri, Benhadji & Sartori, 2022**	L44-46, L50-54, L57, L59-60 (Khenchela), L62, L64-68, L70-71, L73, L75 (Batna)
***Rhithrogena* sp. EK**	L2 (Collo)

Table 3. Updated checklist of Ephemeroptera recorded between 2018 and 2022 in northeast Algeria. O.E.B. stands for Oum El Bouaghi.

	Family and Species	Distribution
Leptophlebiidae		
1	***Habrophlebia djurdjurensis* Kechemir, Sartori & Lounaci, 2020**	Djurdjura
2	***Habrophlebia* sp. 7**	El Kala
3	***Habrophlebia* sp. 8**	Djurdjura
4	***Habrophlebia* sp. 9**	Edough
5	***Habrophlebia* sp. 11**	El Kala
6	***Habrophlebia* sp. 12**	Seybouse River; Collo
7	***Habrophlebia* sp. 13**	Djurdjura
8	***Habrophlebia* sp. 17**	Edough; Djurdjura
9	***Choroterpes* (*Euthraulus*) *lindrothi* (Peters, 1980)**	Djurdjura
10	***Choroterpes atlas* Soldán & Thomas, 1983**	El Kala; Seybouse River; Collo; Khenchela; Batna; Djurdjura
Potamanthidae		
11	***Potamanthus luteus* (Linné, 1758)**	El Kala; Seybouse River; Collo
Polymitarcyidae		
12	***Ephoron virgo* (Olivier, 1791)**	Seybouse River
Ephemeridae		
13	***Ephemera glaucops* Pictet, 1845**	El Kala; Seybouse River; Khenchela
Caenidae		
14	***Caenis luctuosa* (Burmeister, 1839)**	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo, O.E.B., Khenchela, Batna, Djurdjura
15	***Caenis pusilla* Navás, 1913**	Seybouse River; Djurdjura
Baetidae		
16	***Baetis atlanticus* Soldán & Godunko, 2006**	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo; Khenchela; Batna; Djurdjura
17	***Baetis pavidus* Grandi, 1949**	El Kala; Seybouse River; Collo; O.E.B.; Khenchela; Batna; Djurdjura
18	***Baetis* gr. *alpinus***	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo
19	***Baetis dihyae* Benhadji, Dambri & Godunko, 2023**	Khenchela; Batna
20	***Baetis maurus* Kimmins, 1938**	El Kala; Seybouse River
21	***Acentrella sinaica* (Bogoescu, 1931)**	El Kala; O.E.B.; Batna; Djurdjura
22	***Alainites sadati* Thomas, 1994**	El Kala; Seybouse River; Djurdjura
23	***Cloeon* gr. *dipterum***	El Kala; Seybouse River; Edough; Collo; O.E.B.; Khenchela; Batna; Djurdjura
24	***Centroptilum samraouii* Kaltenbach, Vuataz & Gattolliat, 2022**	El Kala; Djurdjura
25	***Procloeon stagnicola* Soldán & Thomas, 1983**	El Kala; Seybouse River; Djurdjura
26	***Procloeon* sp. A**	Seybouse River
27	***Cheleocloeon dimorphicum* (Soldán & Thomas, 1985)**	El Kala
28	***Similicloeon simile* (Eaton, 1870)**	Djurdjura
29	***Labiobaetis neglectus* (Navás, 1913)**	El Kala; Seybouse River
30	***Nigrobaetis rhithralis* (Soldán & Thomas, 1983)**	El Kala; Djurdjura
Oligoneuriidae		
31	***Oligoneuriopsis skhounate* Dakki & Guidicelli, 1980**	Seybouse River
Heptageniidae		
32	***Ecdyonurus rothschildi* Navás, 1929**	El Kala; Seybouse River; O.E.B.
33	***Ecdyonurus aurasius* Dambri, Benhadji & Sartori, 2022**	Khenchela; Batna
34	***Ecdyonurus* sp. Co**	Seybouse River; Collo; Djurdjura
35	***Rhithrogena sartorii* Zrelli & Boumaiza, 2011**	El Kala; Djurdjura
36	***Rhithrogena* sp. EK**	El Kala; Collo; Djurdjura

Potamanthidae

***Potamanthus luteus* (Linné, 1758)**
Fig. 3c

Past distribution. Constantine (Eaton 1899); Alger (Lestage 1915); Tafna (Gagneur and Thomas 1988).

This study. O. Bougous, El Kala (Samraoui et al. 2021b); O. Cherf, a tributary of O. Seybouse (Samraoui et al. 2021a).

Larval growth and development. November-April/May.

Emergence. No data.

Ephemeridae

***Ephemera glaucops* Pictet, 1845**
Fig. 3a, b

Past distribution. No mention of locality (Eaton 1883); Mascara, Hammam Righa (Lestage 1925); O. Bouhamdane, a tributary of O. Seybouse (Navás 1929); O. Tafna (Gagneur and Thomas 1988).

This study. O. Seybouse, including its tributary, O. Cherf (Samraoui et al. 2021a); O. Bougous, El Kala (Samraoui et al. 2021b); O. Tafna (B.S. unpublished.).

Larval growth and development. January - May.

Emergence. May

Polymitarcyidae

***Ephoron virgo* (Olivier, 1791)**
Figs 3c, 4a, b

Past distribution. O. Tafna (Gagneur and Thomas 1988)

This study. O. Seybouse, including its tributary, O. Cherf (Samraoui et al. 2021a)

Larval growth and development. May - July.

Emergence. End June-end August.

Three additional species have been recorded in Algeria; however, these records are likely erroneous or require confirmation:

***Eatonica schoutedeni* (Navás, 1911)**

Past distribution. Bahr-el-Ghazal, Algeria (Navás 1928). As noted by Thomas (1998), no such locality exists in Algeria, whereas this Afrotropical species may occur in southern Sudan (Demoulin 1969; Elouard 1986; Hwang et al. 2008).

***Ephemera danica* Müller, 1764**

Past distribution. Boghari (Navás 1928). Although this species is found in southern Spain, it has never been recorded in the Maghreb.

***Ephemera glaucops* var. *barbarus* Navás, 1922**

Past distribution. Hammam Righa (Navás 1922).

Discussion

The recent systematic survey of various regions in northeastern Algeria (Samraoui et al. 2021a, 2021b; Labdaoui et al. 2024), from the Djurdjura Mountains to the Tunisian border and from the Mediterranean coast to the Saharan Atlas, combined with advances in mayfly taxonomy (Zrelli et al. 2011; Kaltenbach et al. 2022; Dambri et al. 2023; Gattolliat et al. 2023), has significantly improved our understanding of the distribution of Algerian mayflies. This region, recognised as a freshwater biodiversity hotspot, harbours numerous Maghrebian endemics and Afrotropical freshwater relicts (Samraoui et al. 1993, 1998). Despite their ecological significance, mayflies have remained largely understudied, having not been sampled since Eaton's exploration in the late nineteenth century. Consequently, recent research in these areas has important implications for both mayfly taxonomy, biogeography, and freshwater conservation.

Between 2018 and 2022, a total of 36 mayfly species were documented in northeastern Algeria, including ten putative species new to science. Additionally, *Centroptilum samraouii* and three microendemic species (*Habrophlebia djurdjurensis*, *Ecdyonurus aurasius* Dambri, Benhadji & Sartori, 2022, and *Baetis dihaye* Benhadji, Dambri & Godunko, 2022 were described from the same region in recent years (Kechemir et al. 2020; Kaltenbach et al. 2022; Dambri et al. 2022, 2023). Furthermore, the survey contributed to the addition of *Rhithrogena sartorii*, described from Northwest Tunisia, to the Algerian checklist (Samraoui et al. 2021b).

The remarkable number of newly identified species is best exemplified by the genus *Habrophlebia* Eaton, 1881 which has undergone an explosive radiation in the Maghreb, with no fewer than seven possible yet-undescribed species recorded in northeastern Algeria. These undescribed species are restricted to hilly or mountainous habitats but are widely distributed across an extensive area, spanning from the Tunisian border to the Djurdjura Mountains. Their discovery further reinforces the emerging pattern of Maghrebian endemism, exemplified by Moroccan endemics such as *H. vaillantorum* Thomas, 1996 and *H. dakkii* El Alami, Sartori & Vuataz, 2023, as well as the two Algerian species *H. hassainae* Benhadji & Sartori, 2018 and *H. djurdjurensis*. These findings also call into question previous records of European species in the region. Notably, reports of *H. fusca* (Curtis, 1834) and *H. consiglioi* Biancheri, 1959 are likely misidentifications, highlighting the need for taxonomic reassessment and further investigation of Maghrebian *Habrophlebia* diversity (Thomas 1998; Zrelli et al. 2011).

Several factors may have contributed to the remarkable diversity of *Habrophlebia* in the Maghreb, including its specialized ecological niche, limited

Figure 3. a. *Ephemera glaucops* larva; **b.** *Ephemera glaucops* adult; **c.** *Ephoron virgo* adult, d) *Potamanthus luteus* larva.

dispersal ability, and the region's function as a refugium during glaciation periods. Additionally, parts of the Maghreb likely served as biogeographical islands during marine transgressions, further promoting speciation. Alternatively, *Habrophlebia* may have originated in the Maghreb, with the region acting as a center of radiation, subsequently facilitating its spread across the Mediterranean basin. This high endemicity in Maghrebian mayflies is also reflected in other freshwater taxa, such as odonates (Samraoui et al. 2010), stoneflies (Yasri-Cheboubi et al. 2013; Lamine et al. 2022), and caddisflies (Samraoui et al. 2024a).

Figure 4. Larvae of *Ephoron virgo* (**a** and **b**).

One of the unresolved issues in this study is the taxonomic status of the cold-stenothermic taxon *Baetis* gr. *alpinus*, sometimes classified as a subgenus of *Baetis* Leach, 1815 under the name *Patites* Thomas & Dia, 1999 (Gattolliat et al. 2023; Dambri et al. 2023). This taxon is well-defined by several characteristics, primarily related to its rheophilic habitat and feeding behaviour, which involves scraping diatoms from the surface of stones (Bauernfeind and Soldán 2012). A set of diagnostic traits has been proposed to delimit species in the Western Palaearctic (Godunko et al. 2017; Dambri et al. 2023).

In the Maghreb, four species have been described within this group: *B. berberus* Thomas, 1986, likely endemic to Morocco; *B.* (*Baetis*) *dihyae*, endemic to the Aurès Mountains, northeastern Algeria; *B. maurus* Kimmins, 1938, recorded from the Tafna and Seybouse river basins; and *B. punicus* Thomas, Boumaïza & Soldán, 1983, which is widely distributed across the Maghreb. In addition to these described species, several populations across Algeria and Morocco are attributed to this species group without specific assignment (Samraoui et al. 2021a, 2021b; El Alami et al. 2022). In northeastern Algeria, *B.* gr. *alpinus* is widespread at high altitudes in mountain streams along the coastal region but becomes increasingly rare further south. A comprehensive revision of the *B.* gr. *alpinus* species complex is needed to clarify species delimitations, distribution patterns, and ecological adaptations.

A similar taxonomic ambiguity affects the *Cloeon* gr. *dipterum* species complex, which encompass *C. peregrinator* Gattolliat & Sartori, 2008, recently reported from western Algeria (Benhadji et al. 2020), along with other potentially undescribed or unreported taxa. A thorough taxonomic reassessment of this group is necessary to delineate species boundaries and improve our understanding of their ecology and biogeography.

The survey also documented another alticolous species, *Rhithrogena* sp. EK, which appears to have a broad distribution similar to that of *R. sartorii*. With the exception of *R. sartorii*, which is endemic to Tunisia and Algeria, five other *Rhithrogena* species (*R. ayadi* Dakki & Thomas, 1986, *R. giudicelliorum* Thomas & Bouzidi, 1987, *R. maria* Vitte, 1991, *R. ourika* Thomas & Mohati, 1985, and *R. ryszardi* Thomas, Vitte & Soldán, 1987) are all Moroccan endemics, primarily restricted to mountainous streams. With *R. sartorii*, the newly discovered species is allotopic, occupying distinct streams, yet it inhabits riffles in adjacent mountain streams and rivers. However, *R. sartorii* seems to exhibit a broader ecological valence. Species of this genus are highly sensitive to environmental change and have been experiencing declines across their range (Lubini and Sartori 1994; Jacobus et al. 2019; Burian 2024).

Another heptageniid identified during the survey, *Ecdyonurus* sp. Co, represents a new addition to the fauna of the Maghreb, where only three species have been previously documented: *E. rothschildi* Navás, 1929, *E. ifranensis* Vitte & Thomas, 1988, and the recently described *E. aurasius*. Two additional taxa, *Ecdyonurus venosus* var. *constantinicus* Lestage, 1925, and *Ecdyonurus venosus* (Fabricius, 1793), have never been confirmed in the region and are likely misidentifications. The newly recorded heptageniid was found to be relatively less common than its counterpart, *E. rothschildi* Navás, 1929, yet it occupies a relatively extensive range. Similar to *Rhithrogena* species, both *Ecdyonurus* species are allotopic, inhabiting distinct streams within the same river system. However, preliminary data suggest that *E.* sp. Co may be confined to hilly and mountainous streams, whereas *E. rothschildi* has a wider ecological valence.

The study also revealed the highly restricted distribution of certain species within the region, which appear to be confined to specific watersheds. Among these, the undescribed *Procloeon* sp. A, *Oligoneuropsis skhounate* Dakki & Giudicelli, 1980, and the burrowing mayfly *Ephoron virgo* are all localized in the Seybouse River. Notably, *E. virgo* has also been recorded in large, warm-water rivers elsewhere in the Maghreb (El Agbani et al. 1992). The localised distribution of the burrowing mayflies *Ephemera virgo*, *Ephemera glaucops*, and the interstitial *Potamanthus luteus* indicates that their presence may depend on particular hydrological regimes and the physical characteristics of the substratum. Phenological data from both larval and adult stages indicate that all three species are likely univoltine. Additionally, *Choroterpes lindrothi* (Peters, 1980) and *Similicloeon simile* (Eaton, 1870) appear to be restricted to the Djurdjura Mountains, while *Cheleocloeon dimorphicum* (Soldán &

Thomas, 1985) has only been recorded in the El Kala region. These findings underscore the role of local environmental factors in shaping species distributions and highlight the need for further research into their ecological requirements. A deeper understanding of these species' ecology is essential for the development of targeted conservation strategies aimed at preserving their habitats and ensuring their long-term survival.

Biogeographical and conservation implications

Due to its location and a unique combination of geological, topographic, and climatic features, the Maghreb serves as a natural laboratory for studying evolution, offering insights into how species respond to geographic barriers and climatic fluctuations (Brown et al. 2002; Harris et al. 2002; Migliore et al. 2012). Within the Maghreb, northeastern Algeria stands out as a major hotspot of freshwater biodiversity in the Mediterranean region, hosting numerous Maghrebian endemics, many of which are micro-endemics. The region is particularly notable for its mayfly diversity (Samraoui et al. 2021a, 2021b) and a rich assemblage of other aquatic insect taxa, including stoneflies (Yasri-Cheboubi et al. 2013), caddisflies (Malicky and Lounaci 1987; Samraoui et al. 2024a), and dragonflies (Samraoui and Menaï 1999). Beyond its invertebrate endemics and relict species, northeastern Algeria is also home to endemic amphibians and fish, such as the newts *Pleurodeles poireti* (Gervais, 1835) and *Pleurodeles nebulosus* (Guichenot, 1850), the tree frog *Hyla carthaginiensis* Dufresnes et al. 2019, and the Maghreb bleak, *Tropidophoxinellus callensis* (Guichenot, 1850).

Furthermore, the region serves as a well-documented refugium for Afrotropical relict taxa, including Copepoda (Samraoui et al. 1998), Odonata (Samraoui et al. 1993), aquatic Hemiptera, and Coleoptera (Annani et al. 2012), which likely migrated across the hyperarid Saharan desert during a humid Holocene period (Samraoui et al. 1993).

A significant proportion of freshwater species in North Africa (over 47%) are threatened with extinction (García et al. 2010). Many belong to species complexes (Samraoui et al. 2003; Adler et al. 2015) or have been misidentified, as was the case with the *Habrophlebia* taxa until recently. The region faces increasing anthropogenic pressures driven by population growth, compounded by global challenges such as climate change. Addressing this biodiversity crisis requires urgent, integrative conservation strategies, including ecosystem-based management, habitat restoration, and policy interventions. Equally important is a deeper understanding of these species' genetic diversity and ecology, which are critical for developing targeted conservation efforts and ensuring their long-term survival.

Sustainable management approaches must balance conservation priorities with human needs to safeguard the persistence of freshwater biodiversity and the essential ecosystem services these habitats provide (Boulton et al. 2016). Strengthened conservation planning, adaptive management strategies, and improved governance are essential to reversing biodiversity declines and maintaining the ecological integrity of North African freshwater biodiversity (Erős et al. 2023).

Acknowledgements

We are most grateful to Zohar Yanai and Pavel Sroka for their thorough review of the manuscript and their valuable comments. This study was supported by the Algerian Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (M.E.S.R.S./D.G.R.S.D.T.).

References

Abdennour C, Smith BD, Boulakoud MS, Samraoui B, Rainbow PS (2000) Trace metals in marine, brackish and freshwater prawns (Crustacea Decapoda) from northeast Algeria. Hydrobiologia 432: 217–227. https://doi.org/10.1023/A:1004027204088

Adler PH, Cherairia M, Arigue SF, Belqat B (2015) Cryptic biodiversity in the cytogenome of bird-biting blackflies in North Africa. Medical and Veterinary Entomology 29: 276–289. https://doi.org/10.1111/mve.12115

Albert JS, Destouni G, Duke-Sylvester SM, Magurran AE, Oberdorff T, Reis RE, Winemiller KO, Ripple WJ (2021) Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. Ambio 50: 85–94. https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8

Annani F, Alfarhan AH, Samraoui B (2012) Aquatic Hemiptera of northeastern Algeria: distribution phenology and conservation. Revue d'Écologie (Terre Vie) 67: 1–13. https://doi.org/10.3406/revec.2012.1656

Bae YJ, McCafferty WP (1991) Phylogenetic systematics of the Potamanthidae (Ephemeroptera). Transactions of the American Entomological Society 117: 1–143.

Balian EV, Lévêque C, Segers H, Martens K (2008) The freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. Hydrobiologia 595: 627–637. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9246-3

Bartlett AJ, Hedges AM, Intini KD, Brown LR, Maisonneuve FJ, Robinson SA et al. (2018) Lethal and sublethal toxicity of neonicotinoid and butenolide insecticides to the mayfly *Hexagenia* spp. Environmental Pollution 238: 63–75. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.004

Bauernfeind E, Soldán T (2012) The mayflies of Europe (Ephemeroptera). Apollo Books, Ollerup. https://doi.org/10.1163/9789004260887

Belabed BE, Meddour A, Samraoui B, Chenchouni H (2017) Modeling seasonal and spatial contamination of surface waters and upper sediments with trace metal elements across industrialized urban areas of the Seybouse watershed in North Africa. Environmental Monitoring and Assessment 189: 265. https://doi.org/10.1007/s10661-017-5968-5

Benhadji N, Hassaine KA, Sartori M (2018) *Habrophlebia hassainae* a new mayfly species (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) from North Africa. Zootaxa 4403: 557–569 https://doi.org/10.11646/zootaxa.4403.3.8

Benhadji N, Hassaine KA, Gattolliat JL, Sartori M (2019) Thirty years after: an update to the mayflies composition in the Tafna basin (Algeria). Zoosymposia 16: 22–35.

Benhadji N, Sartori M, Hassaine KA, Gattolliat JL (2020) Reports of Baetidae (Ephemeroptera) species from Tafna Basin Algeria and biogeographic affinities revealed by DNA barcoding. Biodiversity Data Journal 8: 1–23. https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e55596

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. https://doi.org/10.3897/alpento.7.96436

Benslimane N, Chakri K, Haiahem D, Guelmami A, Samraoui F, Samraoui B (2019) Anthropogenic stressors are driving a steep decline of hemipteran diversity in dune ponds in north-eastern Algeria. Journal of Insect Conservation 23: 475–488. https://doi.org/10.1007/s10841-019-00133-1

Bouhala Z, Márquez-Rodríguez J, Chakri K, Samraoui F, El-Serehy HA, Ferreras-Romero M, Samraoui B (2020a) The life history of the Ibero-Maghrebian endemic *Oligoneuriopsis skhounate* Dakki & Guidicelli (Ephemeroptera: Oligoneuriidae). Limnologica 81: 125761. https://doi.org/10.1016/j.limno.2020.125761

Bouhala Z, Márquez-Rodríguez J, Chakri K, Samraoui F, El-Serehy HA, Ferreras-Romero M, Samraoui B (2020b) The life cycle of the Maghrebian endemic *Ecdyonurus rothschildi* Navás 1929 (Ephemeroptera: Heptageniidae) and its potential importance for environmental monitoring. Limnology 22: 17–26. https://doi.org/10.1007/s10201-020-00625-z

Boulton AJ, Ekebom J, Gíslason GM (2016) Integrating ecosystem services into conservation strategies for freshwater and marine habitats: a review. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 26: 963–985. https://doi.org/10.1002/aqc.2703

Britt NW (1955) Hexagenia (Ephemeroptera) population recovery in western Lake Erie following the 1953 catastrophe. Ecology 36: 520–522. https://doi.org/10.2307/1929594

Brown RP, Suárez NM, Pestano J (2002) The Atlas mountains as a biogeographical divide in North-West Africa: evidence from mtDNA evolution in the Agamid lizard *Agama impalearis*. Molecular Phylogenetics and Evolution 24: 324–332. https://doi.org/10.1016/S1055-7903(02)00218-X

Burian SK (2024) Nymphs of the Northeastern Nearctic species of *Rhithrogena* Eaton 1885 (Ephemeroptera: Heptageniidae). Canadian Journal of Arthropod Identification 51: 1–126.

Dambri B, Godunko RJ, Benhadji N (2023) Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) of Aurès Mountains (Algeria): a new species of the *Baetis alpinus* species group with notes on *Baetis* Leach 1815 biogeography within Maghreb. Insects 14: 899. https://doi.org/10.3390/insects14110899

Dambri BM, Benhadji N, Vuataz L, Sartori M (2022) *Ecdyonurus aurasius* sp. nov. (Insecta Ephemeroptera Heptageniidae Ecdyonurinae) a new micro-endemic mayfly species from Aurès Mountains (north-eastern Algeria). ZooKeys 1121: 17–37. https://doi.org/10.3897/zookeys.1121.89613

Demoulin G (1969) Le genre *Eatonica* Navás (Ephemeroptera Ephemeridae) existe-t-il à Madagascar ? Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique 45: 1–9.

Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata ZI, Knowler DJ, Lévêque C, Naiman RJ, Prieur-Richard AH, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA (2006) Freshwater biodiversity: importance threats status and conservation challenges. Biological Reviews 81: 163–182. https://doi.org/10.1017/S1464793105006950

Eaton AE (1883–1888) A revisional monograph of recent Ephemeridae or mayflies. Transactions of the Linnean Society of London series 2 3 Zoology: 1–352. [+ 65 pl.] https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1883.tb01550a.x

Eaton AE (1899) List of Ephemeridae hitherto observed in Algeria with localities. Entomology Monthly Magazine 35: 4–5.

El Agbani MA, Dakki M, Bournaud M (1992) Étude typologique du Bou Regreg (Maroc) : les milieux aquatiques et leurs peuplements en macroinvertébrés. Bulletin d'Écologie 23: 103–113.

El Alami M, El Yaagoubi S, Gattolliat JL, Sartori M, Dakki M (2022) Diversity and distribution of mayflies from Morocco (Ephemeroptera Insecta). Diversity 14: 498. https://doi.org/10.3390/d14060498

El Alami M, Vuataz L, El Yaagoubi S, Sartori M (2023) Another new species of the genus *Habrophlebia* Eaton 1881 (Ephemeroptera Leptophlebiidae) from the Maghreb. ZooKeys 1186: 47–70. https://doi.org/10.3897/zookeys.1186.112796

Elouard JM (1986) Ephémères d'Afrique de l'Ouest : le genre *Eatonica* (Éphéméridae). Revue d'Hydrobiologie Tropicale 19: 87–92.

Erös T, Hermoso V, Langhans SD (2023) Leading the path toward sustainable freshwater management: reconciling challenges and opportunities in historical hybrid and novel ecosystem types. WIREs Water 10: e1645. https://doi.org/10.1002/wat2.1645

Everall NC, Johnson MF, Wood P, Mattingley L (2018) Sensitivity of the early life stages of a mayfly to fine sediment and orthophosphate levels. Environmental Pollution 237: 792–802. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.131

Gagneur J, Thomas AGB (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.

García N, Cuttelod A, Abdul Malak D [Eds] (2010) The status and distribution of freshwater biodiversity in Northern Africa. IUCN, Gland, Switzerland, 141 pp.

Gattolliat JL, Samraoui B, Benhadji N, Kechemir L, Zrelli S, El Yaagoubi S, El Alami El Moutaouakil M, Sartori M (2023) Baetidae (Baetidae Ephemeroptera) in the Maghreb: state of the art key and perspectives. ZooKeys 1139: 137–163. https://doi.org/10.3897/zookeys.1139.94586

Geist J (2011) Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. Ecological Indicators 11: 1507–1516. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.002

Godunko RJ, Soldán T, Staniczek AH (2017) *Baetis* (*Baetis*) *cypronyx* sp. n. a new species of the *Baetis alpinus* species-group (Insecta Ephemeroptera Baetidae) from Cyprus with annotated checklist of Baetidae in the Mediterranean islands. ZooKeys 644: 1–32. https://doi.org/10.3897/zookeys.644.10413

Hafiane M, Hamzaoui D, Attoui F, Bouchelouche D, Arab A, Alfarhan AH, Samraoui B (2016) Anthropogenic impacts and their influence on the spatial distribution of the Odonata of Wadi El Harrach (north-central Algeria). Revue d'Écologie (Terre et Vie) 71: 239–249. https://doi.org/10.3406/revec.2016.1848

Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörren T, Goulson D, de Kroon H (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PLoS ONE 12: e0185809. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809

Harris DJ, Batista V, Lymberakis P, Carretero MA (2002) Complex estimates of evolutionary relationships in *Lacerta* (*Timon*) *tangitana* and *Lacerta* (*Timon*) *saharae* from Morocco and the Iberian Peninsula: patterns of mtDNA variation. Molecular Phylogenetics and Evolution 23: 285–294.

Hwang JM, Bae YJ, McCafferty WP (2008) A checklist of the burrowing mayfly family Ephemeridae. In: Hauer FR, Welch A (Eds) International advances in the ecology zoogeography and systematics of mayflies and stoneflies. University of California Press, Oakland CA, 158–172. https://doi.org/10.1525/california/9780520098688.003.0012

Jacobus LM, Macadam CR, Sartori M (2019) Mayflies (Ephemeroptera) and their contributions to ecosystem services. Insects 10: 170. https://doi.org/10.3390/insects10060170

Kaltenbach T, Vuataz L, Samraoui B, El Yaagoubi S, El Alami M, Gattolliat JL (2022) Two new species of *Centroptilum* Eaton 1869 from North Africa (Ephemeroptera Baetidae). ZooKeys 1131: 71–97. https://doi.org/10.3897/zookeys.1131.91017

Kechemir LH, Sartori M, Lounaci A (2020) An unexpected new species of *Habrophlebia* from Algeria (Ephemeroptera Leptophlebiidae). ZooKeys 953: 31–47. https://doi.org/10.3897/zookeys.953.51244

Labdaoui S, Samraoui F, Vuataz L, Gattolliat JL, Sartori M, Samraoui B (2024) Stream sentinels: mayfly diversity land use and conservation in Algeria's Djurdjura Mountains. Aquatic Conservation 34: e70025. https://doi.org/10.1002/aqc.70025

Lamine S, Lounaci A, Reding JPG, Vinçon G (2019) *Marthamea bayae* a new species of stonefly from Algeria (Plecoptera: Perlidae). Zootaxa 4603: 311–326. https://doi.org/10.11646/zootaxa.4603.2.5

Leather SR (2018) "Ecological Armageddon"−more evidence for the drastic decline in insect numbers. Annals of Applied Biology 172: 1–3. https://doi.org/10.1111/aab.12410

Lestage JA (1925) Ephéméroptères Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par M.H. Gauthier et liste des espèces connues actuellement de l'Afrique du Nord. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord 16: 8–18.

Lubini V, Sartori M (1994) Current status distribution life cycle and ecology of *Rhithrogena germanica* Eaton 1885 in Switzerland: preliminary results (Ephemeroptera Heptageniidae). Aquatic Sciences 56: 388–397. https://doi.org/10.1007/BF00877184

Lynch AJ, Cooke SJ, Arthington AH, Baigun C, Bossenbroek L, Dickens C, Harrison I, Kimirei I, Langhans SD, Murchie KJ, Olden JD, Ormerod SJ, Owuor M, Raghavan R, Samways MJ, Schinegger R, Sharma S, Tachamo-Shah R-D, Tickner D, Tweddle D, Young N, Jähnig SC (2023) People need freshwater biodiversity. WIREs Water 10: e1633. https://doi.org/10.1002/wat2.1633

Macadam CR, Stockan JA (2015) More than just fish food: ecosystem services provided by freshwater insects. Ecological Entomology 40 (Suppl. 1): 113–123. https://doi.org/10.1111/een.12245

Malicky H, Lounaci A (1987) Beitrag zur Taxonomie und Faunistik der Köcherfliegen von Tunesien Algerien und Marokko (Trichoptera). Opuscula Zoologica Fluminensia 14: 1–20.

Malmquist B, Rundle S (2002) Threats to running water ecosystems in the world. Environmental Conservation 29: 134–153. https://doi.org/10.1017/S0376892902000097

McCafferty WP (2004) Higher classification of the burrowing mayflies (Ephemeroptera: Scapphodonta). Entomological News 115: 84–92.

Migliore J, Baumel A, Juin M, Médail F (2012) From Mediterranean shores to central Saharan mountains: key phylogeographical insights from the genus *Myrtus* (Myrtaceae). Journal of Biogeography 39 (5): 942–956. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02646.x

Møller AP (2020) Quantifying rapidly declining abundance of insects in Europe using a paired experimental design. Ecology and Evolution 10: 2446–2451. https://doi.org/10.1002/ece3.6070

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. Vie et Milieu 69: 25–33. https://doi.org/10.57890/3e7mjw40

Müller-Liebenau I (1969) Revision der europäischen Arten der Gattung *Baetis* Leach 1815 (Insecta Ephemeroptera). Gewässer und Abwässer 48–49: 1–214.

Navás L (1922) Névroptères de Barbarie. Troisième série (1). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord 13: 251–253.

Navás L (1928) Insectes névroptères et voisins de Barbarie. Sixième série. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord 19: 183–191.

Navás L (1929) Insectes Névroptères et voisins de Barbarie. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord 20: 57–60.

Ogden TH, Gatolliat JL, Sartori M, Staniczek AH, Soldán T, Whiting MF (2009) Towards a new paradigm in mayfly phylogeny (Ephemeroptera): combined analysis of morphological and molecular data. Systematic Entomology 34: 616–634. https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2009.00488.x

Ormerod SJ, Efteland S, Gabrielsen LE (1987) The diet of breeding dippers *Cinclus cinclus* and their nestlings in southwestern Norway. Holarctic Ecology 10: 201–205. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1987.tb00760.x

Pascual R, Piana L, Bhat SU, Castro PF, Corbera J, Cummings D, Delgado C, Eades E, Fensham RJ, Fernández-Martínez M, Ferreira V, Filippini M, García G, Gargini A, Hopper SD, Knapp L, Lewis ID, Peñuelas J, Preece C, Romero VHR, Samraoui B, Samraoui F, Segadelli S, Skoulikidis NT, Solak CN, Solé J, Villholth KG, Wani HK, Cantonati M, Stevens LE (2024) The cultural ecohydrogeology of Mediterranean-climate springs: a global review with case studies. Environments 11(6): 110. https://doi.org/10.3390/environments11060110

Roth N, Zoder S, Zaman AA, Thorn S, Schmidl J (2020) Long-term monitoring reveals decreasing water beetle diversity, loss of specialists and community shifts over the past 28 years. Insect Conservation and Diversity 13: 140–150. https://doi.org/10.1111/icad.12411

Samraoui B, Menai R (1999) A contribution to the study of Algerian Odonata. International Journal of Odonatology 2: 145–165. https://doi.org/10.1080/13887890.1999.9748126

Samraoui B, Samraoui F, Olah J (2024a) Trichoptera of northeastern Algeria: new species noteworthy records and a review of the genus *Hydropsyche* (Hydropsychidae). Opuscula Zoologica Budapest 55: 59–96. https://doi.org/10.18348/opzool.2024.3.59

Samraoui B, Weekers PHH, Dumont HJ (2003) Two taxa within the North African *Lestes virens* complex (Zygoptera: Lestidae). Odonatologica 32: 131–142.

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

Samraoui B, Segers H, Maas S, Baribwegure D, Dumont HJ (1998) Rotifera Cladocera Copepoda and Ostracoda from coastal wetlands in northeast Algeria. Hydrobiologia 386: 183–193. https://doi.org/10.1023/A:1003538730152

Samraoui B, Márquez-Rodríguez J, Ferreras-Romero M, El-Serehy HA, Samraoui F, Sartori M, Gattolliat JL (2021b) Biogeography ecology and conservation of mayfly communities of relict mountain streams

north-eastern Algeria. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 31: 3357–3369. https://doi.org/10.1002/aqc.3719

Samraoui B, Bouhala Z, Chakri K, Márquez-Rodríguez J, Ferreras-Romero M, El-Serehy HA, Samraoui F, Sartori M, Gattolliat J-L (2021a) Environmental determinants of mayfly assemblages in the Seybouse River north-eastern Algeria (Insecta: Ephemeroptera). Biologia 76: 2277–2289. https://doi.org/10.1007/s11756-021-00726-9

Samraoui B, Boudot JP, Ferreira S, Riservato E, Jovic M, Kalkman VJ et al. (2010) The status and distribution of dragonflies. In: Garcia N, Cuttelod A, Abdul Malak D (Eds) The status and distribution of freshwater biodiversity in northern Africa. IUCN, Gland, 51–70.

Samraoui KR, Chelaghmia ML, Samraoui B (2024b) Multivariate analysis of water quality in the Seybouse River: implications for pollution management. Environmental Quality Management 34. https://doi.org/10.1002/tqem.22342

Sartori M, Brittain JE (2015) Order Ephemeroptera. In: Thorp JH, Covich AP (Eds) Thorp and Covich's freshwater invertebrates. Academic Press, Cambridge MA, 873–891. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00034-6

Schloesser DW, Krieger KA, Ciborowski JJH, Corkum LD (2000) Recolonization and possible recovery of burrowing mayflies (Ephemeroptera: Ephemeridae: *Hexagenia* spp.) in Lake Erie of the Laurentian Great Lakes. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 8: 125–141. https://doi.org/10.1023/A:1011432920760

Schloesser DW, Robbins JA, Matisoff GA, Nalepa TF, Morehead N (2014) A 200-year chronology of burrowing mayflies (*Hexagenia* spp.) in Saginaw Bay. Journal of Great Lakes Research 40: 80–91. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2013.12.016

Simmons BI, Balmford A, Bladon AJ, Christie AP, De Palma A, Dicks LV, Gallego-Zamorano J, Johnston A, Martin PA, Purvis A, Rocha R, Wauchope HS, Wordley CFR, Worthington TA, Finch T (2019) Worldwide insect decline: an important message but interpret with caution. Ecology and Evolution 9: 3678–3680. https://doi.org/10.1002/ece3.5153

Spiller KJ, Dettmers R (2019) Evidence for multiple drivers of aerial insectivore declines in North America. The Condor 121: 1–13. https://doi.org/10.1093/condor/duz010

Stepanian PM, Entrekin SA, Wainwright CE, Mirkovic D, Tank JL, Kelly JF (2020) Declines in an abundant aquatic insect the burrowing mayfly across major North American waterways. Proceedings of the National Academy of Sciences 117: 2987–2992. https://doi.org/10.1073/pnas.1913598117

Strayer DL, Dudgeon D (2010) Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. Journal of the North American Benthological Society 29: 344–358. https://doi.org/10.1899/08-171.1

Thomas A (1998) A provisional checklist of the mayflies of North Africa (Ephemeroptera). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse 134: 13–20 (1998).

Tickner D, Opperman JJ, Abell R, Acreman M, Arthington AH, Bunn SE et al. (2020) Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. BioScience 70: 330–342. https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002

Twining CW, Shipley JR, Winkler DW (2018) Aquatic insects rich in omega-3 fatty acids drive breeding success in a widespread bird. Ecology Letters 21: 1812–1820. https://doi.org/10.1111/ele.13156

Vilenica M, Vuataz L, Yanai Z (2022) Introduction to the special issue "Aquatic insects: biodiversity ecology and conservation challenges". Diversity 14 (7): 573. https://doi.org/10.3390/d14070573

Walters DM, Wesner JS, Zuellig RE, Kowalski DA, Kondratieff MC (2018) Holy flux: spatial and temporal variation in massive pulses of emerging insect biomass from western U.S. rivers. Ecology 99: 238–240. https://doi.org/10.1002/ecy.2023

Winter JG, Duthie HC, Nalewajko C (2003) The use of *Hexagenia* (Ephemeroptera: Ephemeridae) as a bioindicator of sediment contamination in the Detroit River. Journal of Great Lakes Research 29: 367–376.

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

Zrelli S, Boumaïza M, Béjaoui M, Gattolliat JL, Sartori M (2011) New reports of mayflies (Insecta: Ephemeroptera) from Tunisia. Revue Suisse de Zoologie 118: 3–11.

International Journal of Odonatology
2024, Vol. 27, pp. 172–186
doi:10.48156/1388.2024.1917289

Land use and beyond: unraveling environmental determinants of odonate assemblages in northeastern Algeria

Abdellatif Satour[1,2], Wissem Hezil[1,2], Meriem Taferghoust[1,2], Hayat Boucenna[1,2], Farrah Samraoui[1,2] & Boudjéma Samraoui[1,3,*]

[1] Laboratoire de Conservation des Zones humides. Université 8 Mai 1945 Guelma, Algeria
[2] Department of Ecology. University 8 Mai 1945 Guelma, Algeria
[3] Department of Biology. University Badji Mokhtar, Annaba. Algeria
*Corresponding author: Email: bsamraoui@gmail.com

Abstract. Freshwater ecosystems, recognized as hotspots of biodiversity, are under increasing threat from human activities. Odonata, the iconic inhabitants of these ecosystems, are highly sensitive to changes in habitat morphology, hydrology and land-use dynamics. In this study, the odonate assemblages in four different regions in northeastern Algeria are investigated to identify the key environmental factors that influence them. These regions differ in terms of climate, altitude and land use. Over the course of the study, we documented twenty-one species, including ten Zygoptera and eleven Anisoptera, which together account for a substantial proportion (~47%) of regional odonate diversity. Species composition is correlated with habitat typology and land cover. Multivariate analyses revealed distinct ecological patterns, highlighting streambed width, flow velocity and, to a lesser extent, land cover and altitude as influential factors in assemblage segregation. This study underscores the importance of flow velocity, which is known to facilitate oxygen uptake by larvae and influence the distribution and composition of species. Altitude, a key factor influencing phenology, growth and development, and land use (including forests, urbanization, agriculture and pasture) are also identified as potential determinants of odonate assemblages. To effectively tailor conservation strategies to specific regional conditions around the world, the study emphasises the importance of identifying the key environmental factors affecting odonate assemblages.

Key words. Odonata, freshwater ecosystems, hotspots, landscape cover, land use, North Africa

Research Article

OPEN ACCESS
This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Published: XXXXXXXX
Received: 27 August 2023
Accepted: 25 June 2024

Citation:
Satour, Hezil, Taferghoust, Boucenna, Samraoui & Samraoui (2024): Land use and beyond: Unraveling environmental determinants of odonate assemblages in northeastern Algeria. *International Journal of Odonatology, 27,* 172–186
doi:10.48156/1388.2024.1917289

Data Availability Statement:
All relevant data are within the paper.

Introduction

The Mediterranean region, considered the cradle of biodiversity (Médail & Quézel, 1997; Mittermeier et al., 2004; Myers et al., 2000), has provided indispensable ecosystem services to local communities for millennia (Blondel & Aronson, 1999). This region functions as a refuge for myriad endemic and threatened species (García et al., 2010; Riservato et al., 2009) that have adapted to the spatial and temporal heterogeneity of the landscape, which is characterized by seasonal and predictable droughts and floods (Bonada et al., 2007; Gasith & Resh, 1999). Nevertheless, the wetlands in this region have felt the effects of increasing anthropogenic pressure, which has led to a sharp decline in the abundance of macroinvertebrates and the areal extent of their habitats in recent years. (Benslimane et al., 2019; Díaz-Paniagua & Aragonés, 2015; Taylor et al., 2021; Zalidis et al., 1997).

Among the Mediterranean countries, Algeria, located in North Africa, has a high number of wetlands of global importance. Many of these wetlands are designated

SPi	Journal Code	Article ID	Dispatch: 00.00.00	CE:
	AQC	3931	No. of Pages: 15	ME:

Received: 6 November 2022 | Accepted: 10 February 2023

DOI: 10.1002/aqc.3931

RESEARCH ARTICLE

WILEY

Diversity, distribution, and conservation of the Trichoptera and their habitats in north-eastern Algeria

Hayat Boucenna[1,2] | Abdellatif Satour[1,2] | Wissem Hezil[1,2] | Meriem Taferghoust[1,2] | Farrah Samraoui[1,2] | Boudjéma Samraoui[1,3]

[1]Laboratoire de Conservation des Zones humides, Université 8 mai 1945, Guelma, Guelma, Algeria

[2]Department of Ecology, Université 8 mai 1945, Guelma, Guelma, Algeria

[3]Department of Biology, University Badji Mokhtar Annaba, Annaba, Algeria

Correspondence
Boudjéma Samraoui, Department of Biology, University Badji Mokhtar Annaba, Annaba, Algeria
Email: bsamraoui@gmail.com

Funding information
The Algerian Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Abstract

1. Community patterns are generated by multiple processes and constraints generated at different spatial and temporal scales.
2. A large-scale study was carried out on the Trichoptera of four Algerian regions with contrasting climates, vegetation cover, and human pressures.
3. Overall, 22 identified taxa were recorded, including nine families and 14 genera. The genus *Hydropsyche* was represented by eight species, with *Hydropsyche maroccana* and *Hydropsyche lobata* being the most abundant species.
4. With one exception, localities in the subhumid Collo and the high-altitude Batna were the most species rich, whereas localities in the semi-arid Oum el Bouaghi were the most species poor.
5. Nonmetric multidimensional scaling (NMDS) separated the caddisflies recorded into four assemblages organized by a set of constraining environmental factors (land use, altitude, water depth, helophyte cover, and flow velocity gradients) acting at different scales.
6. As inadequate knowledge of insect biodiversity is a major limitation to their conservation, this article discusses how these results might help predict caddisfly communities in adjacent regions and enhance conservation efforts.

KEYWORDS
caddisflies, community ecology, conservation, freshwater biodiversity, Maghreb, Mediterranean basin, multivariate analysis, taxonomy

1 | INTRODUCTION

In the context of global changes driving an acute biodiversity crisis, through species extinction, rapid population declines, and habitat loss, freshwater ecosystems have been particularly affected by human stressors (Heino, Virkkala & Toivonen, 2009; Vörösmarty et al., 2010; Bunn, 2016). Rapid, large-scale alterations resulting from climate change, hydrological change, agricultural development, urbanization, industrialization, mining, water abstraction, and pollution have had adverse impacts on the ecological health of lotic ecosystems (Ferreras-Romero, Márquez-Rodriguez & Ruiz-Garcia, 2009; Morghad et al., 2019).

Aquatic insects represent approximately 80% of the aquatic animal diversity, and therefore together with freshwater habitats are the most threatened by global changes (Dijkstra, Monaghan & Pauls, 2014). Most importantly, these changes have already led to a steep decline in aquatic insects (Benslimane et al., 2019; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019), hence the need for systematic monitoring and a greater understanding of the ecological functioning of river ecosystems to guide conservation efforts. Caddisflies (Trichoptera),

 © 2023 John Wiley & Sons Ltd.

Biologia
https://doi.org/10.1007/s11756-025-01941-4

ORIGINAL ARTICLE

Environmental drivers of backswimmer diversity and distribution in Northeastern Algeria's freshwater systems (Heteroptera: Nepomorpha)

Meriem Taferghoust[1,2] · Farrah Samraoui[1,2] · Hayat Boucenna[1,2] · Abdellatif Satour[1,2] · Wissem Hezil[1,2] · Zineb Bouhala[1,2] · Boudjéma Samraoui[1,3]

Received: 25 January 2025 / Accepted: 1 April 2025
© Plant Science and Biodiversity Centre, Slovak Academy of Sciences (SAS), Institute of Zoology, Slovak Academy of Sciences (SAS), Institute of Molecular Biology, Slovak Academy of Sciences (SAS) 2025

Abstract

Predators play a pivotal role in shaping food web structures, and backswimmers (Notonectidae), active predators of aquatic invertebrates, serve as a key component of freshwater trophic systems. This study examines the diversity and distribution of backswimmers across four regions of northeastern Algeria, highlighting their importance as indicators of ecological integrity and habitat diversity. Five species were identified during the field surveys:: *Notonecta glauca*, *N. maculata*, *N. meridionalis*, *N. viridis*, and *Anisops sardeus*. The distribution patterns of these species were mapped, and multivariate analyses revealed that environmental factors, including longitude, altitude, water depth, substrate type, and, to a lesser extent, the presence of helophytes, significantly influenced these patterns. Furthermore, the life history traits and conservation status of backswimmers and their habitats were discussed, with particular attention to the impacts of global and regional environmental changes on freshwater biodiversity. This study underscores the ecological significance of backswimmers and their potential role in monitoring the health of freshwater ecosystems.

Keywords Aquatic bugs · Freshwater biodiversity · Ecological indicators · Species distribution · Life history · North Africa

Introduction

Anthropogenic stressors are threatening aquatic ecosystems worldwide, thereby imperiling freshwater biodiversity (Vörösmarty et al. 2010; Dudgeon 2019; Reid et al. 2019). Processes driving responses to global changes like overpopulation, pollution, climate change, habitat loss, invasive species, and biodiversity erosion are complex and multifaceted (Hellmann et al. 2008; Mantyka-Pringle et al. 2012). One of the leading reasons for habitat destruction is human encroachment which is a leading cause of species loss in various parts of the world (McKinney 2006; McCauley et al. 2013; Aouadi et al. 2021): As cities expand, natural wetlands and rivers are often channeled, drained or diverted to make way for infrastructure development such as real estate et recreational areas (McDonald et al. 2008). This loss of habitat is exacerbated by agricultural activities that not only reduce available habitat, but also introduce pollutants into freshwater systems via runoff. Pesticides, fertilisers used in agriculture and other chemicals that find their way in wastewater can lead to eutrophication, which reduces oxygen levels in the water and affects aquatic life (Willis and McDowell 1982; Nieto et al. 2010).

The over-abstraction of water resources for agricultural and industrial use further worsens the problem with climate change adding to the complexity of these challenges. Rising temperatures and changing precipitation patterns can alter the hydrology of freshwater systems, making them more vulnerable to droughts and floods. These changes can have a profound impact on species that are adapted to certain environmental conditions. In addition, climate change can facilitate the spread of invasive species and increase the

✉ Boudjéma Samraoui
bsamraoui@gmail.com

1 Laboratoire de Conservation Des Zones Humides, Université 8 Mai 1945, Guelma, Algeria

2 Department of Ecology, University 8 Mai 1945, Guelma, Algeria

3 Department of Biology, University Badji Mokhtar, Annaba, Algeria

Published online: 30 April 2025