

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



Faculté : Sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers
Département : Ecologie et génie de l'environnement
Laboratoire de domiciliation : Laboratoire de Conservation des Zones Humides (LCZH)

THÈSE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT EN 3^{ème} CYCLE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie Filière : Ecologie-Environnement
Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Présentée par

BOUCENNA Hayat

Intitulée

Les macroinvertébrés benthiques de la région de Collo

Soutenue le : 06/09/2023

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr. Nouar Taher	Pr.	Univ. de Guelma	Président
M^{me}. Samraoui Farrah	Pr.	Univ. de Guelma	Encadreur
Mr. Samraoui Boudjéma	Pr.	Univ. de Annaba	Co-encadreur
Mr. Nedjah Riad	Pr.	Univ. de Guelma	Examineur
Mr. Touati Laid	Pr.	Univ. de Constantine	Examineur
Mr. Athamnia Mohammed	MCA	Univ. de Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Dédicace

A tous ceux que j'aime,

A tous ceux qui m'aiment

Hayat

Remerciements

Tout d'abord mes remerciements à notre Seigneur Allah qui m'a aidé à franchir un pas vers le chemin du savoir et qui m'a guidé en me donnant le courage pour accomplir ce travail.

Je remercie Pr. Samraoui F. et Pr. Samraoui B., Directeur de thèse, pour les efforts engagés, pour le bon déroulement de notre travail, leur aide et surtout pour leur patience et leur compréhension, qu'ils reçoivent ici le témoignage de ma sincère gratitude et mon profond respect.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury : Pr. Nouar Taher d'avoir accepté de présider le Jury, Pr. Nedjah Riad, Pr. Touati Laid et Dr. Athamnia Mouhamed qui m'honorent en examinant ce travail.

Mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude aux M^{lle}. Mssibah L. et Mr. Rais H., d'avoir été toujours disponible à me conduire sur le terrain et m'accompagner lors de mes sorties. Je les remercie d'avantage pour leurs gentillesse et tout le temps qu'ils ont m'accordé.

Ma gratitude va aussi aux membres de la circonscription des forêts de Collo, qui ont activement participés aux travaux sur le terrain, et qui a fait preuve de patience, les membres de district des forets de Beni Zid et d'Ouled Attia, aussi le directeur circonscription des forets de Collo Mr. Ghmired AK.

Je remercie également Dr. Haouam L. de l'université de Mohamed-Cherif Messaadia Souk Ahras, Dr. HadeF A., Dr. Dziri H. et Dr. Hafsi Z. de l'université 20 Aout 1955 Skikda, pour leur disponibilité, leur aide, ses encouragements et leurs conseils judicieux.

Le meilleur est pour la fin, mes remerciements les plus affectueux vont vers ma famille et plus particulièrement ma mère pour leur soutien, leur dévouement et encouragements depuis le début de mes études, je vous aime et vous dédie cette réussite qui est aussi la vôtre.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, qu'ils reçoivent ma profonde gratitude.

Résumé :

Les zones humides, y compris les cours d'eau, sont parmi les écosystèmes les plus diversifiés et plus productifs au monde, ces systèmes sont ainsi les plus menacés. Leur diversité a connu un déclin pendant ces dernières décennies, à cause des actions anthropiques, cette situation va s'accroître au futur avec les changements climatiques. Comme le reste des Oueds du monde entier et plus précisément de l'Algérie, les cours d'eau de Collo sont sous l'expérience d'impacts anthropiques de plus en plus importants.

En Algérie, de nombreux efforts ont été effectués pour la conservation de la biodiversité. Dans ce contexte, de nombreuses études ont été effectuées pendant ces dernières décennies pour évaluer la faune benthique. Mais ces efforts sont encore insuffisants, et de nombreuses zones restent totalement inexplorées ou très peu étudiées comme la région de Collo. Ce travail est consacré à l'étude des macroinvertébrés benthiques de Collo. Dans ce travail, nous avons réalisé, un échantillonnage systématique des macroinvertébrés benthiques du massif Collo, le prélèvement a été effectué sur deux périodes, entre juin 2019 et mai 2021.

Ce travail, a permis de recenser 12733 individus répartis sur 6 groupes zoologiques : Mollusques, Crustacés, Annélides, Plathelminthes, Nématodes et Insectes. Dont, les insectes est le groupe zoologique qui domine le peuplement avec plus de 96 % de l'effectif total. Les insectes sont répartis sur 7 ordres et plus de 50 familles, dont les diptères et les coléoptères sont les plus représentés, ils ont 12 et 10 familles respectivement. En termes d'abondance, les diptères est l'ordre le plus abondant avec 4680 individus, soit 38.13 % de tous les insectes. L'étude du peuplement odonate montre que la famille des Gomphidae représentée par l'espèce *Onychogomphus uncatius* domine le peuplement, elle couvre 83.68 % des odonates. Cette espèce domine ainsi le peuplement de la majorité des stations d'étude. L'étude a permis de récolter 990 Trichoptères, répartis en 11 taxons appartenant à 7 familles, 8 genres, dont le genre des *hydropsyches* est le plus diversifié avec quatre espèces. La plupart des espèces ont été signalées pour la première fois dans le nord-est de L'Algérie. Les trois espèces : *Wormaldia algerica*, *Hydropsyche siltalai* et *Hydropsyche morla* ont été signalées seulement pour la deuxième fois en Algérie. *Hydropsyche lobata* montre l'abondance la plus élevée, couvrant plus de la moitié des individus avec 502 individus soit 51 % du peuplement. Les résultats obtenus seront utiles pour l'évaluation, le suivi, et la conservation des écosystèmes d'eau courante de Collo.

Mots clés : macroinvertébrés, cours d'eau, Collo, biodiversité.

Abstract:

Wetlands, including rivers, are among the most diverse and productive ecosystems in the world, and are also the most threatened. Their diversity has declined in recent decades due to anthropogenic actions, and this situation will get worse in the future with climate change. Like the rest of the world's rivers, and more specifically in Algeria, the watercourses of Collo are under the experience of increasingly important anthropogenic impacts.

In Algeria, many efforts are made for the conservation of biodiversity. In this context, many studies have been carried out during the last decades to assess the benthic fauna. But these efforts are still insufficient, and many areas remain totally unexplored or very little studied as the region of Collo. This work is devoted to the study of benthic macroinvertebrates of the Collo massif. In this work, we carried out a systematic sampling of benthic macroinvertebrates of the Collo area. The sampling was conducted over two periods, between June 2019 and May 2021.

This work has allowed the identification of 12733 individuals, distributed on 6 zoological groups: Molluscs, Crustaceans, Annelids, Platyhelminthes, Nematodes and insects. Of which, the insects is the zoological group that dominates the community, with more than 96% of the total number. Insects are divided into 7 orders and more than 50 families, of which Diptera and Coleoptera are the most represented, they have 12 and 11 families, respectively. In terms of abundance, Diptera is the most abundant order, with 4680 individuals, or 38.13% of all insects. The study of the odonata community shows that the family of Gomphidae represented by the species *Onychogomphus uncatius* dominates the community, it covers (83.68%) of odonata. This species dominates the population at the majority of the study sites. The study allows the collection of 990 caddisflies, divided into 11 taxa belonging to 7 families, 8 genera, of which the genus *Hydropsyche* is the most diverse with four species. Most of the species have been reported for the first time in the north-east of Algeria. The three species: *Wormaldia algerica*, *Hydropsyche siltalai* and *Hydropsyche morla* were reported only for the second time in Algeria. *Hydropsyche lobata* shows the highest abundance, covering more than half of the individuals, with 502 individuals, or 51% of the community.

The results obtained will be useful for the evaluation, monitoring, and conservation of Collo's running water ecosystems.

Keywords: macroinvertebrates, streams, collo, biodiversity.

ملخص :

تعد الأراضي الرطبة، بما في ذلك الأنهار، من بين النظم البيئية الأكثر تنوعًا وإنتاجية في العالم، وهي الأكثر تهديدًا أيضًا. لقد انخفض تنوعها البيولوجي في العقود الأخيرة بسبب التأثيرات البشرية، وسيزداد هذا الوضع سوءًا في المستقبل مع تغير المناخ. وعلى غرار بقية أنهار العالم، وبشكل أكثر تحديدًا وديان الجزائر، تخضع المجاري المائية في منطقة القل لتجربة تأثيرات بشرية متزايدة.

في الجزائر، تبذل جهود كثيرة للحفاظ على التنوع البيولوجي. وفي هذا السياق، أجريت دراسات عديدة خلال العقود الماضية لتقييم التنوع البيولوجي لللافقاريات المائية. لكن هذه الجهود لاتزال غير كافية، ولاتزال العديد من المناطق غير مستكشفة تمامًا أولم تتم دراستها كثيرًا كمنطقة القل. هذا العمل مكرس لدراسة اللافقاريات المائية للمصيف القلي. في هذا العمل، قمنا بجمع عينات من اللافقاريات المائية لهذه المنطقة على فترتين، بين جوان 2019 وماي 2021.

وقد سمح هذا العمل بجمع 12733 فردًا، موزعين على 6 مجموعات حيوانية: الرخويات والقشريات والديدان الحلقية والديدان المسطحة والديدان الاسطوانية والحشرات. تمثل الحشرات المجموعة الحيوانية المهيمنة على مجتمع اللافقاريات بأكثر من 96% من العدد الإجمالي للعينات المأخوذة. تنقسم الحشرات التي تم جمعها إلى: 7 رتب وأكثر من 50 عائلة، حيث تعتبر ذوات الجناحين والخنافس الأكثر تمثيلًا، ولديهما 12 و 11 عائلة على التوالي. من حيث العدد ذوات الجناحين هو الرتبة الأكثر وفرة ب 4680 فردًا أو ما يمثل (38.13%) من جميع الحشرات. تُظهر دراسة مجتمع اليعسوبيات أن عائلة les Gomphidae (الممثلة بالنوع *Onychogomphus uncatus*) تهيمن على المجتمع، وتغطي (83.68%) من اليعسوبيات. يهيمن هذا النوع أيضًا على مجتمع اليعسوب في غالبية مواقع الدراسة. سمحت هذه الدراسة أيضًا بجمع 990 فردًا من شعريات الأجنحة، مقسمة إلى 11 صنف تنتمي إلى 7 عائلات و 8 أجناس، حيث جنس *hydropsyche* هو الأكثر تنوعًا بلوبعة أنواع. تم الإبلاغ عن معظم هذه الأنواع لأول مرة في شمال شرق الجزائر. وبالنسبة للأنواع الثلاثة: *Wormaldia algerica* و *Hydropsyche siltalai* و *Hydropsyche morla* تم الإبلاغ عنها للمرة الثانية فقط في الجزائر من خلال هذه الدراسة. يظهر النوع *lobata Hydropsyche* أعلى وفرة، حيث يغطي أكثر من نصف الأفراد ب 502 فردًا أي ما يعادل 51% من شعريات الأجنحة.

يمكن أن تكون النتائج التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة مفيدة لتقييم ورصد وحفظ النظم الإيكولوجية للمياه الجارية في المصيف القلي.

الكلمات الرئيسية: اللافقاريات الكبيرة، المجاري المائية، القل، التنوع البيولوجي.

Liste des Tableaux

Tableau 1: Quotient pluviométrique d'Emberger et l'étage bioclimatique du massif de Collo	43
Tableau 2: Données géographiques des stations d'échantillonnages des cours d'eau étudiés .	47
Tableau 3: Classification des vitesses du courant selon Berg	48
Tableau 4: variables environnementales des stations d'étude.....	55
Tableau 5: Check-list des insectes récoltés.	60
Tableau 6: Check-list des espèces d'odonate du Collo.	65
Tableau 7: Fréquence des espèces recensées	65
Tableau 8: Check-list des espèces de Trichoptère de Collo.....	76
Tableau 9: Fréquence d'occurrence des taxons récoltés	78

Liste des Figures

Figure 1: Numéros d'ordre (ordination) de drainage des tributaires d'une rivière par la méthode de Strahler (Angelier, 2000).	6
Figure 2: Evolution annuelle du débit sur des rivières à régime hydrologique méditerranéen(Angelier, 2000).	7
Figure 3: organisation globale d'un écosystème aquatique : des relations et échange entre compartiment (Genin et al., 2003).	10
Figure 4: plathelminthes (planaires) (Moisan et al., 2008).	17
Figure 5: Némerte (Moisan et al., 2008).	17
Figure 6: Nématelminthes (Nématodes) (Moisan et al., 2008).	18
Figure 7: Annélides (Moisan et al., 2008).	18
Figure 8: Mollusques (Moisan et al., 2008).	19
Figure 9: Crustacées (Amphipodes) (Moisan et al., 2008).	20
Figure 10: Exemple du cycle biologique d'un Insecte Trichoptère Hydropsychidae (Mary, 2017).	21
Figure 11: Insecte adulte (Moisan et al., 2008).	22
Figure 12: Coléoptère larve et adulte (Moison, 2008).	24
Figure 13: Diptère (A) adulte, (B) larve (Gerhardt & Hribar, 2019).	26
Figure 14: Hétéroptère (Corixidae) (Moison, 2008).	27
Figure 15:(A) Ephémère larve (Moison, 2008), (B) cycle de vie de l'éphémère (Britain & Sartori, 2009).	29
Figure 16: (A) demoiselles adulte, (B) demoiselles larve, (C) libellules adulte, (D) libellules larve (Tennessen, 2009).	31
Figure 17: plécoptère. (A) adulte de Nemoura, (B) larve de Nemoura (Fochetti & Tierno de Figueroa, 2008).	32
Figure 18: larves de Trichoptère. (1) Hydropsychidae, (2) Ecnomidae, (3) Hydroptilidae(Faessel et Monnier, 1985).	35
Figure 19: imago de Trichoptère (Faessel et Monnier, 1985).	35
Figure 20: Situation géographique du massif de Collo (Boucenna H., 2023).	36
Figure 21: Diagramme pluviothermique des stations Cap Bougaroun et Ain El Ksar	42
Figure 22: Climagramme d'Emberger et l'étage bioclimatique du massif de Collo	44
Figure 23: carte des bassins versants de Collo (Boucenna H., 2023)	45

Figure 24: Réseau hydrographique général de la zone prospectée avec localisation des stations étudiées (Boucenna H., 2023)	46
Figure 25: la carte d'altitude de la région de Collo (Boucenna H., 2023)	56
Figure 26: la carte des pentes du massif de Collo (Boucenna H., 2023).....	56
Figure 27: variation spatial des valeurs moyennes des différents facteurs étudiés.....	57
Figure 28: représentation sur les deux premiers axes de l'analyse (ACP), des paramètres environnementaux et de la distribution des sites étudiés.	58
Figure 29: Abondance relative des différents groupes zoologiques recensés.....	59
Figure 30: Abondance relative des différents ordres d'insectes recensés.....	60
Figure 31: la distribution spatiale de l'effectif des différents ordres d'insectes de Collo.....	62
Figure 32: Abondance relative des Anizoptères et des Zygoptères.	63
Figure 33: répartition des familles d'odonates de la région de Collo.	64
Figure 34: répartition des espèces d'odonates de la région de Collo.	64
Figure 35: Abondance relative des odonates présents dans les différentes stations prospectées	67
Figure 36: L'effectif des espèces d'odonate en fonction des stations d'études	68
Figure 37: les deux premiers axes de l'analyse (APC) des facteurs écologiques (droite) et des sites d'études (gauche)	70
Figure 38: les quatre premiers axes de l'analyse (APC) des assemblages odonates basée sur les données faunistiques	71
Figure 39: l'abondance relative des familles de trichoptères de la région de Collo	77
Figure 40: l'abondance relative des taxons de trichoptères de la région de Collo.....	77
Figure 41: Abondance relative des trichoptères présents dans les stations prospectées	79
Figure 42: L'effectif des taxons de trichoptères en fonction des stations d'études	79

Liste des abréviations

RIP : Ripisylve,

Bi : *Boyeria irene*

Ou: *Onychogomphus uncatatus*

Ch: *Calopteryx haemorrhoidalis*

Ps: *platycnémis subdilatata*

Ig : *Ischnura graellsii*

Oc : *Orthetrum coerulescens*

Ta : *Trithemis annulata*

Cv : *Chalcolestes viridis*

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Liste des abréviations

Introduction..... 1

Chapitre I : les eaux courantes

1	Généralité sur les eaux continentales	5
1.1	Les eaux stagnantes (ou milieux lenticques).....	5
1.2	Les eaux courantes (ou milieux lotiques).....	5
2	Les cours d’eaux	5
2.1	Le régime méditerranéen :.....	7
3	Les Bassins versants	7
4	Structure des écosystèmes d’eaux courantes	8
4.1	Biotope.....	8
4.1.1	La vitesse d’écoulement de l’eau,	8
4.1.2	La nature du substrat :	8
4.1.3	La composition des berges	8
4.1.4	La composition physico-chimique de l’eau.....	9
4.2	La biocénose :.....	9
5	Fonctionnement des écosystèmes d’eaux courantes :.....	9
5.1	Relation trophiques.....	10
6	Zonation des cours d’eaux :	11
6.1	Zonation des cours d’eau à alimentation pluviale	12
6.1.1	Les sources	12
6.1.2	Le cours supérieur	12

6.1.3	Les rivières intactes de plaine	13
7	Action anthropique sur les eaux courantes	13

Chapitre II : généralité sur les macroinvertébrés

1	Définition des macroinvertébrés	15
2	Macroinvertébrées et bioindication.....	15
3	Mode d'alimentation des macroinvertébrés	16
4	Les Taxons les plus importants des macroinvertébrés aquatiques.....	17
4.1	Embranchement des Plathelminthes (planaires).....	17
4.2	Embranchement des Némerte (némertiens).....	17
4.3	Embranchement des Némathelminthes	17
4.4	Embranchement des Annélides (Annelida)	18
4.5	Embranchement des Mollusques	19
4.6	Embranchement des Arthropode	19
4.6.1	Les Crustacés.....	19
4.6.2	Les insectes	20
4.6.2.1	Les Coléoptères	22
4.6.2.2	Les Diptères	25
4.6.2.3	Les Héteroptères	27
4.6.2.4	Les Ephéméroptères	28
4.6.2.5	Les Odonates	30
4.6.2.6	Les Plécoptères	31
4.6.2.7	Les Trichoptères	33

Chapitre III : matériel et méthodes

1	Description générale du massif de Collo	36
1.1	Situation géographique :.....	36
1.2	Situation administrative :.....	37
1.3	Relief et topologie :	37

1.4	Hydrologie :	37
1.4.1	Le bassin versant de l'Oued Tamanart :	38
1.4.2	Le bassin versant de l'Oued Zhour : (à l'Ouest)	38
1.4.3	Le bassin versant de l'Oued Damous :	38
1.4.4	Le bassin versant de l'Oued Guebli :	38
1.5	Géologie.....	38
1.6	La Végétation	39
1.6.1	La végétation arborescente	39
1.6.2	La végétation arbustive :	39
1.6.3	La végétation herbacée :	40
1.7	Climatologie	41
1.7.1	Les données climatiques de Collo	41
1.7.1.1	La température	41
1.7.1.2	La pluviométrie.....	41
1.7.1.3	Les vents	41
1.7.2	La synthèse climatique	42
1.7.2.1	Diagramme pluviométrique de Bagnouls et Gaussen (1957).....	42
1.7.2.2	Quotient pluviométrique d'Emberger (1955)	42
2	Les sites d'études et objectifs générale	44
2.1	Démarche générale et choix des sites d'échantillonnages.....	44
2.2	Les sites étudiés : cours d'eau et stations	46
2.2.1	Méthode de localisation géographique des stations d'études.....	47
2.2.2	Description de l'occupation des sols des sites d'échantillonnages	47
2.2.3	Evaluation des paramètres physiques des cours d'eau :	47
2.2.3.1	La largeur et la profondeur des cours d'eau étudiés	47
2.2.3.2	La vitesse du courant des cours d'eau étudiés	48
2.2.4	Description de la nature de substrat des sites d'études	49

2.2.5	Evaluation du recouvrement des habitats échantillonnés.....	49
2.2.6	La pente	49
2.3	L'échantillonnage des macroinvertébrés	49
2.3.1	Techniques de prélèvements des macroinvertébrés	50
2.3.1.1	Prélèvements benthiques	50
2.3.1.2	Récolte des imagos	50
2.3.2	Stockage et conservation des échantillons	51
2.3.3	Technique de tri, détermination	51
3	Traitement des données :	51
3.1	Indices écologiques de composition et de structure des peuplements.....	51
3.1.1	Richesse taxonomique (RT) ou spécifique (S) :.....	51
3.1.2	Abondance absolue (l'effectif).....	52
3.1.3	La dominance (Abondance relative)	52
3.1.4	La fréquence d'occurrence	52
3.2	Analyse multivariée.....	53
3.2.1	Analyse en composante principale (ACP)	53
4	Méthode de réalisation des cartes	53

Chapitre IV : résultats et discussion

1	Analyse des données environnementales.....	54
1.1	Condition environnementales générales des stations étudiées	54
1.1.1	L'altitude	54
1.1.2	La profondeur	54
1.1.3	La vitesse du courant.....	54
1.1.4	La pente	55
1.1.5	La largeur	55
1.1.6	La nature de substrat	55
1.1.7	Type de végétation bourdante	55

1.2	Corrélation globale entre les paramètres environnementaux des cours d'eau.....	57
1.2.1	Discussion	58
2	Analyse globale de la faune	59
2.1	La classe des insectes	59
2.1.1	Analyse de la composition faunistique des insectes recensés	59
2.1.2	La liste taxonomique des insectes de Collo	60
2.1.3	La distribution spatiales des insectes de Collo.....	61
2.2	Odonates	63
2.2.1	Analyse globale du peuplement odonatologique	63
2.2.1.1	Abondance des familles et des espèces recensées	63
2.2.1.2	La liste faunistique des Odonates récoltées :.....	65
2.2.1.3	La fréquence d'occurrence des espèces recensées	65
2.2.2	Analyse de la distribution spatiale du peuplement odonate	66
2.2.2.1	Abondance des espèces	66
2.2.2.2	La richesse spécifique.....	68
2.2.3	L'analyse en composante principale (APC) du peuplement odonates.....	70
2.3	Trichoptères	72
2.3.1	La liste faunistiques Trichoptera de Collo :	72
2.3.2	Analyse (composition) globale de la faune Trichopetra	75
2.3.2.1	Abondance des familles et des espèces recensée.....	76
2.3.2.2	Fréquence des espèces recensées.....	78
2.3.3	Analyse de la distribution spatiale du peuplement Trichoptérologique.....	78
2.3.3.1	Abondance des espèces	78
2.3.3.2	La richesse taxonomique	80
2.3.4	Discussion	80
	Conclusion.....	83
	Référence bibliographiques.....	86

Introduction



Dès la période Néolithique, la nature a été modifiée par l'Homme en passant de tribus de « chasseur -cueilleur » à celui de « cultivateur -éleveur ». Ce changement sociétal est le résultat de l'accroissement démographique et la sédentarisation des populations humaines (Godelier, 1978; Pison, 1986). Dès lors, l'Homme a provoqué des modifications importantes et durables dans les habitats naturels (Mocci et al., 2005), afin de disposer les ressources qui lui sont nécessaires pour satisfaire ses besoins. Les changements sociaux sont donc être à l'origine de la modification des écosystèmes et datent de fait de plusieurs millénaires (Lozny, 2013). En effet, les activités humaines apportent de façon générale une consommation des ressources naturelles et un changement dans le fonctionnement des écosystèmes qui les entourent (Scheffer et al., 2001; Adger et al., 2005; Bennett et al., 2005; Carpenter et al., 2006).

Les écosystèmes d'eau douce représentent des points chauds, riches en biodiversité en comparaison avec leur superficie, ils abritent environ 10 % de toutes les espèces décrites, tandis qu'ils ne couvrent qu'environ 0.8 % de la surface de la Terre (Dudgeon et al., 2006; Strayer & Dudgeon, 2010). Les écosystèmes d'eau douce sont parmi les systèmes les plus menacés au monde à cause des actions anthropiques (Saunders et al., 2002). Ils connaissent un déclin de la biodiversité bien plus important que celui des écosystèmes terrestres les plus touchés (Strayer & Dudgeon, 2010). De ces systèmes, les eaux courantes qui sont le milieu le plus modifié par l'homme, depuis l'Antiquité (Angelier, 2000). L'intégrité écologique des écosystèmes aquatiques est directement influencée par les activités humaines (Mercado-Silva et al., 2002 ; Shi et al., 2017), telles que : le prélèvement d'eau, la pollution, la canalisation, la construction des barrages, l'agriculture et autres pressions (Marzin et al., 2012; Matono et al., 2012; Li et al., 2013; Shen et al. , 2015). L'intensification des activités humaines a modifié les conditions physiques des habitats aquatiques, en raison l'altération du régime hydrologique (Nilsson & Berggren, 2000; Richter et al., 2003; Pyron & Neumann, 2008; Borja et al., 2010; Belmar et al., 2013). Les perturbations anthropiques entraînent une détérioration de la qualité de l'eau et constituent la principale menace pour la faune aquatique dans le monde entier (Maceda et al., 2010). Ces perturbations affectent énormément l'état de santé des écosystèmes aquatiques et leur biocénose et entraînent un déclin de la biodiversité des eaux douces (Geist, 2011 ; Fierro, 2018), et la perte des biens et les services écosystémiques associées (Vinebrooke et al., 2004).

Dans les régions méditerranéennes, les cours d'eau sont souvent caractérisés par une forte saisonnalité, avec une période humide suivie d'une période de sécheresse, en été (Gasith

et Resh, 1999). Des études récentes en Méditerranée apportent la preuve d'une altération sévère des précipitations et des régimes hydrologiques et font l'hypothèse d'une augmentation de la fréquence des événements extrêmes, en particulier en été (Christensen & Christensen, 2003; Schröter et al., 2005). Il est prévu que l'ampleur, la fréquence et les superficies des zones de sécheresses dans la région seront augmentées dans le futur (Jones et al., 1996), par les modèles actuels de changement climatique (Gibelin & Déqué, 2003).

Ces augmentations probables du nombre et de la sévérité des événements de sécheresse extrême, exacerbées par la demande croissante en eau, pour les activités agricoles, industrielles et touristiques et la croissance démographique (Larous, 2004), ainsi que la pollution (Rueda et al., 2002), auront probablement des répercussions et des impacts importantes sur les écosystèmes d'eau douce méditerranéens, et peuvent entraîner le déclin ou l'extinction locale des espèces les plus sensibles et leur remplacement potentiel par des espèces plus résistantes (Magalhães et al., 2007).

À partir d'études hydrobiologiques réalisées dans le Nord de l'Algérie, il a été constaté que le fonctionnement des écosystèmes aquatiques d'eau courante était fortement perturbé par les actions humaines (Mebarki, 2017).

Il est important d'identifier les pressions qui s'exercent sur ces écosystèmes, mais également de mieux connaître comment ces pressions se distribuent dans l'espace et avec quelle intensité elles s'exercent sur les habitants naturels. Ces connaissances peuvent contribuer à une gestion plus efficace qui permet de concilier au mieux la protection de la biodiversité et activités économiques (Richardson et al., 2006).

En outre, une gestion efficace des rivières et un effort de restauration des habitats, nécessitent des outils pour évaluer la réponse biologique à ces problèmes, Pour identifier les sites les plus vulnérables, ou de fixer des objectifs pour d'éventuels efforts de réhabilitation (Schmitter-Soto et al., 2011; Helson & Williams, 2013).

Les macro-invertébrés benthiques sont parmi les organismes les plus abondants et les plus diversifiés des systèmes d'eau douce, et sont des organismes clés dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques (Sharitz & Batzer, 1999). Ils jouent également un rôle important dans les cycles des matières et le flux d'énergie dans ces écosystèmes, ils peuvent contribuer à la décomposition de la matière organique dans les sédiments (Wallace & Webster, 1996; Braeckman et al., 2010; Stief, 2013).

Les communautés benthiques jouent également un rôle important dans les réseaux trophiques, reliant les réseaux trophiques benthiques et pélagiques, en se nourrissant de détritiques, d'algues, de bactéries, de protozoaires et d'autres petits invertébrés, et en jouant un rôle important dans le recyclage des nutriments et la décomposition de la matière organique. D'autre part, ils constituent la source d'énergie pour les organismes des niveaux trophiques supérieurs qui s'en nourrissent (Wallace & Webster, 1996), ils sont reconnus comme une source de nourriture essentielle pour les oiseaux, les poissons (Batzer et al., 1999).

Etant sensibles aux changements environnementaux, les macro-invertébrés benthiques, sont souvent utilisés comme des indicateurs biologiques dans la surveillance et l'évaluation de l'état de santé de l'environnement (Podraza et al., 2000; Sharma et al., 2009; Sharifinia et al., 2012; Andem et al., 2013; Kahirun et al. 2016; Patang et al., 2018; Jindal et al., 2020).

Plusieurs études existent en écologie, sur les eaux courantes en Algérie nous citons, Lestage (1925), Gauthier (1928), plus récemment, des études ont été menées sur la faune des eaux intérieures dans la région centre de l'Algérie citant celle de Gagneur et al. (1986), Lounaci et al. (2000a, 2000b), Arab et al. (2004), ainsi que d'autres travaux sur la région Est par Samraoui & Corbet (2000a, 2000b) sur la Numidie, ainsi que de nombreuses études ont été réalisées par les membres du laboratoire de conservation des zones humides (LCZH), université de Guelma, concernant les macroinvertébrés benthiques, parmi ces études : (Annani et al., 2012 ; Chaib et al., 2013 ; Bouchelouche et al., 2015 ; Hamzaoui et al., 2015 ; Satha & Samraoui, 2017 ; Bouhala et al., 2019 ; Dambri et al., 2020 ; Boucenna et al., 2023).

Le massif de Collo présente une valeur patrimoniale extraordinaire et constitue un site remarquable, à travers des potentialités biologiques exceptionnelles, avec des valeurs historiques, culturelles, scientifiques, économiques et touristiques. Elle compte des écosystèmes forestiers exceptionnels (subéraies, zéenaies, afarésaies, pinèdes, aulnaies, etc.) ; une flore assez riche avec un nombre appréciable d'espèces à statut particulier ; une faune diversifiée, avec une avifaune particulièrement très riche ; des falaises ; des criques et plages extraordinaires. Une bioévaluation a permis de mettre en évidence un potentiel à valeur patrimoniale certaine (ENVICONSULT, 2014).

L'analyse des peuplements de macroinvertébrés benthiques du massif de Collo n'a pas fait encore, l'objet d'aucune étude hydrobiologique. Pour pallier cette lacune, il est important d'œuvrer à acquérir une bonne connaissance des macroinvertébrés permettrait un suivi de

l'intégrité écologique des cours d'eau de la région de Collo, cours d'eau moins connus sur le plan de la biodiversité et du fonctionnement, mais qui subissent un impact anthropique avéré.

L'étude des macroinvertébrés benthique des cours d'eau de la région de Collo a été entreprise, afin de dresser un inventaire aussi exhaustif que possible, afin d'avoir des connaissances sur la systématique, mais aussi de comprendre l'écologie (facteurs de répartition des espèces, de la distribution spatiale), ainsi que la qualité des eaux.

Les résultats de l'étude fourniront également une base de données taxonomiques des macroinvertébrés du massif de Collo, qui pourra être utilisée dans de futures études de conservation et de biosurveillance dans une zone de grande diversité biologique.

L'objectif de notre étude est de:

- Etablir une check-list des principaux groupes taxonomiques des macro-invertébrés benthiques de la région de Collo, Wilaya de Skikda
- Evaluation du statut des espèces
- Identification des principales menaces concernant les milieux.

La structure de cette thèse se débutera par une introduction suivie de quatre chapitres, le premier chapitre présente une petite introduction sur les eaux courantes, le deuxième généralité sur les macroinvertébrés benthiques, le troisième chapitre qui sera réservé au matériel et méthodes résume les principales caractéristiques physiques et environnementales du milieu d'étude et la méthodologie adoptée, les techniques d'échantillonnage et les données environnementales recueillies. Enfin, les résultats de ce travail et leur discussion seront présentés au quatrième chapitre et nous terminerons par une conclusion et les perspectives.

Chapitre I : Les eaux courantes



1 Généralité sur les eaux continentales

L'eau est un élément fondamental de la vie, recouvrant 72 % de la surface de la terre, et représentant une réserve totale 1350 milliards de km³ dans la biosphère. Ainsi, les eaux disponibles directement pour les êtres vivants représentent un potentiel très faible par rapport à la quantité d'eau totale du globe, puisque il n'y a que 3 % environs d'eau douce, dont les trois quarts sont stockés sous forme de glace. Sont les eaux douces continentales (Genin et al., 2003).

On désigne sous le nom d'eaux continentales l'ensemble des eaux situées en deçà de la limite des continents. Les unes sont superficielles courantes (ruisseaux, rivières et fleuves) ou stagnantes (lacs et étangs). D'autre sont souterraines et résultent de l'infiltration des eaux superficielles (Angelier, 2000).

Pour les eaux superficielles on distingue deux grandes catégories de milieux aquatiques :

1.1 Les eaux stagnantes (ou milieux lentiques)

Caractérisé par un courant dont la vitesse du courant est nulle, ou presque nulle. Les eaux stagnantes représentent principalement les lacs, les étangs, les mares, et les flaques. Elles gardent une certaine autonomie fonctionnelle, formant une unité. Elles se distinguent par la superficie mais particulièrement par la permanence de l'eau, la profondeur, l'ensoleillement et le réchauffement du fond (Genin et al., 2003).

1.2 Les eaux courantes (ou milieux lotiques)

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

2 Les cours d'eaux

Pour classer les cours d'eaux on peut utiliser comme critère : outre l'arrivé ou non à la mer, des caractéristiques géomorphologique en considérant quatre élément fondamentaux : la longueur, la superficie du bassin versant, la pente et le niveau de ramification du réseau

hydrique. Et la meilleure façon d'exprimer ce dernier aspect et de déterminer le numéro d'ordre (**Figure 1**) des divers tributaires (Tachet et al., 2010). L'intensité de drainage peut être définie par la méthode de Horton, modifiée par Strahler (Angelier, 2000).

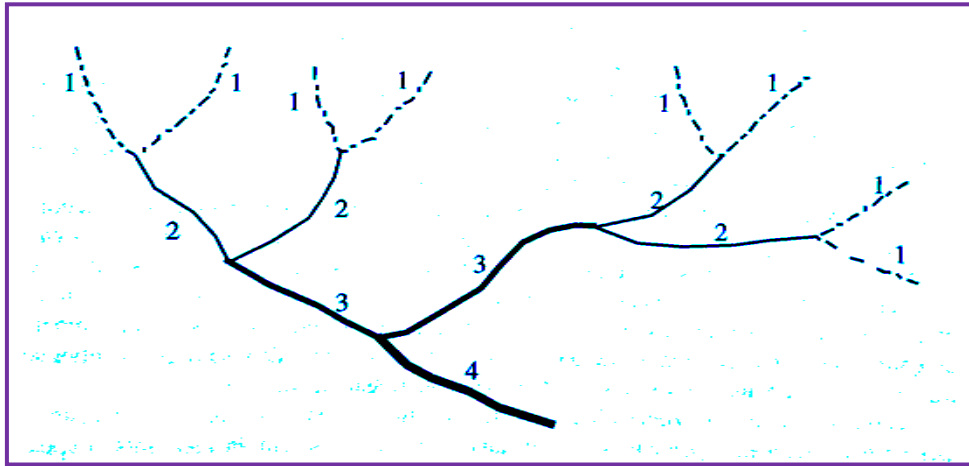


Figure 1: Numéros d'ordre (ordination) de drainage des tributaires d'une rivière par la méthode de Strahler (Angelier, 2000).

On affecte à chaque portion du cours d'eau un numéro d'ordre : un ruisseau qui n'a pas d'affluents est dit d'ordre 1. Lorsque deux ruisseaux d'ordre 1 confluent ils forment un ruisseau d'ordre 2...etc. un même ruisseau change de numéro d'ordre de l'amont vers l'aval, à chaque fois qu'il reçoit un ruisseau de même d'ordre que le sein (Angelier, 2000).

En plus de ces critères géomorphologiques, il faut prendre en considération des critères hydrodynamiques en particulier : le régime hydrologique (Tachet et al., 2010).

Le régime hydrologique d'un cours d'eau résume toutes ses propriétés hydrologiques et se définit par les variations de son débit. Ces fluctuations sont soumises à de nombreux facteurs (les conditions pluviométriques, nature et situation géographique du bassin versant...etc.)(Hamzaoui, 2015).

Le régime d'un cours d'eau est étroitement liée aux conditions climatiques (Tachet et al., 2010). Le débit des cours d'eaux varie tout au long de l'année et se caractérise par des alternances de hautes eaux (crue) et basse eaux (étiage). Le régime hydrologique des cours d'eau est associé à celui des précipitations et au cycle thermique saisonnier. Dans les latitudes moyennes, le plus important pour l'hydrologie fluviale est l'alternance thermique saisonnière, avec deux saisons fondamentales, l'hiver et l'été, et deux saisons intermédiaires, le printemps et l'automne. Cette alternance thermique donne trois régimes hydrologiques : nival, pluvial

océanique et méditerranéen avec des variations selon l'altitude du bassin versant (Angelier, 2000).

2.1 Le régime méditerranéen :

L'écoulement hivernal est important, avec deux pics, en automne et au printemps (Figure 2). Cependant, les faibles précipitations en été, combinées à une évaporation et transpiration intensives, entraînant des étiages estivales sévères et même à des sécheresses temporaires (Angelier, 2000).

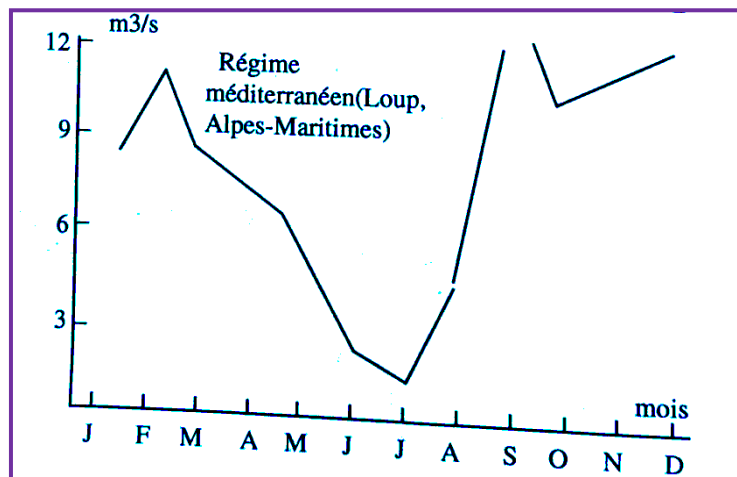


Figure 2: Evolution annuelle du débit sur des rivières à régime hydrologique méditerranéen(Angelier, 2000).

3 Les Bassins versants

Les cours d'eaux représentent des systèmes écologiques d'eaux courantes, partie d'un système hydrique, milieux hétérogènes hébergeant une diversité importante de communauté d'êtres vivants. L'équilibre de ces communautés faunistique et floristique est influencé par les caractéristiques des bassins versant dont ils font partie (Genin et al., 2003).

Les bassins versant peuvent être défini comme des espaces qui reçoivent l'eau des pluies et alimente les cours d'eaux par restitution des ruissellements des versants (Genin et al., 2003). Les bassins versants sont drainés par les eaux de ruissellement en ruisseaux, rivières et fleuves (Angelier, 2000). Ainsi, toutes les propriétés des bassins hydrologiques, tels que l'aspect géologique, la végétation et l'occupation des sols, déterminent le fonctionnement des cours d'eau récepteurs (Genin et al., 2003).

4 Structure des écosystèmes d'eaux courantes

Selon [Genin et al. \(2003\)](#), Un écosystème est une entité écologique de base constituée d'un biotope et une biocénose. L'ensemble est associé à un système d'interactions. Il s'agit alors d'un système unitaire fonctionnel est vivant, composées de nombreux éléments ayant des relations dynamiques entre eux.

4.1 Biotope

Le biotope représente le milieu abiotique, dans le cas des systèmes écologiques d'eau courante, il est composé par l'eau et le substrat (lit et berge), et lié essentiellement de la nature géologiques, topographie et les conditions climatiques ([Genin et al., 2003](#)).

En un secteur donné du cours d'eau, le biotope va être caractérisé par de multiples paramètres parmi lesquels :

4.1.1 La vitesse d'écoulement de l'eau,

Selon [Genin et al. \(2003\)](#), La vitesse du courant varie entre les milieux lotiques (vitesse élevée) et des milieux lentiques ou stagnants (vitesse faible à presque nulle). La vitesse est liée particulièrement du débit et de la pente. A l'échelle locale, elle est associée à la configuration du fond, de la largeur et la profondeur du lit.

En effet, le frottement réduit la vitesse près des berges et du fond, ou l'hétérogénéité provoque des zones de vitesse très différentes. A l'inverse, la vitesse du courant la plus importante sera atteindre juste tout près de la surface, au niveau de la profondeur la plus élevée, ou aucun frottement ne perturbe l'écoulement ([Genin et al., 2003](#)).

4.1.2 La nature du substrat :

Principalement défini par la granulométrie. Le fond des cours d'eaux est constitué d'élément de taille variée (blocs, pierres, galets, graviers, limons...etc.) en fonction de la nature des sols, le type d'écoulement et de la pente du cours d'eau ([Genin et al., 2003](#)).

4.1.3 La composition des berges

Qui peut influencer la composition des communautés vivantes, on a : la pente, la présence de végétation, le type de substrat...etc. ([Genin et al., 2003](#)).

4.1.4 La composition physico-chimique de l'eau

Tels que la température, la teneur en oxygène dissous, la charge en éléments nutritifs, les paramètres géochimiques, la présence d'éventuels polluants (Genin et al., 2003).

4.2 La biocénose :

Elle est composée par l'ensemble des populations animales et végétales. La biocénose des eaux douces présente une grande diversité et possédant des représentants de tous les groupes d'être vivants : virus, bactérie, champignons, algue, végétaux supérieurs, invertébrés et vertébré. La faune regroupe les protozoaires, métazoaires, invertébrés et vertébrés (Genin et al., 2003).

5 Fonctionnement des écosystèmes d'eaux courantes :

Le fonctionnement des écosystèmes d'eau courante diffèrent de celui des milieux terrestres, océanique et lacustre. Les cours d'eau drainent le bassin hydrique et ayant l'habitude d'atteindre le point le plus bas. Dans les eaux courantes, le cycle des matières ne suit pas un gradient vertical; le gradient est longitudinal, de l'amont vers l'aval dans les eaux courantes; le transport et la distribution de la matière organique et minérale nécessaire aux organismes et au fonctionnement de l'écosystème est assuré par le courant. Les organismes vivants sont entraînés ainsi par la puissance de l'eau en mouvement. C'est la particularité des écosystèmes d'eaux courantes, et qui fait toute l'originalité des systèmes lotiques. Ou la photosynthèse ne joue un rôle dans leur fonctionnement sauf dans les faciès lenticule des cours d'eaux, sur les pentes faibles, en plaine (potamal). Et cela explique leur tendance vers l'hétérotrophie (Angelier, 2000).

Un cours d'eau possède trois éléments fondamentaux : une source, un cours principal et une embouchure qui peut être une confluence s'il s'agit d'un tributaire, ou une réelle embouchure (Tachet et al., 2010). Les propriétés physico-chimiques de ce système fluvial change entre la source et la mer et par conséquent, la communauté d'organismes vivant y vivent modifiée en suivant cette évolution (Genin et al., 2003; Greenhalgh & Ovienden, 2009).

La faune et la flore des eaux courantes sont exposées à deux facteurs écologiques tout à fait particuliers qui les distinguent de tous les autres organismes vivant de la planète : l'hydraulique (courant et débit) et le temps de transit. Ce sont des facteurs dominants, limitant qui conditionnent la vie et les stratégies adaptatives de ces organismes. Les autres facteurs

écologiques, à part la température n'ont généralement qu'un rôle secondaire dans les eaux naturelles (Angelier, 2000).

Au sein du biotope, les êtres vivants qui composent la biocénose élaborent des relations dont les plus évidente concernant les ressources alimentaires (trophiques) et le partage de l'espace.

5.1 Relation trophiques

Selon Genin et al. (2003), La plus importante et la plus simple interaction entre les êtres vivants concerne la nourriture. Un réseau complexe, nommé le réseau trophique, qui est composé d'un ensemble de chaîne alimentaire, se met en place, assurant la transformation des matériaux minéraux et organiques dans les écosystèmes.

De manière schématique (Figure 3) et simplifiée, on observe une transformation des éléments minéraux en matière organique, fournie par les végétaux et les bactéries autotrophes, sont les producteurs.

La transformation des matières organiques est également réalisée et assurée par les animaux, soit directement dans le cas des herbivores, ou consommateurs primaires, soit indirectement dans le cas des carnivores, ou consommateurs secondaires ou plus. Les matières organique non consommée est par la suite transformée en élément minéraux par des organismes décomposeurs, les bactéries et les champignons (Genin et al., 2003).

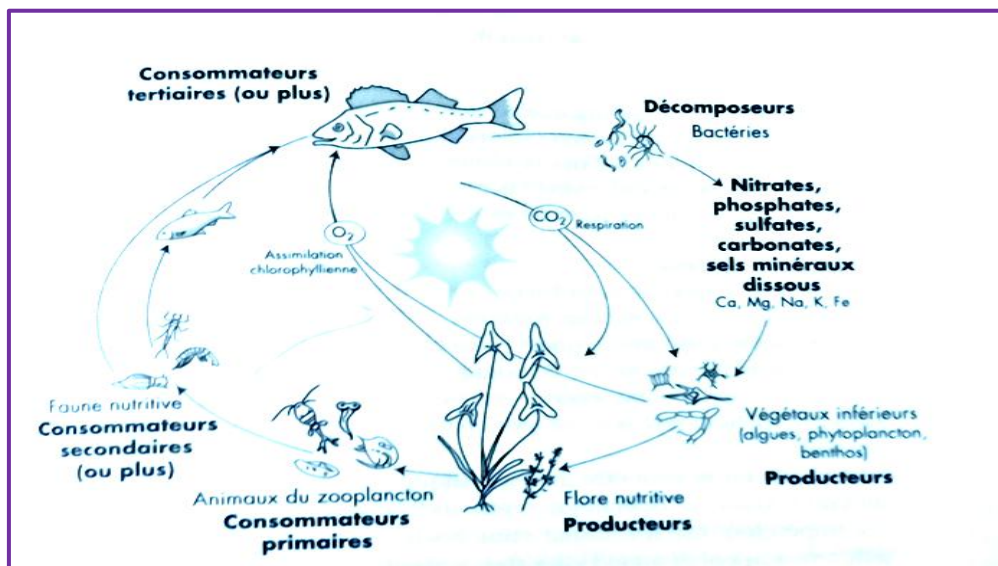


Figure 3: organisation globale d'un écosystème aquatique : des relations et échange entre compartiment (Genin et al., 2003).

6 Zonation des cours d'eaux :

Selon Genin et al. (2003), les eaux courantes abritent une grande diversité écologique: une hétérogénéité spatiale remarquable avec une mosaïque d'habitat très diversifiées y observées et caractérisent ces milieux.

De la source à l'embouchure, une rivière présente en effet un gradient amont-aval des conditions écologiques : on observe une modification de la répartition des biotopes, agissant la vitesse, la composition du substrat, la température...etc. la répartition des communautés floristiques et faunistiques varient suivant la modification des conditions de vie le long du profil longitudinal d'un cours d'eau (Genin et al., 2003).

L'installation de la faune et de la flore est en effet le résultat de l'interaction entre deux groupes de facteurs :

➤ La capacité d'adaptation des êtres vivants aux conditions de milieu :

L'ensemble des caractéristiques morpho-dynamiques du cours d'eau, ainsi la nature du substrat, le courant etc. vont conduire à des stratégies d'adaptations morphologiques et/ou comportementales de la faune, afin de répondre et aux contraintes physiques de l'habitat. C'est l'interaction biocénose-biotop (Genin et al., 2003).

➤ Les exigences des êtres vivants par rapport au substrat et aux ressources alimentaires :

On parle de la relation biotique qui s'installe au sein d'un écosystème : la compétition, prédation et ainsi les relations trophiques. Ce sont donc les relations entre les diverses composantes des biocénoses (Genin et al., 2003).

Ces deux groupes de paramètre sont à l'origine des différents systèmes de zonation longitudinale des cours d'eaux, dont les plus connus sont ceux établis par Huet en (1949) et Illies & Botosaneanu en (1963).

❖ La zonation selon Huet (1949) :

Ce système de zonation des cours d'eau est basé plus particulièrement sur les poissons, il permet de définir quatre zones piscicoles en fonction de la pente et de la largeur des cours d'eaux.

❖ **Illies et Botosaneanu (1963):**

Cette zonation est basé sur la répartition spatiale des invertébrés benthiques, et permet de définir trois zones principales, fondées essentiellement sur le courant et le débit (les sources formants **le crénon**, le cours supérieur à courant rapide **le rhithron**, et les cours moyens à inférieur avec courant lent, formants **le potamon**).

Dans la pratique la différenciation entre les zones définies n'est pas aussi nette, la transition se faisant progressivement.

6.1 Zonation des cours d'eau à alimentation pluviale

Selon [Greenhalgh & ovenden \(2009\)](#), de la source à la mer, les caractéristiques physico-chimiques de ces systèmes pluviaux se changent et les communautés végétales et animales suivant cette évolution.

6.1.1 Les sources

Le lit du cours d'eau près de la source est en général constitué de rochers instables ou de roche nue. Comme le flot se trouve réduit à un ruisseau pendant les périodes de sécheresse. Les sources n'abritent habituellement pas de poisson, mais les invertébrés peuvent se réfugier dans les substrats frais et humides. La végétation est généralement formée d'algues microscopiques. Les mousses peuvent s'installer sur les roches et les lits rocheux. Les insectes les plus courants sont l'éphémère, les perles, la libellule et les trichoptères ([Greenhalgh & ovenden, 2009](#)).

6.1.2 Le cours supérieur

Le cours supérieur est le plus fréquent formé de ruisseaux très turbulents dont le fond est rocheux, mais dans certaines zones plus calmes, au courant moins fort, le substrat est constitué du sable à gros grains et de graviers. La végétation est principalement formée d'algues microscopiques et de mousses aquatiques. Les espèces animales fréquentes sont la truite, le cincle plongeur, les éphémères (*Ecdyonurus torrentis*), les grandes perles (*Perla bipunctata*) dans les zones pierreuses instables, les petites perles brunes (*Amphinemura sulciollis*), une phrygane (*Hydropsyche instabilis*), la bernique d'eau douce ([Greenhalgh & ovenden, 2009](#)).

6.1.3 Les rivières intactes de plaine

Le cours est généralement plus régulier et le lit est composé de graviers, de sable ou de vase. La rivière forme de larges méandres. La végétation luxuriante est dominée par les renoncules aquatiques, accompagnée de nombreuses autres espèces, dont rubanier d'eau émergé. Parmi les principales espèces animales citons la vandoise, la perche, la brème et la carpe qui accompagnent souvent toutes les autres espèces. *Ephemera vulgata* est présente ainsi que *E. danica*. *Brachycentrus subnubilis* et *Calopteryx splendens* fréquentent les eaux envahies d'herbes aquatiques, tandis que les moules d'eau douce colonisent le lit de la rivière (Greenhalgh & Ovenden, 2009).

Il existe également une zonation transversale des cours d'eaux, les conditions d'habitats se change d'une rive à l'autre selon la vitesse de courant (plus important au centre le plus souvent), la profondeur de l'eau...etc. ainsi la végétation aquatique va suivre cette évolution et se distribue différemment en fonction de ces critères, les peuplements d'invertébrés benthiques vont se répartir également de façon hétérogène sur un transect (Greenhalgh & Ovenden, 2009).

7 Action anthropique sur les eaux courantes

La pollution peut être définie comme l'introduction dans l'environnement de substances synthétiques ou de substances naturelles rejetées par l'homme et de formes d'énergie dans l'environnement, qui sont susceptibles d'endommager les écosystèmes, leurs composants ou leurs structures (Rosenberg & Resh, 2009).

La pollution peut être causée par diverses substances et activités : les eaux usées et autres enrichissements organiques, les engrais (tels que l'azote, le phosphore...etc.), pesticides (herbicides, fongicides et insecticides), les métaux lourds (cadmium, mercure, sélénium...etc.), les composés organiques (biphényles, polychlorés, hydrocarbures aromatiques polycycliques...etc.), les émissions atmosphériques industrielles (dioxyde de soufre et NOx, qui sont des précurseurs des pluies acides; les gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et le méthane), les rayonnements (comme dans la catastrophe de Tchernobyl), la chaleur (pollution thermique des centrales électriques), et la destruction de l'habitat (fragmentation des habitats, canalisation des cours d'eau, création de réservoirs) (Rosenberg & Resh, 2009)

Les installations urbaines et le développement industriel ont conduit à utiliser les eaux courantes comme exutoire des déchets. Les matières organiques biodégradables rejetées et les sels minéraux comme ceux de l'azote et du phosphore sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation. L'importance de ce phénomène dépend largement du temps de transit. Un excès de matière organique, ainsi que les rejets de certains composés chimiques et métaux ont provoqué une pollution toxique (Angelier, 2000).

*Chapitre II : Généralité sur les
macroinvertébrés*



1 Définition des macroinvertébrés

Les invertébrés regroupent tous les animaux qui n'ont pas de squelette d'os ou de cartilage (Hamzaoui, 2015). De ces animaux, les macroinvertébrés benthiques sont ceux qui sont visibles à l'œil nu, mesurent au moins 3-5 mm à leur dernier stade de développement, vivent dans le fond d'un cours d'eau ou qui ne s'en éloignent que de peu pendant la majeure partie de leur vie. Ce sont surtout des larves et des nymphes d'insectes aquatiques, ainsi quelques insectes aquatiques adultes. Ils comprennent aussi des vers, des mollusques et des crustacés (Tachet et al., 2010; Touzin, 2008; Hamzaoui, 2015).

Les macroinvertébrés sont pratiquement omniprésents dans les cours d'eau et les rivières du monde entier (Hauer & Resh, 2017). Ils sont par ailleurs des organismes fascinants qui apportent une forte contribution à la biodiversité des cours d'eau. Les différentes espèces sont adaptées aux conditions écologiques les plus diverses. Certaines ont des exigences strictes et nécessitent des eaux très pures telle que les Plécoptères, alors que d'autres sont capables de supporter des charges élevées en matière organique comme les Trichoptères, ou encore résistante comme les Diptères. Certains préfèrent les zones d'eau courant tandis que d'autres privilégient les eaux calmes. D'autres encore sont généralistes et s'adaptent à différents types d'habitats. D'autres sont localisés à des milieux bien déterminés (Hamzaoui, 2015).

2 Macroinvertébrés et bioindication

Les communautés de macroinvertébrés benthiques sont utiles pour évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau. Selon Mary, (2017), elles offrent de multiples avantages dans le cadre de la biomonitoring en raison des caractéristiques suivantes:

- Ils sont présents dans l'ensemble des écosystèmes aquatiques,
- Ils sont relativement sédentaires et peu mobiles en général,
- Ils sont donc très représentatifs des conditions du Milieu,
- Les communautés benthiques sont en général abondantes et diversifiées à différentes échelles spatiales et temporelles,
- Leur sensibilité aux polluants est assez bien connue,
- Leur durée de vie est suffisamment longue pour fournir un enregistrement intégré de la qualité environnementale,

- Leur identification est, en général, relativement aisée, notamment au niveau de la famille et du genre.

- Selon [Moisan et al., \(2008\)](#), le suivi des macroinvertébrés benthiques est utile pour :
 - L'évaluation de l'état de santé global des écosystèmes aquatiques;
 - Suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau avec le temps;
 - Evaluer et vérifier l'impact d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème;
 - Evaluer les 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 benthiques dans les cours d'eau.

3 Mode d'alimentation des macroinvertébrés

En ce qui concerne les groupes fonctionnels alimentaires, les macroinvertébrés peuvent être classés comme suit : broyeurs, collecteurs (rassembleurs ou filtreurs), racleurs et prédateurs ([Cummins & Klug, 1979](#)). Selon ([Cummins & Klug, 1979](#); [Wallace & Webster, 1996](#) ; [Cummins et al., 2005](#) ; [Merritt & Wallace , 2009](#)). Les macro-invertébrées se divisent en 4 groupes :

- Les broyeurs, sont des insectes et d'autres animaux qui se nourrissent directement de gros morceaux de matière organique (feuilles en décomposition et fragments de bois d'une taille de 1 mm), les champignons et les bactéries associés. Et les transforment en fines particules de matière organique, pouvant servir de nourriture aux collecteurs- rassembleurs et aux filtreurs.
- Les collecteurs se nourrissent de fines particules de matière organique, et peuvent être classés en collecteurs-filtreurs, qui récoltent les fines particules de matière organiques en suspension présent dans la colonne d'eau et, les collecteurs- rassembleurs, qui récoltent de la nourriture, principalement les fines particules de matière organique, déposée au fond des cours d'eau ou des lacs.
- Racleurs, dont les pièces buccales sont adaptées pour brouter et récolter les matériaux (le périphyton, ou les algues fixées, et les microbes associés) des surfaces rocheuses et des substrats organiques.
- Prédateurs, sont définis comme étant les macroinvertébrés qui capturent et consomment des proies vivantes.

4 Les Taxons les plus importants des macroinvertébrés aquatiques

4.1 Embranchement des Plathelminthes (planaires)

Sont des vers plats non segmentés, contractiles (Greenhalgh & Ovenden, 2009), plus ou moins allongés (**Figure 4**), se nourrissant d'autres invertébrés vivants, morts ou malades (Mary, 2017).

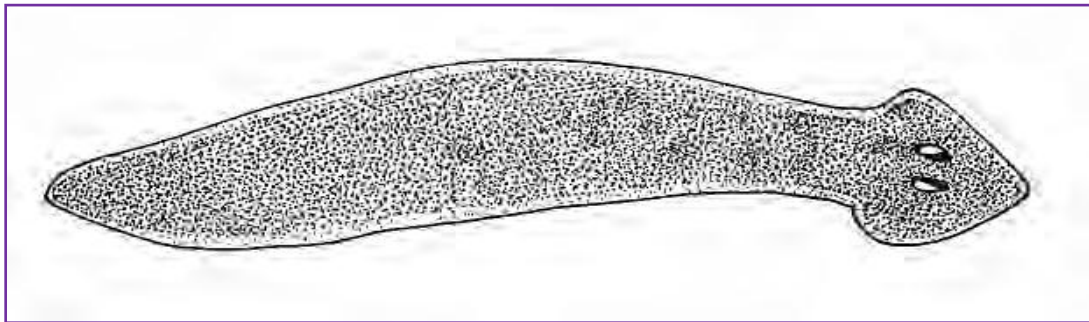


Figure 4: plathelminthes (planaires) (Moisan et al., 2008).

4.2 Embranchement des Némerte (némertiens)

Les némertiens sont des vers très minces, non segmentés, aplatis, contractiles, abondants dans les milieux marins, représentés en eau douce que par une seule espèce (**Figure 5**) (Tachet et al., 2010; Greenhalgh & Ovenden, 2009). Cette espèce, cosmopolite, avec une large distribution géographique (Mary, 2017).

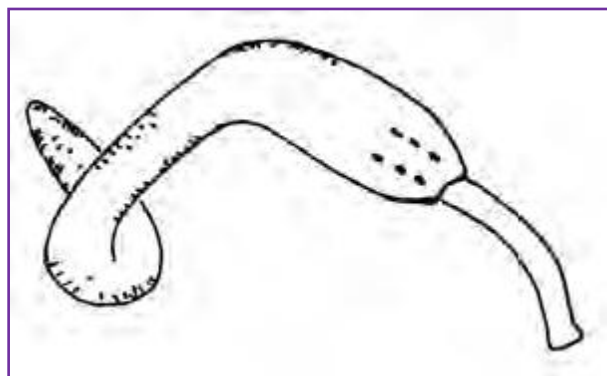


Figure 5: Némerte (Moisan et al., 2008).

4.3 Embranchement des Némathelminthes

Sont des vers minces, non segmentés, non contractiles, cylindriques, ils se déplacent par ondulation brusque (Greenhalgh & Ovenden, 2009). Sont aussi abondants dans les lacs et les cours d'eau douce où ils passent la totalité ou la majeure partie de leur cycle de vie (Thorp &

Covich, 2001). Deux classes de némathelminthes ont des représentants en eau douce : les Nématodes (**Figure 6**) et les Gordiacés (Tachet et al., 2010)

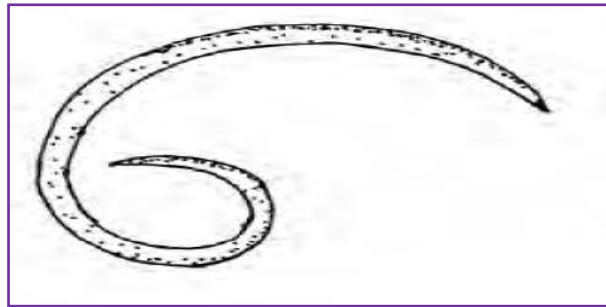


Figure 6: Némathelminthes (Nématodes) (Moisan et al., 2008).

4.4 Embranchement des Annélides (Annelida)

Vers clairement segmentés, portant soit, des soies le long du corps, soit une ventouse à chaque extrémité. Les annélides sont Composé principalement de trois groupes assez diversifiés (vers oligochètes, branchiobdellida, et sangsues ou achète) (**Figure 7**) (Greenhalgh &Ovenden, 2009), ils vivent dans les environnements lentiques et lotiques (Thorp & Covich, 2001). Les Oligochètes sont des vers ciliés hermaphrodites. Ils habitent sur ou dans les fonds de tous les environnements aquatiques (eaux courantes et eaux stagnantes, y compris les lacs et les ruisseaux oligotrophes). Ils se nourrissent en ingérant de la boue d'où ils extraient des algues, des diatomées, des bactéries ou des débris organiques. Les Achètes, ou sangsues, sont caractérisées par un corps dépourvu de soie, et sur leur face ventrale, par une ventouse antérieure où s'ouvre la bouche et une ventouse postérieure (Mary, 2017). Les sangsues sont présentes a la fois dans les environnements marins et d'eau douce (Tachet et al., 2010).

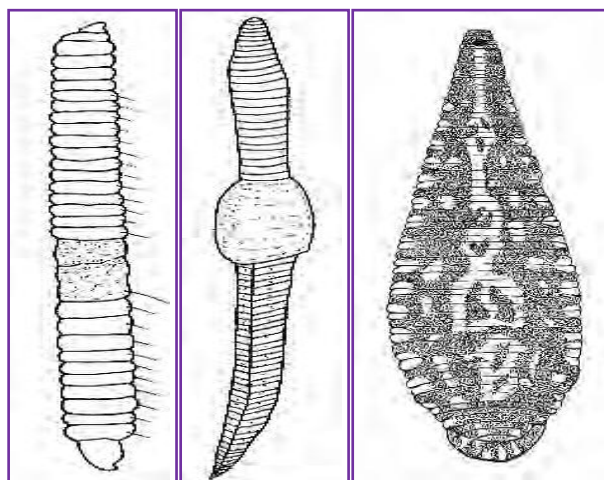


Figure 7: Annélides (Moisan et al., 2008).

4.5 Embranchement des Mollusques

Deux classes du phylum Mollusques (**Figure 8**) contiennent un grand nombre d'espèces d'eau douce : les classes Gastropoda (escargots) et Bivalvia (moules et palourdes) (Thorp & Covich, 2001).

- **Les gastéropodes** : Constituent l'un des groupes d'eau douce les plus diversifiés. On les trouve généralement dans les régions littorales des habitats lenticules et lotiques.
- **Les bivalves** : se trouvent dans les lacs, les ruisseaux et les grandes rivières permanents.

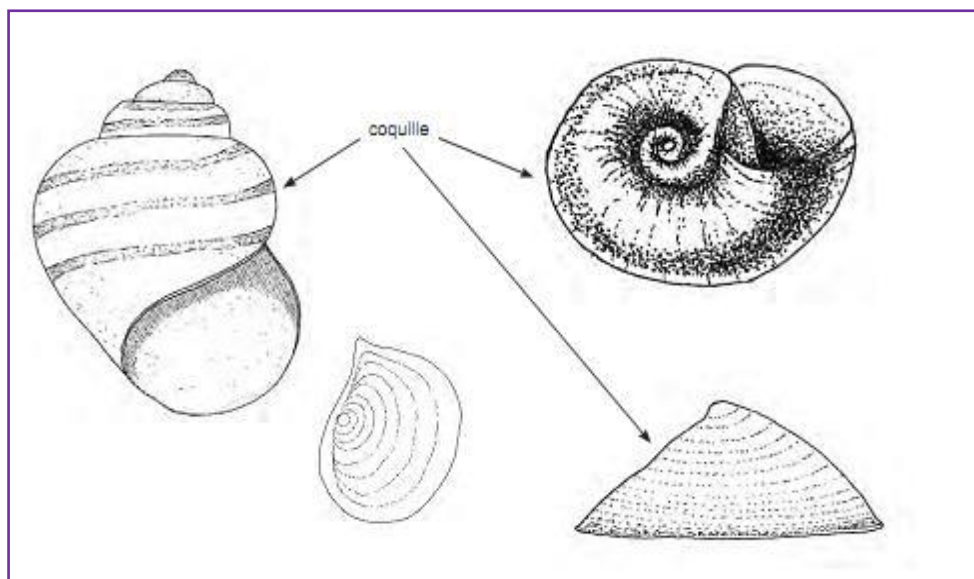


Figure 8: Mollusques (Moisan et al., 2008).

4.6 Embranchement des Arthropode

Les membres du phylum Arthropode sont présents dans tous les habitats de la planète, depuis les hautes couches de l'atmosphère (araignées flottantes) jusqu'aux couches les plus profondes de l'océan (nombreux crabes et autres crustacés), et ils représentent plus de 80 % des espèces décrites sur terre. Les estimations de la diversité des arthropodes varient généralement entre 2 et 6 millions d'espèces (Thorp & Rogers, 2011a).

4.6.1 Les Crustacés

Les crustacés sont des membres extrêmement importants des communautés planctoniques et benthiques, dans presque tous les écosystèmes d'eau intérieures, y compris les zones humides, les lacs d'eau douce, d'eau salée et les rivières, même s'ils ne représentent qu'environ 15% des espèces décrites. Ils constituent un lien vital dans le réseau trophique

entre les producteurs primaires (algues et herbes aquatiques) et les niveaux trophiques supérieurs. Les crustacés se nourrissent en tant que détritivores, herbivores, omnivores et carnivores, leur taille varie du zooplancton minuscule de 0.1 mm de long à l'écrevisse géante de 400 mm. Les crustacés adultes ont deux paires d'antennes. Leur cuticule chitineuse est souvent élaborée comme une carapace en forme de bouclier (**Figure 9**), et leur abdomen a typiquement plus de 11 segments (Thorp & Rogers, 2011a). Près de 4000 espèces de crustacés peuplent les eaux douces du monde entier, occupant une grande diversité d'habitats et de niches écologique (Thorp & Covich, 2001).

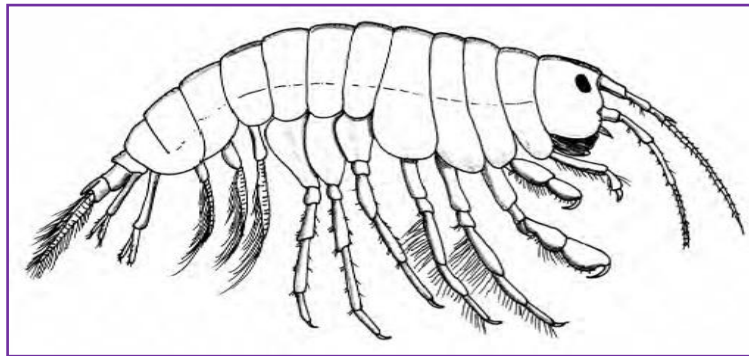


Figure 9: Crustacés (Amphipodes) (Moisan et al., 2008).

4.6.2 Les insectes

La moitié des invertébrés d'eau continentale sont des insectes (Angelier, 2000). Les insectes aquatiques sont dérivés de divers ancêtres terrestres qui ont secondairement envahi les milieux aquatiques (Balian et al., 2008). Certains ordres d'insectes ne contiennent que des espèces qui sont aquatiques à certains stades de leur vie (par exemple, les éphémères, les perles, les libellules, les mégaloptères), tandis que d'autres ordres contiennent à la fois des espèces aquatiques et terrestres (par exemple, les coléoptères, les hétéroptères, les papillons et les diptères) (Balian et al., 2008; Thorp & Rogers, 2011a; Hauer & Resh, 2017). Les insectes aquatiques forment un groupe très diversifié avec environ 76 000 espèces adaptées à tous les types d'habitats d'eau douce (Balian et al., 2008). Ils occupent tous les habitats d'eau douce et toutes les niches hétérotrophes et sont présents avec des densités et des diversités énormes (Thorp & Covich, 2001).

Leur cycle de vie comprend soit une séquence œuf, larve et adulte (dans les ordres des éphéméroptères, des odonates et des plécoptères), soit une succession œuf, larve, nymphe, et adulte (Trichoptère) (**Figure 10**). Presque tous les invertébrés d'eau douce passent la majeure partie de leur vie dans des habitats aquatiques. La plupart des insectes d'eau douce ont un

stade de vie ailé, qui est soit terrestre, soit semi-aquatique (Thorp & Rogers, 2011a). Le stade de reproduction d'un adulte terrestre tend à être court par rapport au stade larvaire (Thorp & Covish, 2001 ; Thorp & Rogers, 2011a).

Le peuplement des eaux courantes et stagnantes diffère également. Colonisant exclusivement ou essentiellement les eaux courantes, Les Dipteres Blephariceridae et Simulidae, les éphéméroptères, plécoptères, trichoptères parmi les groupes d'insectes les plus importants. En revanche, les Crustacés sont dominants dans les eaux stagnantes, de même que les Oligochètes, Mollusques, Diptères Chironomidae, Coleopteres, Dytiscidae, Hémiptères et Odonates (Angelier, 2000).

Les écosystèmes du monde entier dépendent des insectes pour la pollinisation, la décomposition, l'aération du sol et le cycle des nutriments et de l'énergie (Hoffman Black & Vaughan, 2009).

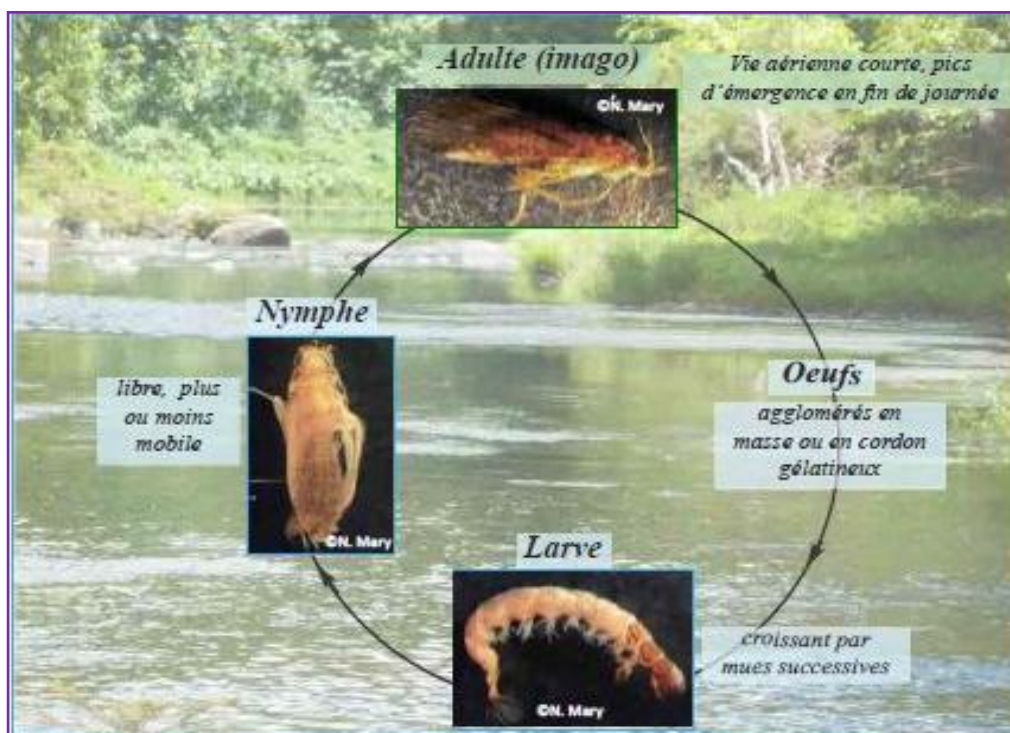


Figure 10: Exemple du cycle biologique d'un Insecte Trichoptère Hydropsychidae (Mary, 2017).

Le corps de l'insecte se compose de trois parties: la tête, le thorax et l'abdomen (**Figure 11**). La tête a une paire d'antennes, une paire d'yeux composés, jusqu'à trois yeux simples, et un ensemble complexe de pièces buccales jumelées. Le thorax contient la plupart des systèmes d'organe; Les adultes peuvent aussi avoir trois paires de pattes et d'ailes ou des

fourreaux alaires chez certains taxons. L'abdomen peut avoir jusqu'à 10 segments visibles et contenir des branchies et des appendices latéraux et/ou terminaux (Thorp & Rogers, 2011a).

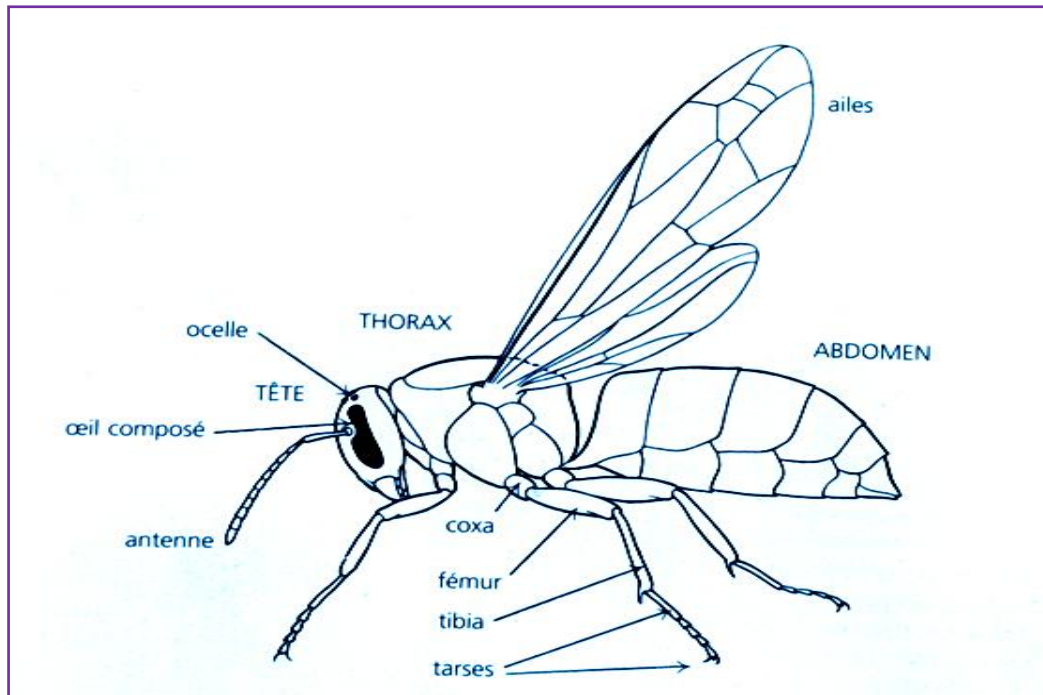


Figure 11: Insecte adulte (Moisan et al., 2008).

4.6.2.1 Les Coléoptères

Le terme de « Coléoptère » provient du grec « koleos » étui et « pteron » aile. Les coléoptères adultes se distinguent de tous les autres insectes par la présence d'ailes antérieures (élytres) forment, au repos un étui qui recouvre et protège les ailes postérieures membraneuses (Jäch & Balke, 2008; Faile, 2019; Krinsky, 2019).

Ils sont connus depuis le permien et représentent donc un des plus anciens ordres d'insectes (Tachet et al., 2010). On doit admettre que les Coléoptères sont tous d'origine terrestre, mais au cours de l'évolution de cet ordre, de nombreuses lignées sont adaptées à la vie aquatique (Benetti et al., 2018). Environ 15% des espèces des Coléoptères peuvent être définies comme aquatiques. Nous ne considérons comme coléoptères aquatiques que les coléoptères ayant un ou plusieurs stades véritablement aquatiques (Tachet et al., 2010).

Les coléoptères (ordre de coleoptera) constituent le plus grand groupe d'insectes en termes de richesse d'espèces (Tachet et al., 2010; Jäch & Balke, 2008; Krinsky, 2019). Sur le plan systématique, ce groupe est immense, avec environ 400000 espèces décrites (Jäch & Balke, 2008; Faile, 2019). Ce qui représente environ 40% de tous les insectes connus

(Krinsky, 2019). Les coléoptères sont actuellement répartis en 211 familles sur la base de 4707 genres distincts (Bouchard et al., 2011). La diversité des Coléoptères aquatiques du monde, estimant qu'environ 18 000 espèces dans une trentaine de familles ont des représentants aquatiques et dans 25 de ces familles, au moins 50% des espèces sont à considérer comme aquatiques (Benetti et al., 2018).

Ils sont holométaboles, c'est -à-dire qu'ils ont des métamorphoses complètes et passent au moins par 4 états : oeuf, larve, nymphe et imago (Benetti et al., 2018; Krinsky, 2019).

Bien que les larves et les adultes de la plupart des familles de coléoptères aquatiques vivent dans l'eau, les nymphes sont généralement terrestres et la nymphose a lieu près du bord de l'eau (Benetti et al., 2018).

La plupart des coléoptères adultes vivent de quelques semaines pour les adultes vivant dans des habitats terrestres (Tachet et al., 2010; Thorp & Roger, 2011fg; Krinsky, 2019). Tandis que ceux qui habitent les systèmes aquatiques en tant qu'adultes peuvent vivre pendant des mois (Thorp & Roger, 2011g). Certaines d'autres espèces peuvent vivre plusieurs années (Tachet et al., 2010; Krinsky, 2019).

Le noir et le brun sont les couleurs les plus courantes chez les coléoptères, mais aussi les couleurs vives, y compris les teintes métalliques et irisées (Krinsky, 2019).

La dispersion sur de longues distances est assurée par le vol des adultes qui peuvent quitter temporairement le milieu aquatique (Tachet et al., 2010).

Les cycles de vie univoltine sont les plus courants, mais certaines espèces se reproduisent deux fois dans l'année et d'autres ont besoin de 2 ans ou plus pour compléter leur cycle de vie (Thorp & Roger, 2011g; Krinsky, 2019).

Les coléoptères ont colonisé tous les habitats d'eaux continentales possibles (Tachet et al., 2010; Thorp & Roger, 2011g; Krinsky, 2019). Ils se rencontrent en milieu superficiel et phréatique en zone eutrophe comme en zone oligotrophe, en eau douce comme en milieu saumâtre en haut montagne comme en plaine (Tachet et al., 2010). Mais, ils sont plus courants dans les écosystèmes lenticques. Les espèces lotiques sont plus fréquentes loin des courants principaux. Certaines coléoptère vivent en zone de courant (Elmidae) tolèrent les eaux modérément rapides (Thorp & Roger, 2011g).

Dans l'ensemble, les coléoptères ne sont pas sensibles à la pollution de l'eau comparativement à de nombreuses autres espèces aquatiques. Cependant, certains, ne se trouvent que dans des habitats propres et bien oxygénés (Thorp & Roger, 2011g).

Ils se sont révélés très utiles comme indicateurs biologiques et conviennent à l'élaboration de critères de gestion et à la sélection de zones prioritaires pour la conservation aquatique (Eyre, 1989).

Les larves de coléoptères correspondent à des groupes phylogénétiquement souvent très différents et sont polymorphes, de tailles variées du 1 mm à 6 cm pour *Hydrophilus* (Figure 12). Les yeux composés n'existent pas, ils sont remplacés par des stemmates constitués de 4 à 6 yeux simples ou ils peuvent être absents (*Sierritia* : Famille. Dytiscidae) (Tachet et al., 2010)

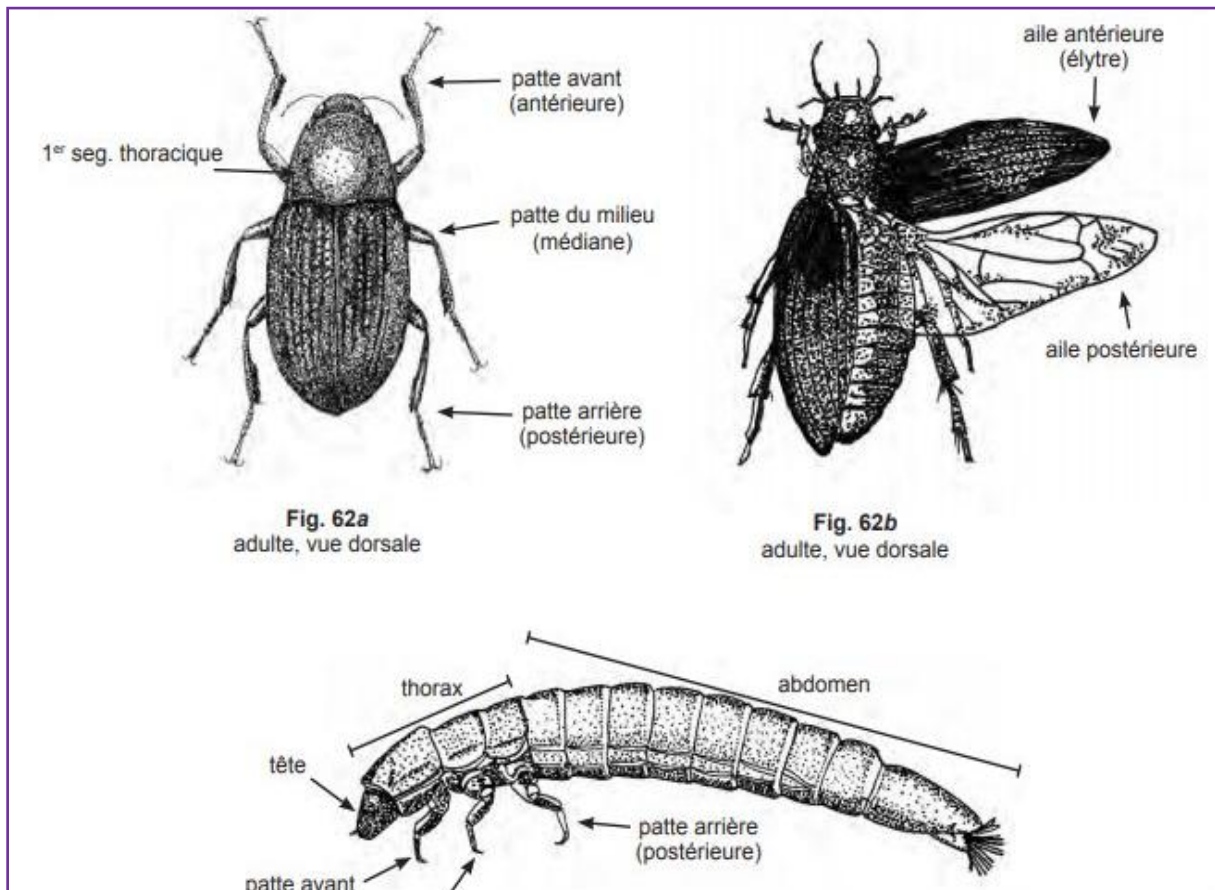


Figure 12: Coléoptère larve et adulte (Moison, 2008).

4.6.2.2 Les Diptères

Le terme diptère dérive du grec (di, deux, et ptéron, aile). Diptera est un ordre d'insectes, présentant une seule paire d'ailes (ailes antérieures) et fait référence au fait que la paire d'ailes postérieures est fortement modifiée et réduite (Fusari et al., 2018; Gerhardt & Hribar, 2019). Ils sont différenciés au début du secondaire, les premiers diptères fossiles connus datent du début du Trias (240 millions d'années) et l'ordre est probablement apparu à la fin du Permien. Les diptères constituent un ordre d'insectes très diversifié (Yeates & Wiegmann, 1999; Yeates et al., 2007). Selon Merritt et al., (2009) ; Pape et al., (2011) sont parmi les quatre ordres d'insectes les plus diversifiés, contient pour l'essentiel les mouches et les moustiques. Ils représentent pas moins d'un dixième de toutes les espèces sur terre (Wiegmann et al., 2011), avec plus de 159 000 espèces décrites dans le monde (Pape et al., 2011). Les espèces de diptères vivants ont été classées en au moins 130 familles (Yeates & Wiegmann, 1999).

La majeure partie d'entre eux sont terrestres; les familles adaptées spécifiquement à la vie aquatiques sont peu nombreuses : Chironomidae, Culicidae, Tabanidae, Simuliidae, Blephariceridae, Ephydriidae, ...etc. Dans les autres familles, seulement certains genres d'une famille présentent des larves en milieu aquatique. Il peut même arriver que, dans un même genre, il y ait des espèces aquatiques, d'autres semi-aquatiques et d'autres sont clairement adaptées à la vie terrestres (Tachet et al., 2010).

Les diptères représentent un groupe ubiquiste et cosmopolite, ayant réussi à coloniser presque tous les habitats et tous les continents, y compris l'Antarctique (Merritt et al., 2009). Se trouvent dans un large éventail d'environnements, tant naturels qu'artificiel (par exemple, rivières, ruisseaux, étangs et mares temporaires), ainsi que dans les habitats marins (Fusari & al., 2018).

En milieu aquatique, la famille la plus importante est celle des Chironomidae, qu'est considérée tolérante à la pollution. Les autres Diptères ont une tolérance moyenne (Moison, 2008).

Parmi les diptères aquatiques, les Chironomidés, qui sont un groupe d'importance remarquable pour l'hydrologie. Leur rôle dans la chaîne alimentaire est que ce groupe représente souvent un élément majeur dans la production de certains milieux (Bouda, 2002).

Les mouches et autres diptère aquatiques sont d'une importance générale pour les écosystèmes d'eau douce, constituant souvent un aliment majeur pour les poissons et une partie importante des communautés aquatique (Fusari et al., 2018).

Aucun autre groupe d'insectes n'a autant d'impact sur la santé humaine et animale que les diptères, ils sont connus comme des vecteurs de plusieurs maladies mortelles comme le paludisme à l'homme et aux animaux via leur stade adulte qui se nourrit du sang (Fusari et al., 2018; Gerhardt & Hribar, 2019).

Les diptères sont des insectes holométaboles provenant des milieux humides (Wiegmann et al., 2011). De nombreuses espèces de diptères habitent les environnements aquatiques ou semi-aquatiques pendant leurs stades immatures (Gerhardt & Hribar, 2019). De nombreux diptères aquatiques sont univoltins, caractérisés par une croissance rapide (Fusari et al., 2018). Les adultes sont généralement ailés (**Figure 13**) et volent activement (Merrit et al., 2009). La longueur des diptères varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres (Gerhardt & Hribar, 2019).

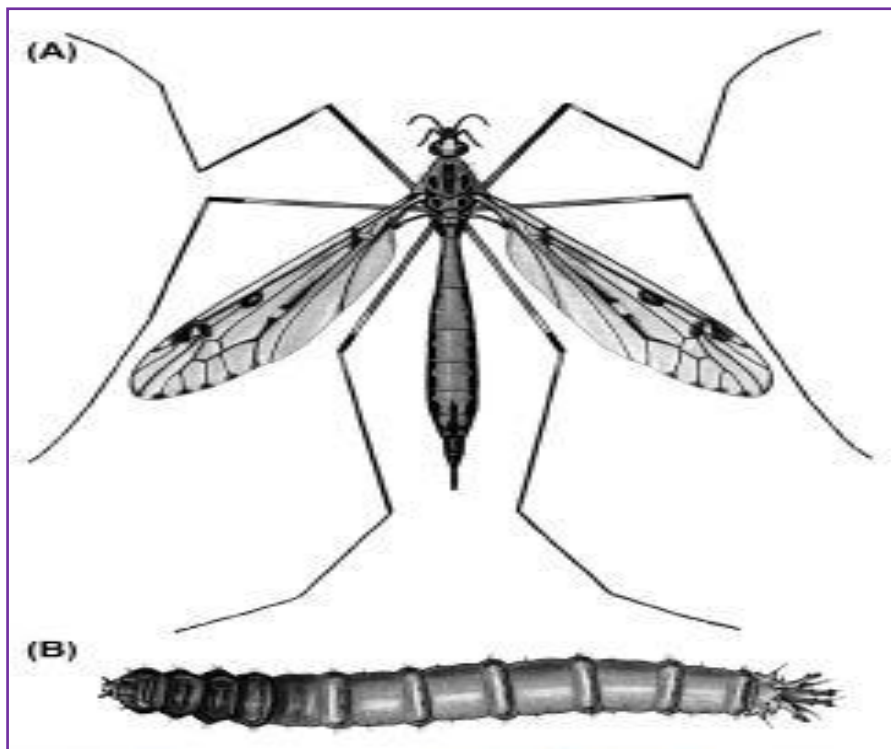


Figure 13: Diptère (A) adulte, (B) larve (Gerhardt & Hribar, 2019).

4.6.2.3 Les Héteroïptères

Les hétéroïptères sont communément appelés " les punaises". Ils apparaissent comme un sous-ordre assez diversifié des hémiptères et présentent de nombreuses adaptations aux habitats aquatiques et terrestres (Fauvel, 1999). Les hétéroïptères constituent l'ordre le plus important et le plus diversifié parmi les insectes non holométaboles (Schah & Slater, 1995; Weirauch & Schuh, 2011). Ils sont réparties en 75 famille et se trouve dans toutes les continent à l'exception de l'antarctique, avec environ 38 000 espèces réparties dans le monde entier (Schah & Slater, 1995).

Selon (Thorp & Rogers, 2011e), un peu moins de 9 % des hétéroïptères sont aquatiques et ont des larves et des adultes qui vivent dans l'eau (la majorité) ou sur sa surface, généralement dans des habitats de faible courant. La plupart des espèces se trouvent dans les eaux plus calmes des étangs temporaires, le long les rives des grands lacs. Celles qui fréquentent les ruisseaux et les grandes rivières se trouvent presque exclusivement dans les faciès lentique. Les larves et les adultes colonisent les mêmes habitats et sont généralement mélangés les unes aux autres.

La forme du corps varie considérablement d'une espèce à l'autre, allant d'un ovale aplati (**Figure 14**) (par exemple, Naucoridae) à des formes élancées et très allongées (par exemple, les scorpions d'eau, Nepidae). La plupart des espèces ont une taille comprise entre 20 et 60 mm, mais certaines punaises d'eau géantes atteignent 100 mm.

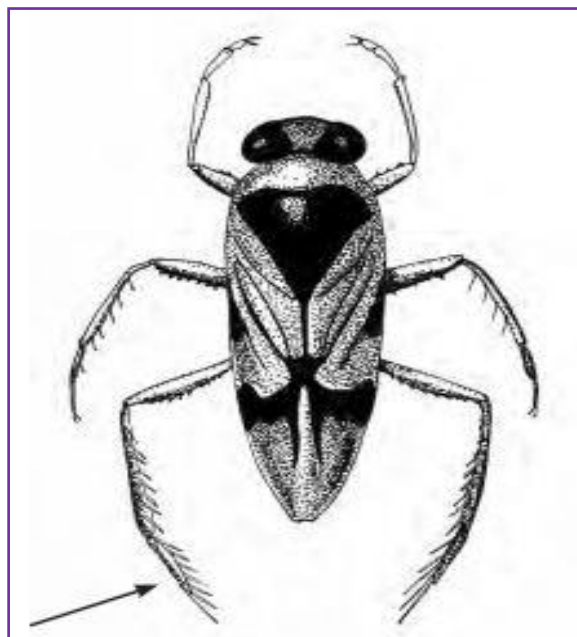


Figure 14: Héteroïptère (Corixidae) (Moison, 2008).

Le cycle biologique typique des punaises aquatiques est d'un an comprend la ponte des œufs au printemps, le développement des nymphes jusqu'aux adultes pendant quatre à cinq stades durant les mois plus chauds de l'été et au début de l'automne, passer l'hiver à l'état adulte et s'accoupler à la fin de l'hiver ou bien au printemps. La présence d'un grand nombre de punaises aquatiques est parfois un indicateur de la pollution de l'eau (Thorp & Rogers, 2011e).

4.6.2.4 Les Ephéméroptères

Les Ephéméroptères ou « mouches de mai » sont ainsi appelés à cause de la brièveté de la vie de l'imago (grec: ephemeros = vit un jour) qui ne dure que quelques jours, voire quelques heures (Thorp & Rogers, 2011b). Les éphéméroptères sont les plus anciens des insectes aquatiques. Ils sont connus depuis le carbonifère (Tachet et al., 2010; Britain & Sartori, 2009).

L'ordre des éphéméroptères est un petit groupe ancien d'insectes hémimétaboles (comprend trois stades de développement : l'œuf, la larve et l'adulte ou imago). Le groupe comprend plus de 3000 espèces décrites existantes dans 42 familles et plus de 400 genres (Barber-James et al., 2008; Britain & Sartori, 2009).

Les éphémères sont des insectes dont les larves sont exclusivement aquatiques (Tachet et al., 2010; Thorp & Rogers, 2011b; Derka et al., 2019). Celles-ci se caractérisent typiquement par la présence d'yeux composés, de trois (plus rarement deux) cerques multiarticulés, de pattes portant une seule griffe au tarse et de branchies abdominales en position latérale au latéro-dorsale (Tachet et al., 2010). La durée de vie larvaire des éphémères varie de 3 à 4 semaines à plus de 2 ans et donc passent la majeure partie de leur vie dans l'environnement aquatique (Tachet et al., 2010; Britain & Sartori, 2009).

Ils sont uniques parmi les insectes car ils possèdent deux stades adultes ailés, le subimago (stade intermédiaire) s'intercalant entre l'état larvaire et le stade adulte ou l'imago (Britain & Sartori, 2009; Derka et al., 2019).

La phase terrestre (adulte) n'inclure pas de période d'alimentation, ils dépendent plutôt des réserves constituées pendant leur vie larvaire (Britain & Sartori, 2009).

Les éphéméroptères sont de petits insectes (**Figure 15A**), dont la taille du corps de la larve varie de 2 mm à un peu plus de 30 mm. Les éphémères sont principalement herbivores

ou détritivores. Ils sont vraiment importants pour la chaîne alimentaire aquatique (Thorp & Rogers, 2011b).

Plusieurs auteurs ont classifié les cycles de vie (**Figure 15B**) des éphémères; la plupart ont utilisé une combinaison de voltinisme, les cycles sont variés considérablement selon les espèces et les conditions climatiques (Britain & Sartori, 2009; Thorp & Rogers, 2011b). Certains vivent une année et se reproduisent une fois (univoltine), tandis que d'autres produisent plusieurs générations par année (multivoltine). Relativement peu d'espèces nécessitent jusqu'à deux ans pour se développer (semivoltine) (Thorp & Rogers, 2011b).

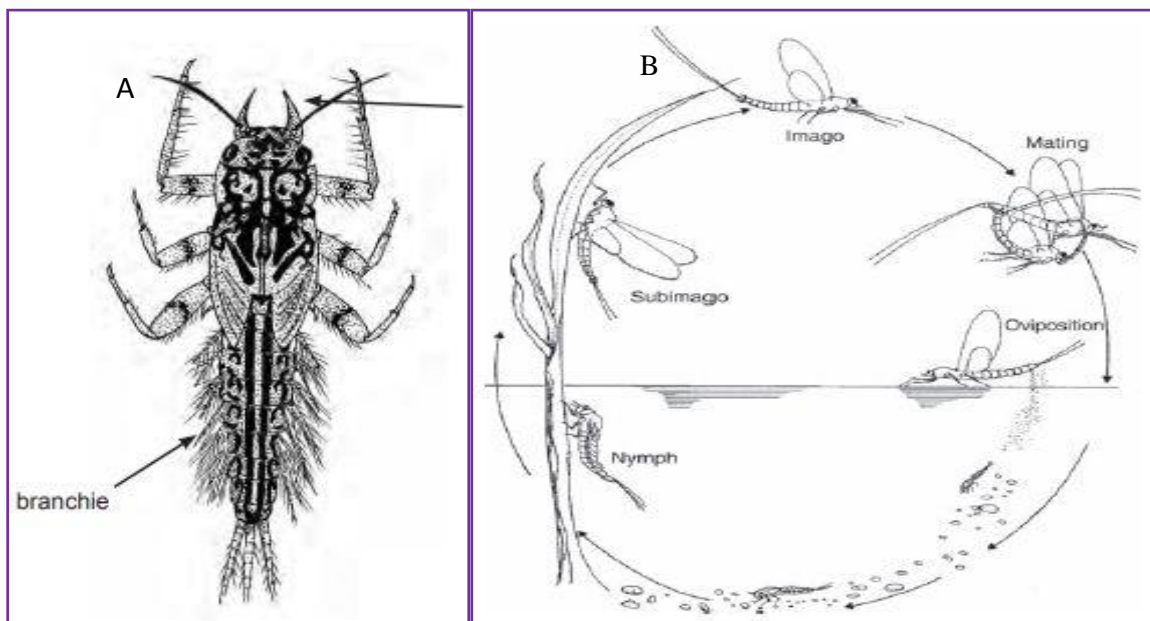


Figure 15:(A) Ephémère larve (Moison, 2008), (B) cycle de vie de l'éphémère (Britain & Sartori, 2009).

En raison de leur fragilité et de leur courte vie adulte, les éphémères ont généralement un pouvoir de dispersion assez limité. Le faible pouvoir de dispersion des éphémères se traduit également par un pourcentage élevé d'endémisme (Britain & Sartori, 2009).

On trouve les éphémères dans presque tous les types d'habitats d'eau douce du monde entier, bien que dans l'Arctique et dans les régions montagneuses (Barber-James et al., 2008; Britain & Sartori, 2009). Les éphéméroptères se trouvent à la fois dans les eaux courantes ainsi que les eaux stagnantes (Tachet et al., 2010).

Les besoins en oxygène des éphémères varient considérablement d'un taxon à l'autre (Thorp et Rogers, 2011b). Les éphémères sont largement utilisés comme indicateurs de la

pollution et des changements environnementaux (Britain & Sartori, 2009; Thorp & Rogers, 2011b). Sont des bon bioindicateur de la qualité des eaux (Rainbow et al., 2012).

La famille des Baetidae a une répartition quasi cosmopolite et compte actuellement près de 100 genres dans le monde (Cruz et al., 2013).

4.6.2.5 Les Odonates

Les odonates, communément appelés les demoiselles et les libellules, sont l'un des ordres les plus anciens des ptérygotes (Pessacq et al., 2018). Ce groupe aquatique a un lien évolutif étroit avec l'ordre des éphéméroptère (Tenessen, 2009; Thorp & Rogers, 2011c), mais diffère grandement des éphémères par la forme de son corps, son cycle de vie et son écologie (Thorp & Rogers, 2011c). Les fossiles les plus anciens datent du Permien (Schling et al., 2015).

Les odonates (libellules et demoiselles) (**Figure 16**) constituent un ordre relativement petit d'insectes hémimétaboles (Kalkman et al., 2008). En raison de leur taille relativement grande et de leur beauté, ces insectes ont fait l'objet d'une attention taxonomique adéquate, et il existe actuellement environ 6 000 espèces. Dont 652 genres ont été décrites jusqu'en 2010. Elles sont classées en 30 familles (Dijkstra et al., 2013).

Les larves d'odonates se nourrissent de toutes sortes d'animaux qu'elles peuvent vaincre (Schling et al., 2015). Ils sont pour la plupart aquatiques et des prédateurs actifs. Elle est composée d'insectes cosmopolites, qui sont omniprésents dans la plupart des environnements aquatiques (y compris plusieurs habitats saumâtres et terrestres) (Pessacq et al., 2018). Presque toutes les espèces d'odonates vivent dans des habitats d'eau douce. Les exceptions sont quelques taxons qui se trouvent ainsi dans : les habitats estuariens et autres habitats intérieurs d'eau saumâtre, les marais côtiers salés mais pas dans les habitats de haute mer et les habitats semi-terrestres humides (Thorp & Rogers, 2011c).

La durée d'une génération chez les libellules peut aller d'une génération par an (univoltine) jusqu'à quatre générations par an (multivoltine), voire même une seule génération en deux ans (semivoltine) ou trois ans ou plus (partivoltine). Dans la zone à climat tempéré, les adultes matures vivent habituellement jusqu'à 2 mois (Schling et al., 2015).

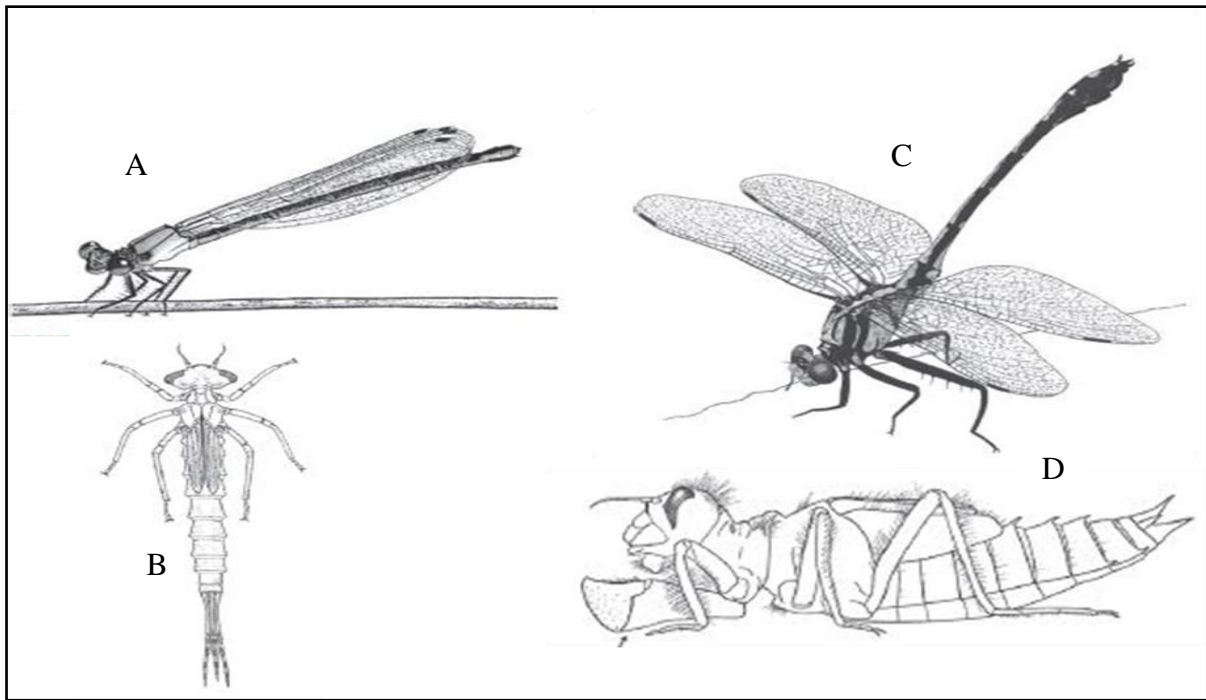


Figure 16: (A) demoiselles adulte, (B) demoiselles larve, (C) libellules adulte, (D) libellules larve (Tennessen, 2009).

4.6.2.6 Les Plécoptères

Le nom d'ordre Plecoptera vient du latin «*plecto*» qui signifie «plié» et le «*ptéron*» grec qui signifie «aile», et fait référence à la capacité des adultes à replier leurs ailes. L'ordre est ancien, avec des fossiles datant du Pennsylvanien (le carbonifère), il y a environ 300 millions d'années (Béthoux et al., 2011).

Les perles (plécoptères) sont un petit ordre d'insectes hémimétaboles qui compte environ 3 500 espèces existantes décrites dans 16 familles et 286 genres (Fochetti & Tierno de Figueroa, 2008).

Les larves de plécoptères vivent principalement dans des eaux froides et bien oxygénées. Les exigences écologiques des larves et la capacité de vol réduite des adultes sont les principaux facteurs responsables de leur forte endémicité (Fochetti & Tierno de Figueroa, 2008).

Les larves mesurent généralement de 5 à 70 mm de long et se distinguent des autres insectes par la présence combinée de deux cerques en forme de queue. Une paire de longues antennes et trois paires de pattes segmentées avec des griffes. Ils ont une paire d'yeux composés avec plusieurs taches oculaires (ocelles) (Thorp & Rogers, 2011d).

L'adulte a conservé de nombreux caractères larvaires, mais ce qui le différencie, c'est la présence d'un appareil génital mature et de deux paires d'ailes repliées sur le dos au repos (**Figure 17**) (Tachet et al., 2010). Quelques autres espèces sont aptères (sans ailes), Les perles adultes émergent généralement pendant la nuit (Stewart, 2009). La Phase adulte ne dure qu'une à quelques semaines (Thorp & Rogers, 2011d). Les adultes ailés se reposent tout au long de leur vie dans les microhabitats riverains comme les roches, la mousse, les débris, les feuilles et la végétation riveraine (Stewart, 2009).

Certaines espèces sont monovoltines avec un cycle vital de six mois à un an, d'autres demandent plus de deux ans pour achever leur développement (Tachet et al., 2010; Thorp & Rogers, 2011d),

Les plécoptères sont un ordre d'insecte aquatique, présent sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique (Fochetti & Tierno de Figueroa, 2008). Ils sont presque entièrement limités aux cours d'eau permanents. La richesse des espèces tend à atteindre son maximum dans les écorégions montagneuses et à décliner brusquement dans les cours d'eau turbides des grandes plaines, où les lits des cours d'eau sont souvent sablonneux et les substrats solides rares (Thorp & Rogers, 2011d).

La plupart des larves de Plecoptera sont très sensibles à la pollution de l'environnement et sont souvent utilisées dans les programmes de surveillance de l'eau douce (Avelino-Caspirano et al., 2018). Mais en fait certaines espèces tolèrent des conditions de qualité de l'eau quelque peu médiocres (Stewart, 2009).

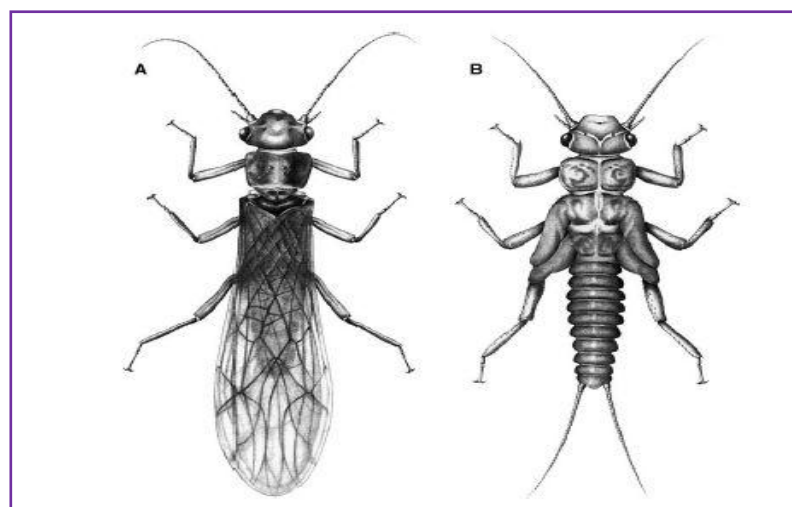


Figure 17: plécoptère. (A) adulte de *Nemoura*, (B) larve de *Nemoura* (Fochetti & Tierno de Figueroa, 2008).

4.6.2.7 Les Trichoptères

Le nom de Trichoptères signifie "ailes velues" (grec Trix = poil) et se réfère aux petits poils qui recouvrent les nervures et la membrane des ailes. Les Trichoptères, sont des insectes étroitement liés aux Lépidoptères, ou papillons nocturne (Morce, 2009).

C'est un ordre qui s'est différencié à la fin de l'ère primaire à partir d'un ancêtre commun notamment aux Lépidoptères et Mécoptères. Les premiers Trichoptères (philopotamidae) sont connus depuis le Trias; le groupe s'est surtout diversifié pendant le Jurassique et le Crétacé; la plupart des familles actuellement connues, à l'exception de celle des Limnephilidae qui est apparue au Tertiaire, étaient présentes au Crétacé (Tachet et al., 2010).

Les trichoptères constituent l'un des principaux groupes de macroinvertébrés dans les écosystèmes d'eau douce, tant en termes de diversité des espèces que de densité, en particulier dans les cours d'eau relativement non pollués (Morce, 2009). Plus de 16000 espèces de trichoptères ont été décrites dans le monde. Les espèces du monde sont en 632 genres dans 63 familles (Morce, 2023). En effet, l'ensemble des espèces sont inégalement réparti entre les régions biogéographiques (Morce, 2011). Ils sont présents à différents niveaux du réseau trophique et occupant de ce fait un grand nombre de niches écologiques, et jouent un rôle essentiel dans la dynamique des écosystèmes (Faessel & Monnier, 1985).

Les trichoptères sont des insectes holométaboles (œuf, larve, nymphe, et stade adulte) (Tachet et al., 2010; Morce,2009), dont les larves et les nymphes sont aquatiques, à l'exception du Limnephilidae *Enoicyla* qui s'est secondairement adapté à la vie terrestre (Tachet et al., 2010).

Les trichoptères produisent de la soie à partir des glandes labiales de la tête pour construire des refuges larvaires, des filets de collecte de nourriture, des étuis mobiles pour les larves de nombreuses espèces et des cocons pour toutes les nymphes. Quelques groupes sont considérés comme libres, c'est-à-dire qu'ils se déplacent sous l'eau sans étuis mobiles et sans refuges larvaire (Morce, 2009). Chez les formes sans étui, soit il n'y a pas de construction larvaire comme chez les Rhyacophilidae où seul sera édifié le cocon nymphal, soit il y a des constructions larvaires de types variés : structure filtrante chez les Hydropsychidae et les Philopotamidae, système de piège chez les Ecnomidae et les polycentropodidae, galerie collé au substrat chez les Psychomyidae (Tachet et al., 2010).

La plupart présentent un cycle de vie univoltine ou un cycle de vie d'un an, certaines espèces ayant plus d'une génération par année et d'autres une génération tous les deux ou trois ans (Faessel & Monnier, 1985; Morce, 2009). La période de vol s'étale du printemps à l'automne, cette saison correspondant pour la majorité des espèces à une émergence maximale (Faessel & Monnier, 1985).

Les trichoptères immatures se rencontrent dans presque tous les types d'habitats d'eau douce et sur tous les continents, sauf l'Antarctique (Morce, 2009; Thorp & Rogers, 2011f). Et peuvent vivre dans une large gamme d'habitats avec une vitesse de courant rapide à lente ou dans des eaux stagnantes (Morce, 2009). La plupart des espèces ont besoin d'une eau relativement propre et fraîche avec une forte concentration d'oxygène dissous. Les différentes espèces de trichoptères sont diversement sensibles aux changements des conditions environnementales, sont couramment utilisées comme bioindicateurs de la pollution (Morce, 2009; Thorp & Rogers, 2011f). Se sont des indicateurs biologiques potentiellement utiles pour l'évaluation de l'état de santé des cours d'eau (Chantaramongkol, 1983; Stanic-Kostroman et al., 2012; Prommi et al., 2014).

Les larves de trichoptère (**Figure 18**) ont des corps allongés et minces qui varient en longueur de 2 à 43 mm. Ils sont caractérisés par des antennes très courtes (visibles seulement avec un microscope fort) dans la plupart des espèces une paire d'yeux simples, pièces buccales de type broyeur une seule griffe tarsienne sur les pattes avec 10 segments abdominaux principalement membraneux (Thorp & Rogers, 2011f).

Les imagos de Trichoptères (**Figure 19**) sont de taille moyenne variant de 5 mm (Hydroptilidae) à 20 mm environ (Phryganeidae et certains Limnephilidae). Ils sont reconnaissables à la disposition des ailes qui, chez l'animal au repos, sont repliées en forme de toit sur l'abdomen (Faessel & Monnier, 1985), les ailes sont abondamment couvertes de poils courts. Les individus adultes possèdent de très longues antennes filiformes (Thorp & Rogers, 2011f).

Les adultes des différentes espèces vivent de quelques jours à plusieurs mois (Morce, 2009; Thorp & Rogers, 2011f). Au cours de leur vie aérienne, et malgré la régression de l'appareil buccal, les Trichoptères adultes sont capables de se nourrir. Des individus ont été observés en train de butiner des fleurs, d'autres en captivité se nourrissaient d'eau sucrée (Faessel & Monnier, 1985).

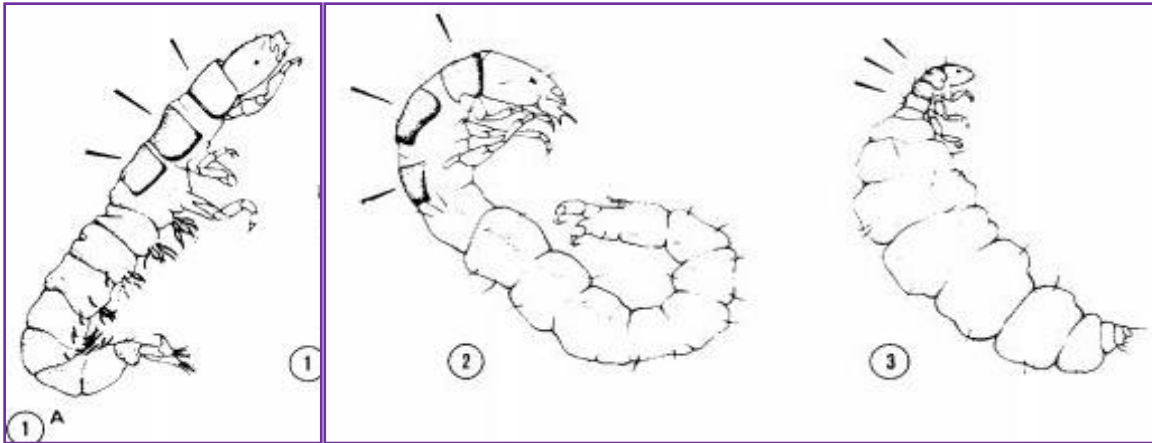


Figure 18: larves de Trichoptère. (1) Hydropsychidae, (2) Ecnomidae, (3) Hydroptilidae (Faessel et Monnier, 1985).

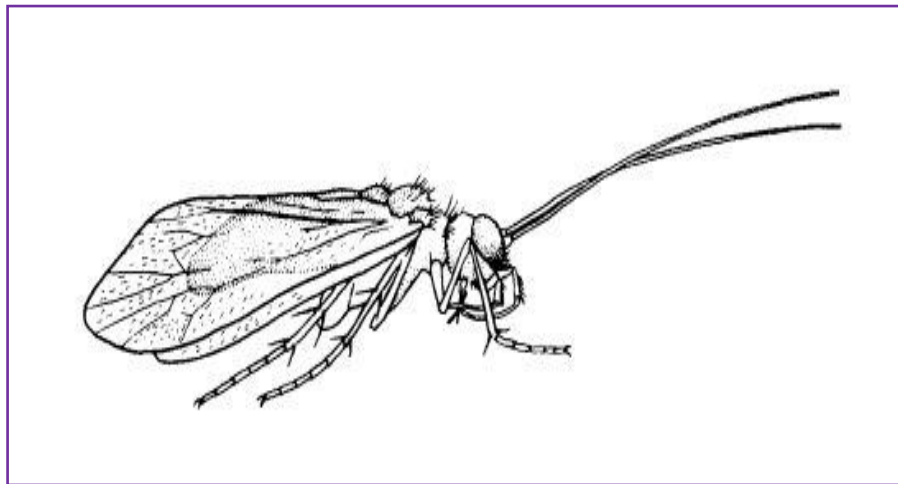


Figure 19: imago de Trichoptère (Faessel et Monnier, 1985).

Chapitre III : Matériel et méthodes



1 Description générale du massif de Collo

1.1 Situation géographique :

La région de Collo est localisée dans la partie Nord-Est du territoire Algérien. Comprise entre les latitudes 36.61° et 37.06° Nord et les Longitudes 6.28° et 6.73° Est. Elle est limitée à l'Est par Sidi Mezghiche, Bouchtata, El Harrouch et Ain Zouit, à l'Ouest par la Wilaya de Jijel, au Nord par la mer méditerranéenne et au Sud par la wilaya de Constantine et Mila (**Figure 20**).

Cet important massif forestier se situe à environ 400 Km à l'Est d'Alger et 75 Km au Nord Ouest de la wilaya de Constantine. C'est une zone très montagneuse, nommée parfois la Kabylie de Collo et qui correspond à la partie orientale de la petite Kabylie, une vaste chaîne côtière de l'Atlas Tellien (DGF, 1975). La région fait partie de la chaîne de montagnes de l'Atlas Tellien qui s'étend du nord-ouest de la Tunisie au nord-est du Maroc, en passant principalement par le nord de l'Algérie.



Figure 20: Situation géographique du massif de Collo (Boucenna H., 2023)

1.2 Situation administrative :

Le massif de Collo fait partie de la wilaya de Skikda, elle est située à environ 75 Km à l'extrême Ouest du chef-lieu, elle est de 1605 km, il s'étend sur sept Daira: la Daira de Collo, la Daira de Tamalous, la Daira de Oum Toub, la Daira de Sidi Mezghiche, la Daira de Ouled Attia, la Daira de Zitouna, la Daira de Ain kechra.

Il s'étend ainsi sur 17communes : Collo, Beni zid, Cheraia, Zitouna, Kanoua, Ouled Attia, Khnenak Mayoune, Oued Zhour, Ain Kechra, Ouldja Boulbalout, Tamalous, Kerkera, Bin EL Ouiden, Oum Toub, Sidi Mezghiche, Beni Oulbane et Ain Bouziane.

1.3 Relief et topologie :

Selon DGF, (1975), le relief du Collo s'ordonne de part et d'autre d'une grande arête de direction Nord Sud qui commence à se dessiner dans la région d'Ain Kechera 362m, s'élève très rapidement et culmine au Djebel El Goufi 1183m, Au Nord du Goufi la topographie est assez indécise. Le relief s'adoucit et s'étale, formant de véritables petits plateaux. Plateaux de Kanoua en particulier. Ce massif s'avance au Nord dans la Méditerranée, formant un vaste promontoire au contour grossièrement semi-circulaire. D'innombrables ravins entaillent ce massif, ils forment souvent de véritables gorges parcourues par des Oueds permanents, et font de ce secteur un des plus accidenté d'Algérie. L'altitude moyenne est forte, avec des sommets très élevés à proximité immédiate de la mer, en particulier sur les faces septentrionales occidentale de la presqu'île du Cap Bougaroune. Les exemples les plus frappants sont le Koudiat Sidi Embarek (altitude 805 m à 2.5 Km de la cote et le Koudiat Mechoulda (Altitude 740m à 2 Km) de la falaise occidentale. La pente moyenne est généralement très forte.

1.4 Hydrologie :

La zone d'étude qui est représentée par le massif de Collo, possède un réseau hydrographique complexe avec de multitudes de bassins versants dont la plupart s'étend sur de petite surface, ou les sources des oueds sont très proches de la mer et les cours d'eau se jettent directement après une petite distance de la source. Il existe principalement quatre grands bassins versants dans la région qui sont : le bassin versant de l'oued Guebli, le bassin versant de l'oued Tamanart, le bassin versant de l'oued Damous, et le versant de l'Oued Zhour.

Selon DGF (1975), parmi une multitude d'oued qui s'écoule dans toutes les directions, on peut distinguer la présence de quelques Oueds importants dont:

1.4.1 Le bassin versant de l'Oued Tamanart :

L'Oued de Tamanart prend naissance sous le col de Terras, couple au pied de Zitouna et contourne par le Sud Est la masse importante Djebel Rorbah. Sur sa rive gauche, il reçoit deux tributaires importants, l'Oued Bou Nebat et surtout l'Oued Mekkarat (Oued Affensou) (DGF, 1975).

1.4.2 Le bassin versant de l'Oued Zhour : (à l'Ouest)

C'est un vaste bassin versant dans la région de Collo, la crête limitant le bassin versant a grossièrement la forme d'un rectangle dont les quatre sommets sont le Djebel di El Mzara, le Djebel El Medjelba, le Rokba di Kandour et le Djebel Bou Bazil (DGF, 1975).

1.4.3 Le bassin versant de l'Oued Damous :

Ce bassin versant est le plus petit de la zone, symétrique de celui de l'Oued Tamanart par rapport l'arête méridienne. Il est surtout caractérisé par une multitude de ravins qui confluent vers la gouttière centrale que forme l'Oued Damous (Oued Tizagban). Ce dernier se jette dans la mer au fond d'une gorge étroite ; ni plaine alluviale, ni baie ne marquent cette embouchure (DGF, 1975).

1.4.4 Le bassin versant de l'Oued Guebli :

Le bassin versant de l'Oued Guebli est le plus vaste bassin versant du massif de Collo. Il débute au Sud de la région d'Oum Toub de direction Sud-Nord, il passe par la plaine de Tamalous puis celle de Collo pour enfin rejoindre la mer (Ben Rabah, 2006).

1.5 Géologie

La Kabylie de Collo est un massif de roches éruptives et cristallophylliennes, partiellement recouvert par des lambeaux transgressifs de marnes ou de grès nummulitique (Numidien). En dehors de ce Numidien, presque azoïque, et d'un très petit effleurement de Burdigalien, les terrains sédimentaires ne sont représentés que par des formations récentes, terrestres, alluvions de toutes natures, dunes, éboulis...etc. Le granite est tertiaire, mis en place après le Numidien qu'il a métamorphisé sur une large bande de contact. Les schistes cristallins sont anciens, primaires et peut être parcellément secondaire (DGF, 1975).

1.6 La Végétation

Selon DGF, (1975), Le massif de Collo présente une richesse taxonomique considérable arborescente, arbustive et herbacée, à valeur patrimoniale certaine.

1.6.1 La végétation arborescente

Selon DGF, (1975), la végétation arborescente est formée par les ligneux hauts et donne au paysage son aspect forestier qui porte souvent la marque de l'homme. Plusieurs formations végétales d'essences principales et d'essences secondaires s'observent dans le massif de Collo :

**Quercus Suber* : Le chêne liège est l'essence climatique dominante de la zone.

**Quercus Faginea* : Le chêne zeen se rencontre dans toute la zone, généralement au dessus de 300m, soit des noyaux dans les peuplements de chêne liège.

**Pinus Pinaster* : Le pin maritime, espèces subspontanée qui, en raison de sa forte dynamique liée à son caractère anémochore a colonisé sur les terrains cristallins de la partie Nord.

**Quercus Afares* : Le chêne Afarès forme une petite forêt relique sur les hauteurs du Djebel Goufi.

**Cerasus Avium* : Le merisier est le seul fruitier sauvage rencontré assez couramment.

**Populus Alba* : (le Peuplier blanc) et *Salix Pedicellata* (le Saule pédicéllé) souvent accompagnés d'*Anus Gultinosa* (l'Aulne glutineux) et *Ulmus Campestris* (l'Orme champetre), forment des petites forêts galerie le long des Oueds. Dans les ravins on rencontre parfois *Celtis Australis* (le micocoulier).

Fraxinus Oxyphilla : (le Frene oxyphille) *Olea Europea* (l'Olivier d'Europe), *Juglans Regia* (le Noyer commun) et *Ficus Garica* (le Figuier commun) se rencontre près des mechtas, tandis que *Castanea Vulgaris* (le Châtaignier commun) se trouve près des maisons forestière.

***Les Eucalyptus** : se rencontrent en petites plantations.

1.6.2 La végétation arbustive :

Selon DGF, (1975), la végétation arbustive est peu importante dans les peuplements de chêne zeen mais se trouve par contre bien développée sur le couvert arborisent moins complet

du chêne liège et du pin maritime qui exigent plus d'air et de lumière. Cette strate arbustive souvent continue et très riche, comporte les espèces qui constitueront le maquis après que les arbres auront disparus. Ensemble de formation arbustives sont présents dans la zone d'étude parmi lesquels :

***Les ericacées** avec : *Erica Arborea* (la Bruyère arborescente) présente partout, *Arbustus Unedo* (l'Arbousier) partout de 150 à 750m environ.

***Les papilionacées** : *Cytisus Triflorus* (le Cytise à trois fleurs) partout mais très abondant en altitude, *Calycotome Spinosa* (Calycotome épineux), *Genista Tricuspidata* (le Genet de Numidie) ;

***Myrtus Communis** : (le Myrte commun), *Phillyrea Media* (le Philaria) et *Pistacia Lentiscus* (le Lentisque) sont très abondants en basse altitude, ils se disparaissent vers 500m d'altitude. Ils sont accompagnés de *Viburnum Tinus* (le Viorne Thym), *Lavandula Staechas* (la Lavande straechas) et *Rhamus Alaternus* (le Nerprum alaterne).

1.6.3 La végétation herbacée :

Selon DGF, (1975), La strate herbacée est très réduite dans les peuplements denses et même partout où le sous bois est très importants et couvre le sol. Il est se développe plus largement en altitude. Il est cependant très abondant et variée dans toutes les clairières. Il est riche en plante vivaces. On rencontre en abondance :

***Ampelodesma Mauritanicum** (le Diss) constitue de grosses touffes dans les suberaies claires d'altitude.

***Pteridium Aquilinum** (la Faugère aigle) forme souvent des colonies très importantes.

***Asphodelus Microcarpus** et **Asphodelus Luteus** sont deux Asphodèles très courants dans le sous-bois et les clairières.

Parmi le cortège très varié des plantes herbacée, nous énumérons :

***Les graminées** : *Dactylis Glomerata* (le Dactyle aggloméré), *Bromus Sterilis* (le Drome stérile) *Festuca Driflora* et *Festuca Caerulescenes*, *deschampsia flexuosa* (la Canche flexueuse)...etc.

***Des iridacées** : *Romulea Bulbocodium ligustica*, *Iris Unguicularis*...etc.

***Des composées :** *Bellis Annuua* et *Bellis Silvestris*...etc.

1.7 Climatologie

Les conditions climatiques sont parmi les facteurs écologiques les plus importants et qui conditionnent la répartition géographique (que ce soit selon l'altitude ou la latitude) de l'ensemble des espèces à travers le monde et par conséquent la répartition des macro-écosystèmes. Donc l'étude climatique semble très importante. Pour cela, nous avons essayé de caractériser le climat de notre espace d'étude.

1.7.1 Les données climatiques de Collo

Les données climatologiques du massif de Collo sont très incomplètes pour cela, nous avons appuyée sur les données climatiques de l'étude de [DGF, \(1975\)](#) qui utilise les données de plusieurs stations : de Collo, Cap Bougaroun, Ain El Ksar, Bessombourg...etc.

1.7.1.1 La température

La température moyenne varie de 14°.45 (Ain El Ksar) à 17°.95 (Collo) ; Cet écart du à la différence d'altitude entre les deux stations. Le mois d'Août est le mois le plus chaud, avec une température maximale de 32°.5 C à Collo et 28°.8 à Ain El Ksar et le mois de Janvier est le mois le plus froid avec une température minimale de 6°.6 C à Collo et 2°.9 à Ain El Ksar.

1.7.1.2 La pluviométrie

La pluviométrie est un facteur climatique primordial. Dans le massif de Collo, les précipitations sont importantes, la zone est une des plus arrosée du Maghreb. Les précipitations moyennes annuelles dans la région de Collo peuvent atteindre 1800 mm ([Camps, 1991](#)). Les moyennes annuelles des précipitations enregistrées sont équivalent à :

- Collo : 1002 mm en 91 jours de pluie.
- Ain El Ksar : 1114 mm en 99 jours de pluie.
- Bessombourg : 1773 mm en 115 jours de pluie.

1.7.1.3 Les vents

Les vents dominants sont d'Ouest et de l'Est, Les vents d'Ouest sont les plus fréquents en hiver surtout, ce sont souvent des vents violents. Du sud Ouest souffle au printemps et en été un vent chaud et sec : le sirocco. On notera la présence de brise de mer en été.

1.7.2 La synthèse climatique

L'étude des précipitations et des températures nous permet d'affirmer que la zone est caractérisée par un climat méditerranéen avec été chaud et sec et une saison froide et pluvieuse. En général, c'est un climat méditerranéen de type humide.

1.7.2.1 Diagramme pluviométrique de Bagnouls et Gaussen (1957)

Le diagramme pluviométrique de Bagnouls et Gaussen nous permet de mettre en évidence la période sèche de notre zone d'étude. Il est tracé avec deux axes d'ordonnées où les valeurs de la pluviométrie sont portées à une échelle double de celle des températures (Bagnouls et Gaussen, 1957).

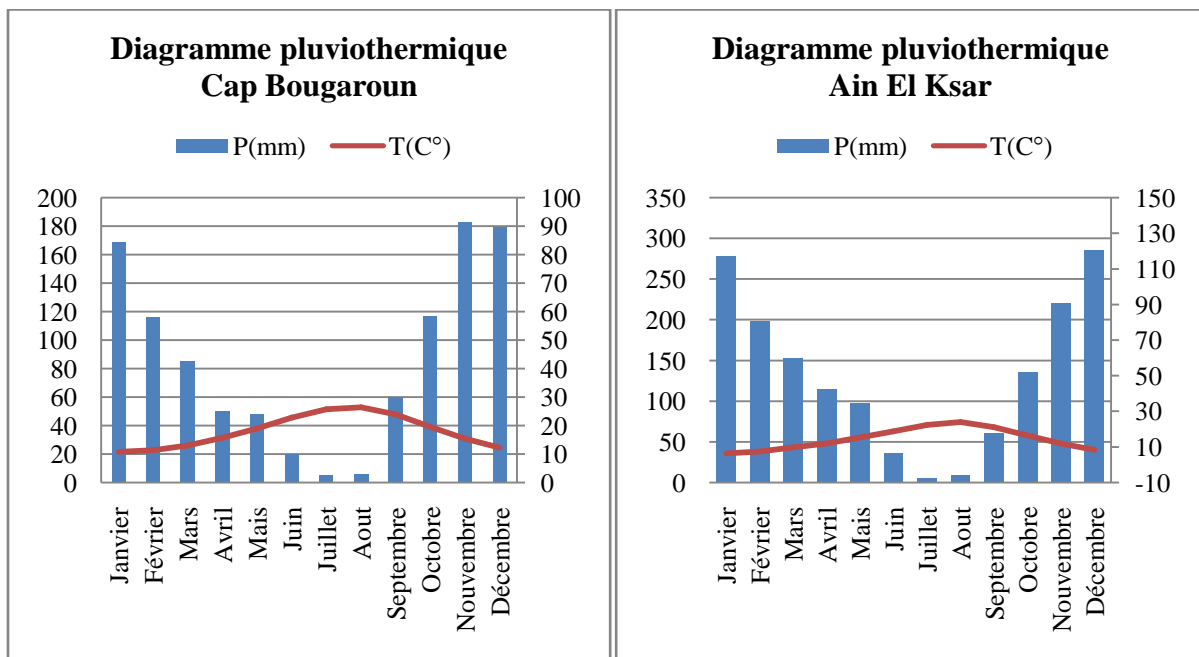


Figure 21: Diagramme pluviométrique des stations Cap Bougaroun et Ain El Ksar

La saison sèche apparaît lorsque la courbe des précipitations rencontre et passe sous celle des températures. Ceci fait ressortir une période sèche qui s'étale sur 5 mois allant du mois de mai jusqu'à mois de septembre pour la station de Collo et Cap Bougaroun, et sur 4 mois de Juin à Septembre pour la station d'Ain El Ksar (Figure 21).

1.7.2.2 Quotient pluviométrique d'Emberger (1955)

Cet indice nous aide à définir les 5 types de climat méditerranéen du plus aride jusqu'à celui de haute montagne (Emberger, 1955). Il se base sur le régime des précipitations et des températures, et il s'exprime selon la formule suivante:

$$Q_2 = \frac{1000p}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}}$$

Dont :

- Q_2 = Quotient pluviométrique d'Emberger.
- P = Pluviosité annuelle (mm).
- M = Moyenne des températures maximale du mois le plus chaud (°K).
- m = Moyenne des températures minimale du mois le plus froid (°K).

Tableau 1: Quotient pluviométrique d'Emberger et l'étage bioclimatique du massif de Collo

Station	P (mm)	M (C°)	m (C°)	Q2	Etagebioclimatique
Collo	1002	32.5	6.6	117	Subhumide à hiver tempéré
Cap Bougaroun	1038	30.5	8.6	132	Subhumide à hiver chaud
Ain El Ksar	1595	28.8	2.9	213	humide à hiver frais

Les températures sont exprimées en degrés absolus [$T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273.2$]

Après le calcul de Quotient pluviométrique d'Emberger basé sur la précipitation la température maximale du mois le plus chaud (°K) et la température minimale du mois le plus froid (°K), on trouve $Q_2 = 117$ à Collo, $Q_2 = 132$ à Cap Bougaroun et $Q_2 = 213$ à Ain El Ksar (**Tableau 1**). La synthèse bioclimatique montre que le climat de la région d'étude est situé dans l'étage bioclimatique de végétation subhumide à humide (**Figure 22**).

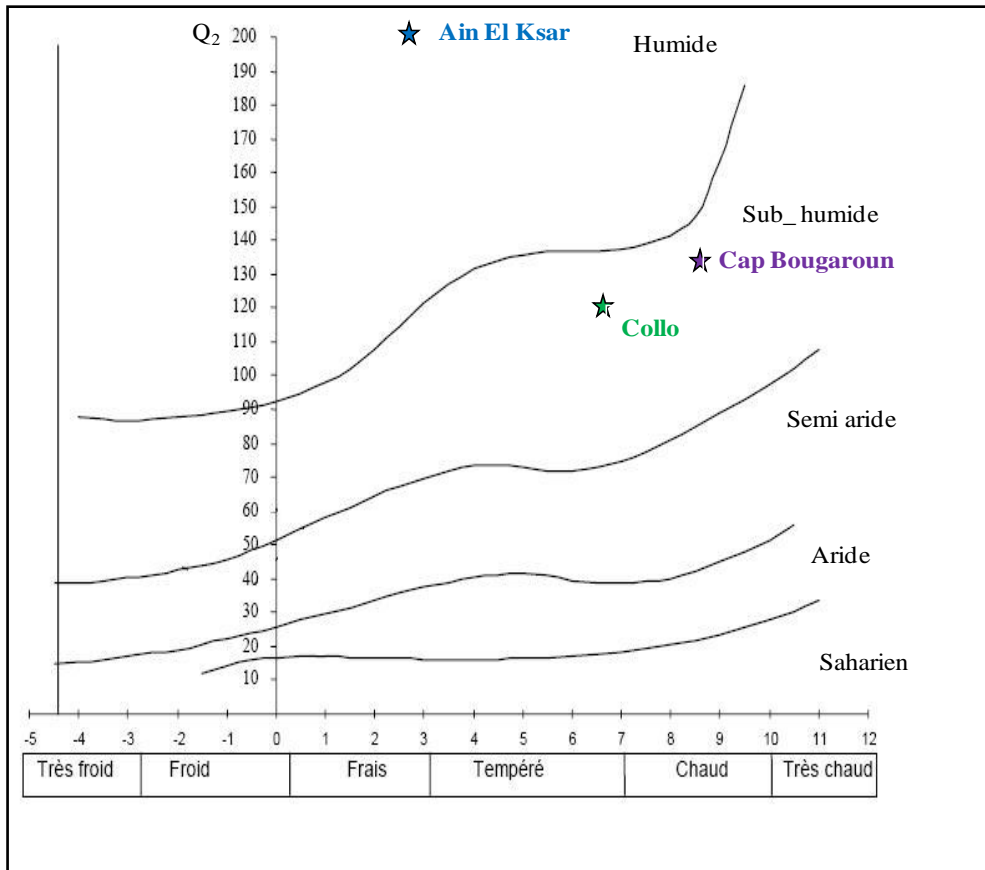


Figure 22: Climagramme d'Emberger et l'étage bioclimatique du massif de Collo

2 Les sites d'études et objectifs générale

L'objectif principal de la présente étude est l'établissement de la check-list des macroinvertébrés de la région de Collo et l'étude de l'influence de certains facteurs du milieu sur la distribution et l'écologie des macroinvertébrés.

Pour répondre aux objectifs fixés, nous avons réalisé des prélèvements aquatiques dans différents cours d'eau afin de dresser la liste la plus exhaustive possible de la faune de macroinvertébrés.

2.1 Démarche générale et choix des sites d'échantillonnages

Notre démarche a été d'échantillonner les habitats représentatifs des cours d'eau de la région de Collo. L'étude a impliqué neuf cours d'eau (Oueds) : Oued Beni Zid, Oued Tizagban, OuedTamanart, Oued Zhor, Oued Kfayoun, Oued El Merreya, Oued Guebli, Oued Gratam, Oued Di El Habal. Ces oueds se localisent dans quatre bassins versants (**figure 23**).

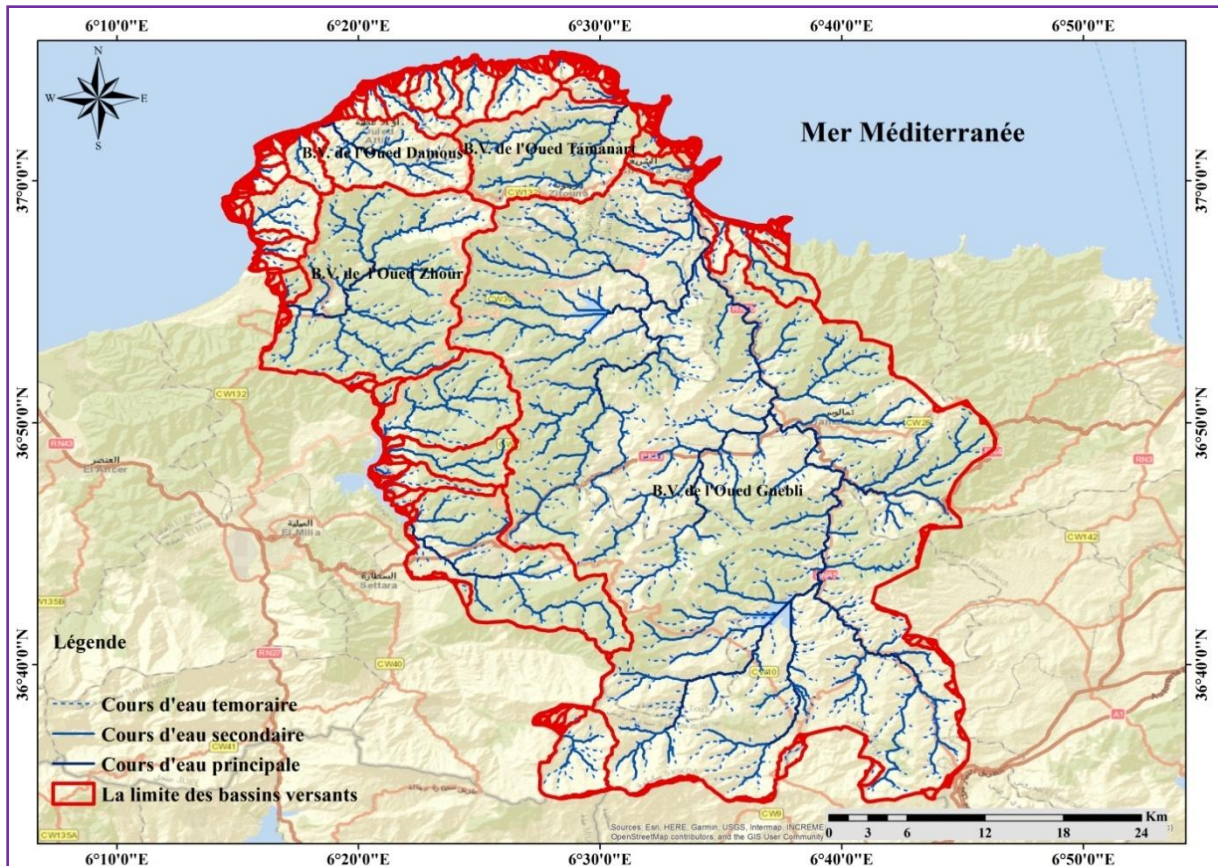


Figure 23: carte des bassins versants de Collo (Boucenna H., 2023)

Les raisons qui motivent le choix d'un site particulier sont les caractéristiques des environs qui pourraient influencer le biotope. Les sites et les stations d'étude ont été choisis en tenant compte de :

- L'accessibilité du site.
- La diversité des biotopes.
- La situation de la station par rapport aux agglomérations (source de pollution).
- La densité du couvert végétal.
- L'occupation et l'utilisation des sols (milieux forestiers, activités agricoles, cités urbaines).

Les sites sélectionnés ne partagent pas tous le même substrat, et diffèrent du point de vue : morphométrique (largeur, profondeur et longueur), nature du substrat (rocheux, sableux... etc.) et l'environnement aux alentours.

❖ Pour chaque station, nous indiquons :

- L'altitude.
- La latitude et la longitude.

- La localité la plus proche.
- La nature du substrat des cours d’eaux.
- La largeur et la profondeur du lit.
- La vitesse du courant.
- La végétation aquatique et riveraine.
- La durée de l’assèchement lorsqu’il y en a.
- Les actions anthropiques.

2.2 Les sites étudiés : cours d’eau et stations

Un total de 12 stations a été retenu et prospecté dans le cadre de ce travail. Elles nous paraissent bien refléter la diversité des habitats. La plupart des stations d’échantillonnages présentent un écoulement annuel permanent, les autres subissent un assèchement durant la période chaude. Les stations sont indiquées par des points sur la carte (**Figure 24**).

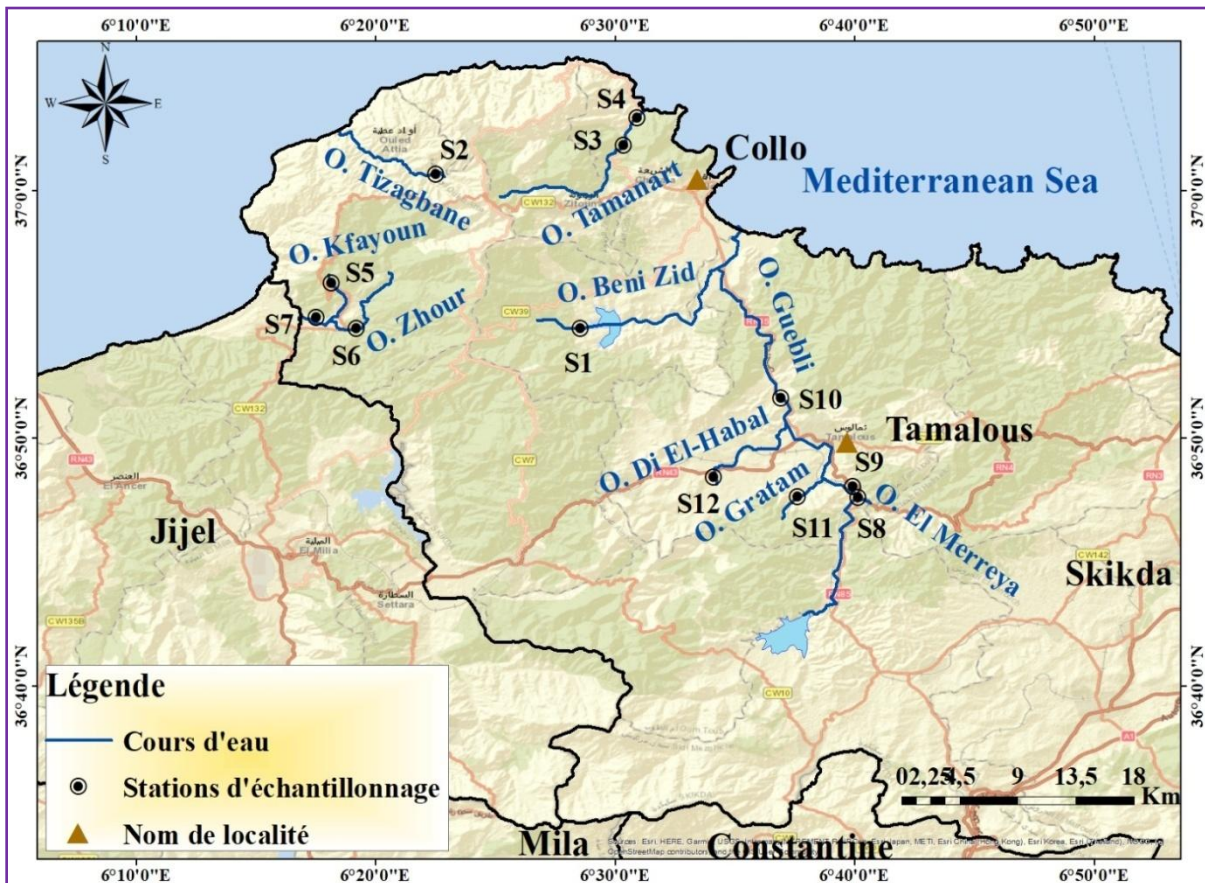


Figure 24: Réseau hydrographique général de la zone prospectée avec localisation des stations étudiées (Boucenna H., 2023)

2.2.1 Méthode de localisation géographique des stations d'études

Les stations choisies ont été localisées grâce à un récepteur GPS (smartphone Oppo f 9) qui nous a permis de repérer la longitude, la latitude ainsi que l'altitude. Les données géographiques des stations d'échantillonnages sont résumées dans le (Tableau 2). L'altitude des stations d'étude est extraite utilisant le logiciel ArcGis 10.8.

Tableau 2: Données géographiques des stations d'échantillonnages des cours d'eau étudiés

Oued	Station / site	Code	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude	Hydro période
O. Beni Zid	El Chaaba- Beni Zid	S1	36°54'25.88"	6°28'32.30"	79	Permanent
O. Tizagbane	Tizagbane -Ouled Attia	S2	37° 0'39.41"	6°22'29.57"	492	Permanent
O. Tamanart	Dar Issa- El Cheraia	S3	37° 1'49.90"	6°30'19.58"	47	Permanent
	Tamanart - El Cheraia	S4	37° 2'56.04"	6°30'52.95"	14	Permanent
O. Kfayoun	Kfayoun- Oued Zhor	S5	36°56'16.20"	6°18'7.31"	194	Temporaire
O. Zhor	Oued zhor	S6	36°54'25.32"	6°19'10.68"	28	Permanent
	Louta- Oued zhor	S7	36°54'51.34"	6°17'29.29"	18	Permanent
O. El Merreya	El Meraya- Tamalous	S8	36°47'36.87"	6°40'8.27"	58	Temporaire
O. Guebli	El Meraya- Tamalous	S9	36°48'2.88"	6°39'54.49"	61	Permanent
	Demnia- Tamalous	S10	36°51'36.26"	6°36'54.46"	31	Permanent
O. Gratam	Ain Tabia- Tamalous	S11	36°47'37.41"	6°37'35.95"	108	Temporaire
O. Di El Habal	Bin Louiden- Bin Louiden	S12	36°48'25.29"	6°34'4.60"	73	Temporaire

2.2.2 Description de l'occupation des sols des sites d'échantillonnages

Les stations se répartissent en 3 catégories a priori :

- **Forêt** : sont les stations situées 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.

2.2.3 Evaluation des paramètres physiques des cours d'eau :

Plusieurs paramètres hydrologiques sont mesurés dans le cadre de ce travail : la largeur, profondeur, vitesse du courant, la méthode est décrit ci-dessous.

2.2.3.1 La largeur et la profondeur des cours d'eau étudiés

La largeur du lit d'un cours d'eau est un facteur affectant la vitesse du courant, la température et l'oxygénation de l'eau (Dajoz, 2000). La largeur du lit des cours d'eau à pleins bords et la largeur du lit mouillé est mesurée sur au moins trois transects perpendiculaires à

l'axe du cours d'eau à l'aide d'un décimètre. La profondeur est une variable écologique importante. La profondeur de l'eau influe sur le réchauffement des eaux et donc la distribution et la prolifération de la faune et de la flore thermophile. La profondeur du cours d'eau influe aussi sur la teneur en oxygène dissous (Bouhala, 2020). La profondeur est mesurée dans chaque station à l'aide d'un décimètre aussi.

2.2.3.2 La vitesse du courant des cours d'eau étudiés

Le courant d'eau est la caractéristique la plus importante des eaux courantes, et sur la base des caractéristiques adaptatives des organismes à l'eau qui coule constamment, la faune des eaux courantes, diffère de celle des eaux stagnantes (Hussain & Pandit, 2012). De nombreuses études ont montré que la vitesse du courant, ou les variables liées à la vitesse, sont fortement liées à la composition de la communauté des macroinvertébrés benthiques d'eau courante. La vitesse de l'eau représente un facteur physique ayant un effet direct sur les organismes qui peuplent ces milieux, cette variable affecte également d'autres facteurs dans les cours d'eau, tels que la composition du substrat, l'apport de nourriture et la teneur en oxygène dissous (Sandin & Johnson, 2004). Le courant des cours d'eau joue donc un rôle particulier dans la détermination de la faune qui peuple ces milieux (Angelier, 2000). La vitesse du courant dépend du débit, du substrat et de la largeur du lit, elle augmente avec la profondeur et la pente (Bebba, 2017).

La mesure de la vitesse s'effectue à l'aide d'un flotteur : dans le lit de l'oued deux personnes se tiennent séparées d'une distance de 5 m, l'une des deux située à l'amont jette le flotteur dans le sens du courant et chronomètre le temps que met le flotteur pour arriver à l'autre personne, la vitesse sera égale au rapport distance / temps, exprimé en m/s. On utilise la formule suivante : pour calculer la vitesse du courant : $v=l/t$, avec v : Vitesse du courant (m/s), l : Distance de 5 mètres (m), t : Temps de parcours (s). Nous utiliserons la classification de Berg (Decamps, 1971) pour interpréter les résultats (Tableau 3).

Tableau 3: Classification des vitesses du courant selon Berg

Valeurs	Classes vitesse du courant
< 0.1 m/s	Très lente
Entre 0.1 et 0.25 m/s	Lente
Entre 0.25 et 0.5 m/s	Moyenne
Entre 0.5 et 1 m/s	Rapide
> 1 m/s	Très rapide

2.2.4 Description de la nature de substrat des sites d'études

La granulométrie est un aspect important de l'habitat physique dans les écosystèmes fluviaux. Le substrat est une variable fondamentale qui détermine la distribution de la faune benthique (De March, 1976; Hussain & Pandit, 2012). La composition du fond des cours d'eau diffère en fonction de la nature du sol, du type d'écoulement et de la pente du cours d'eau (Genin et al., 2003). Une description de la mosaïque d'habitats des macroinvertébrés a été réalisée, à l'aide d'une échelle visuelle: sables (< 2 mm), graviers (2-16 mm), Caillaux (> 16 mm ; < 64 mm), pierres (> 64 mm ; < 256 mm) et blocs (> 256 mm) (Tachet et al., 2010).

2.2.5 Evaluation du recouvrement des habitats échantillonnés

Le type de végétation bourdante est un facteur primordial dans la structure de la faune des cours d'eau. En effet, le recouvrement végétal, de par son apport en feuilles mortes sevrant de nourriture pour larves de beaucoup d'insectes, contribue également au maintien des températures à un seuil relativement bas (Mebarki, 2017). A l'aide d'une échelle visuelle (sur terrain au niveau des sites), le pourcentage de recouvrement des habitats échantillonnés par la végétation Ripisylve a été évalué. Les principales caractéristiques des stations d'études sont résumées dans la partie résultat et discussion.

2.2.6 La pente

La pente est étroitement associée avec la plupart des facteurs environnementaux : température, courant, oxygène dissous ... etc., c'est un élément fondamental du relief et ce dernier détermine la quasi-totalité des caractéristiques morpho-dynamiques et hydriques des eaux courantes (Mebarki, 2017). La pente au niveau des stations est extraite par la superposition des points d'échantillonnage sur la carte des pentes.

2.3 L'échantillonnage des macroinvertébrés

L'échantillonnage a été effectué sur deux périodes. Au niveau des stations des trois bassins versant de : Oued Zhour, Oued Tizagbane, Oued Tamanart, et Oued Beni Zid, un échantillonnage mensuel a été effectué sur 9 mois de Juin 2019 jusqu'au Février 2020, Alors qu'au niveau du bassin de Oued Guebli, la fréquence d'échantillonnage était mensuelle mais seulement sur 4 mois à partir de mois de Novembre 2019 jusqu'au jusqu'à Février 2020. Nous avons recueilli mensuellement des larves avec un filet troubleau (30 cm de diamètre, une vide de maille de 0.5mm).

Les mêmes sites d'études ont été échantillonnés sur une période de 3 mois consécutifs du mois de Mars 2021 au mois de Mai 2021. Une fiche technique a été remplie pour chaque sortie réalisée au niveau des sites étudiés.

-Chaque prélèvement doit être rattaché à une fiche de terrain contenant les informations suivantes :

- La date, l'heure et lieu du prélèvement.
- Remarques diverses faites lors du prélèvement.

2.3.1 Techniques de prélèvements des macroinvertébrés

Le matériel biologique examiné, composé essentiellement de larves et de nymphes, parfois d'adultes, provient de quatre bassins hydrologiques de Collo où plusieurs oueds ont été échantillonnés sur la base du même protocole expérimental.

2.3.1.1 Prélèvements benthiques

La méthode consiste à placer le filet dans l'eau face au courant, Le sédiment du substrat (l'ensemble des roches et cailloux) est mis en suspension par quelques mouvements du pied à l'aide des bottes en amont du filet entraînant les organismes par le courant dans le filet. Les organismes vivants sont alors entraînés par le courant et piégés dans le filet. Le filet est vidé dans un plateau blanc dans lequel un tri préliminaire est effectué. Certaines larves ou nymphes accrochées aux roches sont détachées à l'aide d'une pince (Diptères : Simuliidae). L'ensemble des macroinvertébrés collectés de chaque station sont placés dans des boîtes et amenés au laboratoire, les échantillons sont conservés sur le terrain dans de l'éthanol à 70°.

2.3.1.2 Récolte des imagos

L'échantillonnage des adultes de macroinvertébrés est fait à l'aide de filet à papillon ou bien l'aide d'une pince entomologique ou par capture directe avec les mains : La technique de la chasse à vue à l'aide d'un filet à papillons a été utilisée. La chasse au filet entomologique permet de capturer au vol les adultes volantes telles que les libellules, par des mouvements de va-et-vient. Les insectes sont repérés à vue, en bordure du cours d'eau sur la végétation riveraine et sur les pierres. Les insectes capturés sont mis dans des boîtes en plastiques portant les données de captures, remplis d'alcool ou bien dans des enveloppes pour les identifier au laboratoire.

2.3.2 Stockage et conservation des échantillons

Les larves et les nymphes sont conservées sur le terrain dans de l'éthanol à 70°. Les insectes adultes capturés sont mis dans des boîtes en plastique portant les données de captures, remplies d'alcool à 70 % ou bien dans des enveloppes pour les identifier au laboratoire. L'étiquetage est indispensable ; au crayon, on mentionne le lieu de récolte (cours d'eau, localité...etc.) et la date de capture.

2.3.3 Technique de tri, détermination

Un tri grossier était réalisé sur le terrain au cours duquel l'échantillon a été débarrassé du matériel grossier, la faune est récupérée dans des boîtes contenant de l'alcool 70°.

Au laboratoire, un tri fin a été réalisé pendant lequel le reste de l'échantillon est nettoyé, après le lavage, la faune benthique est totalement extraite du substrat, feuilles et algues contenues dans l'échantillon à l'aide d'une pince. Les individus sont triés dans des boîtes pétrées par unité taxonomique. La première identification a été effectuée sous une loupe binoculaire (OPTIKA) utilisant la clé de détermination Tachet et al., (2010). Après le tri et la séparation des différents groupes taxonomiques, on les conserve dans des tubes à l'alcool à 98°. Par la suite, les deux groupes faunistiques ; les trichoptères et les odonates, ont été identifiés au niveau de l'espèce par Pr. Samraoui B. au niveau du laboratoire de conservation des zones humides, université de Guelma, Algérie. Les macroinvertébrés benthiques sont comptabilisés sous forme larvaire, nymphale ou adulte.

3 Traitement des données :

Dans le cadre de cette étude, nous avons été amenés à utiliser une esemble d'indices qui permettent d'étudier les macroinvertébrés benthiques.

3.1 Indices écologiques de composition et de structure des peuplements

Ce sont des mesures simples des communautés de macroinvertébrés basés le plus souvent sur la théorie écologique des populations.

3.1.1 Richesse taxonomique (RT) ou spécifique (S) :

C'est le nombre total d'espèces (taxons) recensées dans le sited'étude à un moment donné (Boulinier et al., 1998). La richesse spécifique augmente généralement avec une amélioration de la qualité de l'eau et de la diversité de l'habitat (Plafkin et al., 1989).

3.1.2 Abondance absolue (l'effectif)

L'abondance absolue correspond au nombre total d'individus d'une espèce présents dans un prélèvement donnée par unité de surface ou de volume (Ramade, 2003).

3.1.3 La dominance (Abondance relative)

C'est l'effectif total d'une espèce par rapport à l'effectif totale des individus de toutes les espèces du prélèvement. La dominance est calculée comme suite et exprimée en pourcentage :

$$AR \% = (n_i / N) * 100$$

AR%: Dominance de l'espèce i.

n_i : Nombre d'individus de l'espèce i.

N: Nombre total des individus de toutes les espèces.

3.1.4 La fréquence d'occurrence

La fréquence d'occurrence d'une espèce est le nombre de prélèvement où l'espèce est présente par rapport au nombre total des prélèvements considérés. Elle est calculée selon la formule suivant :

$$F \% = (p_i / P) * 100$$

Dont :

F : Fréquence de l'espèce i

p_i : Nombre de prélèvement de l'espèce i

P : Nombre total des prélèvements

Selon Dajoz, (1985), on peut classer les espèces en fonction des valeurs F % de la manière suivant :

F= 100 espèces omniprésentes

F = [100-75[espèces constantes

F = [75-50[espèces fréquentes

F = [50-25[espèces communes

F = [25-5[espèces accessoires

F ≤ 5 espèces rares.

Nous avons utilisé l'Excel 2007, Pour la statistique simple (abondance et occurrence).

3.2 Analyse multivariée

3.2.1 Analyse en composante principale (ACP)

L'Analyse en Composante Principale (ACP) fait partie des méthodes descriptives multidimensionnelles appelées méthodes factorielles. Dans la mesure où ce sont des méthodes descriptives, elles ne s'appuient pas sur un modèle probabiliste, mais elles dépendent d'un modèle géométrique. L'ACP propose, à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de p variables quantitatives pour n unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces données peuvent être issues d'une procédure d'échantillonnage ou bien de l'observation d'une population toute entière. Les représentations des unités permettent de voir d'il existe une structure, non connue a priori, sur cet ensemble d'unités. De façon analogue, les représentations des variables permettent d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées. Ainsi, on cherchera si l'on peut distinguer des groupes dans l'ensemble des unités en regardant quelles sont les unités qui se ressemblent, celles qui se distinguent des autres etc. pour les variables, on cherchera quelles sont celles qui sont très corrélées entre elles, celles qui, au contraire ne sont pas corrélées aux autres (Duby & Robin, 2006). Nous avons utilisé le logiciel (STATISTICA) 10 pour réaliser l'analyse en Composante Principale (ACP).

4 Méthode de réalisation des cartes

Nous avons utilisé le logiciel de système d'information géographique (S.I.G.) pour la réalisation des cartes (ArcGis 10.8). Nous avons également utilisé le logiciel Google Earth pro.

Nous avons réalisé ainsi une caractérisation topographique de la zone d'étude par l'élaboration de la carte des pentes, la carte des altitudes et la carte des bassins versants, par le traitement du model numérique du terrain (MNT) de la région d'étude.

Chapitre IV : Résultats et discussion



1 Analyse des données environnementales

L'étude d'un écosystème aquatique, nécessite plusieurs prélèvements concernant les paramètres abiotiques (physico-chimiques) et biotiques (biologiques) (Bebba, 2017). Les écologistes qui s'intéressent aux macroinvertébrés benthiques d'eaux courantes, ont effectué des études pour déterminer les facteurs environnementaux les plus pertinents vis-à-vis de la distribution des espèces benthiques (Mebarki, 2017).

Selon (Angelier, 2000), plusieurs paramètres écologiques tels que la distance-source station, la largeur du lit, l'altitude, surface du bassin versant, le numéro d'ordre de drainage, le courant, la granulométrie du substrat, la pente, le ph, la température, la conductivité...etc. sont des facteurs susceptibles d'intervenir dans la répartition des organismes. Pour cela, nous avons pris en considération plusieurs descripteurs :

- **Des descripteurs topographiques** : l'altitude, la pente, la densité de la végétation riveraine à la station, la nature du terrain...etc.
- **Des observations ponctuelles** : la largeur du lit, la profondeur, la nature du substrat, hydrophyte, hélrophyte... etc.

1.1 Condition environnementales générales des stations étudiées

Les conditions environnementales des stations prospectées varient d'une station à une autre (Tableau 4).

1.1.1 L'altitude

L'altitude des stations échantillonnées varie entre 14 m (S4) et 492 m (S2). La plupart des stations d'étude se localisent dans des basses altitudes (**figure 26& figure 27c**), moins de 100 m, sauf pour 3 stations (S2, S5, S11).

1.1.2 La profondeur

Les stations d'étude se caractérisent par de faibles profondeurs, la profondeur de toutes les stations varie entre 6 Cm (S5) et 39 Cm (S7) (**figure 27b**).

1.1.3 La vitesse du courant

Pour nos sites d'étude, la vitesse est globalement de moyenne à rapide, varie entre 0.11 m/s (S10) et 0.71 (S11) m/s. Les stations S1, S2, S3, S5, S8 et S12 ont des vitesses

moyennes, les stations S4, S6, S7, S9 et S10 présentent une vitesse rapide, et enfin la station S10 a un courant lent (**figure 27a**).

1.1.4 La pente

Le niveau des pentes dans nos stations d'étude est très faible, avec un maximum de 12 % (S5), 83 % des stations d'étude (10) ont une pente inférieure à 5% (**figure 26&figure 27e**).

1.1.5 La largeur

La largeur du lit mouillé de nos stations d'étude varie d'une station à une autre, comprise entre 1 m (S6) et 13 m (S11) (**figure 27d**).

1.1.6 La nature de substrat

Pour la nature du substrat des stations d'étude, on distingue différents types : Cours d'eau à fond rocheux avec la présence d'éléments fins (sable), cours d'eau à fond sableux, avec du gravier...etc. voir le tableau des variables environnementales.

1.1.7 Type de végétation bordante

L'occupation de la plupart des stations d'échantillonnage est de type forestier, avec un taux de recouvrement très élevé (exemple, S2 avec 96 %)(**figure 27f**).

Tableau 4: variables environnementales des stations d'étude.

Station	Altitude (m)	Vitesse (m/s)	Profondeur (Cm)	Largeur (m)	Hélophyte (%)	Hydrophyte (%)	RIP (%)	Occupation d'espace	Substrat
S1	79	0.47 ±0.21	16.64±2.2	4.33±0.58	0	0	85	Forêt	Sable, caillaux
S2	492	0.47±0.12	21.33±1.72	5.6±0.75	3	0	96	Forêt	Sable, pierres-blocs
S3	47	0.44±0.25	19.83±5.37	6.68±0.95	0	0	90	Forêt	Sable, pierres-blocs
S4	14	0.58±0.29	20.83±5.72	8.83±2.82	1	1	75	Forêt	Sable, pierres-blocs
S5	194	0.26±0.22	6±5.24	1.64±0.67	3	0	75	Forêt	Caillaux, pierres-blocs
S6	28	0.64±0.18	27.33±10.59	13.12±2.57	1	0	70	Forêt	Sable, graviers, caillaux
S7	18	0.56±0.15	39.63±14.66	8.7±1.42	15	0	75	Agriculture	Sable, graviers
S8	58	0.33±0.15	7.67±5.28	3.72±1.55	20	0	60	semi-urbain	Sable, graviers, caillaux
S9	61	0.65±0.45	14.67±4.27	7.58±1.32	15	0	60	semi-urbain	Sable, graviers
S10	31	0.71±0.23	34.33±4.89	11.73±0.42	7	0	70	semi-urbain	Sable
S11	108	0.11±0.01	2.5±0.7	1±0.7	0	0	60	Agriculture	Sable, caillaux
S12	73	0.32±0.11	8.33±4.32	3.2±0.57	10	0	70	Agriculture	Sable, caillaux

La représentation graphique de la variation spatiale de plusieurs facteurs environnementaux étudiés (l'altitude, la largeur du lit, la vitesse du courant, la profondeur, la pente et le pourcentage de la couverture végétale au niveau des stations d'étude), est illustrée dans la figure ci-dessous.

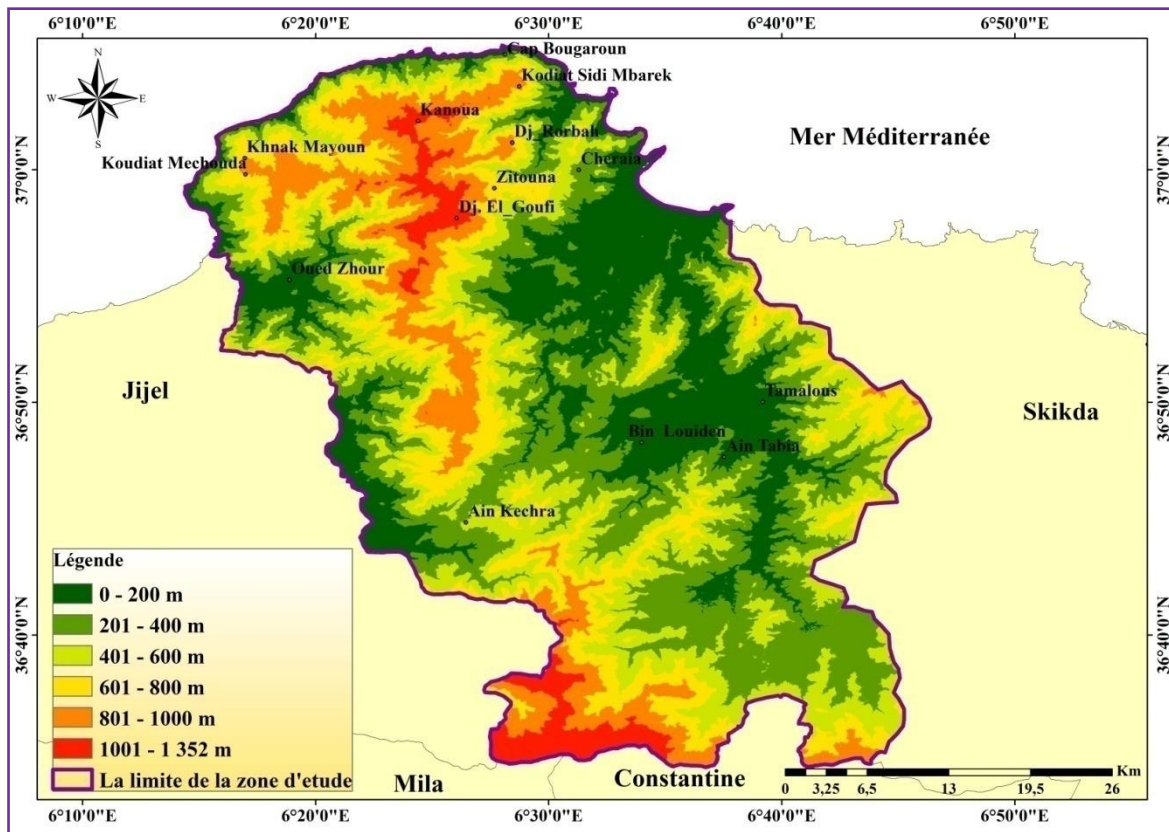


Figure 25: la carte d'altitude de la région de Collo (Boucenna H., 2023)

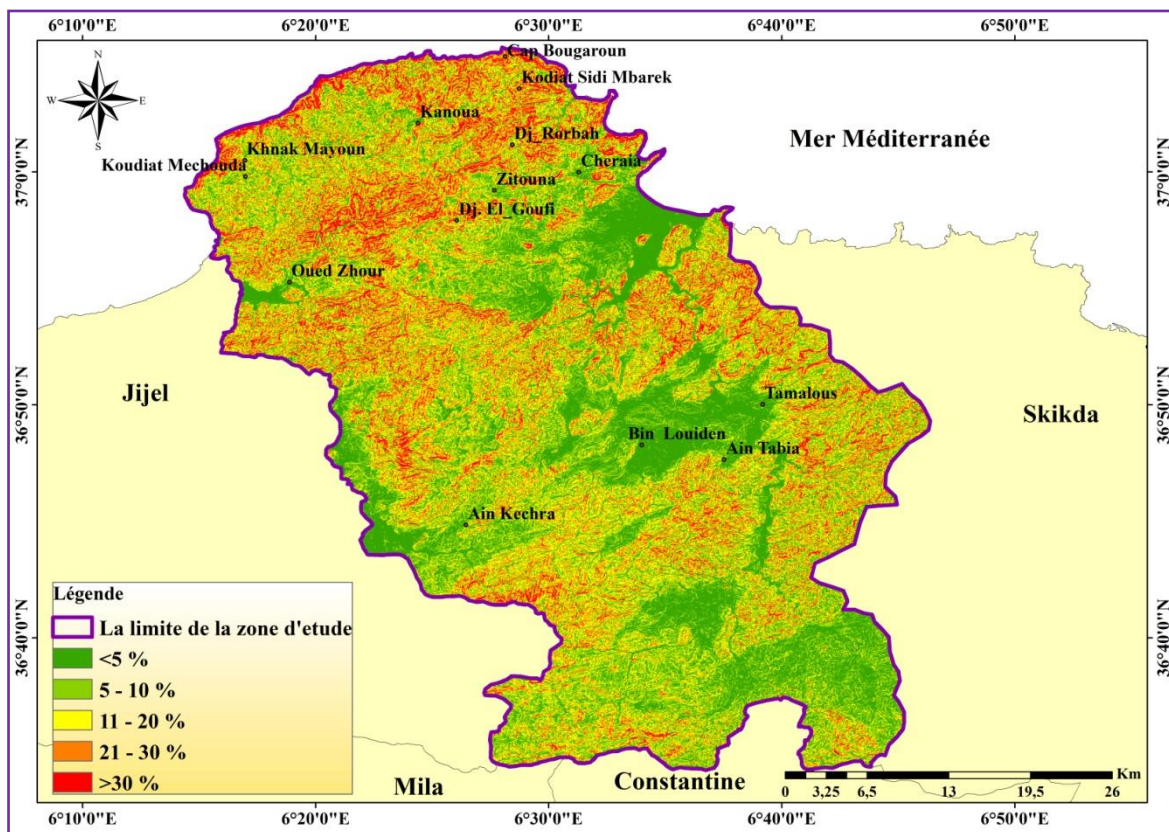


Figure 26: la carte des pentes du massif de Collo (Boucenna H., 2023)

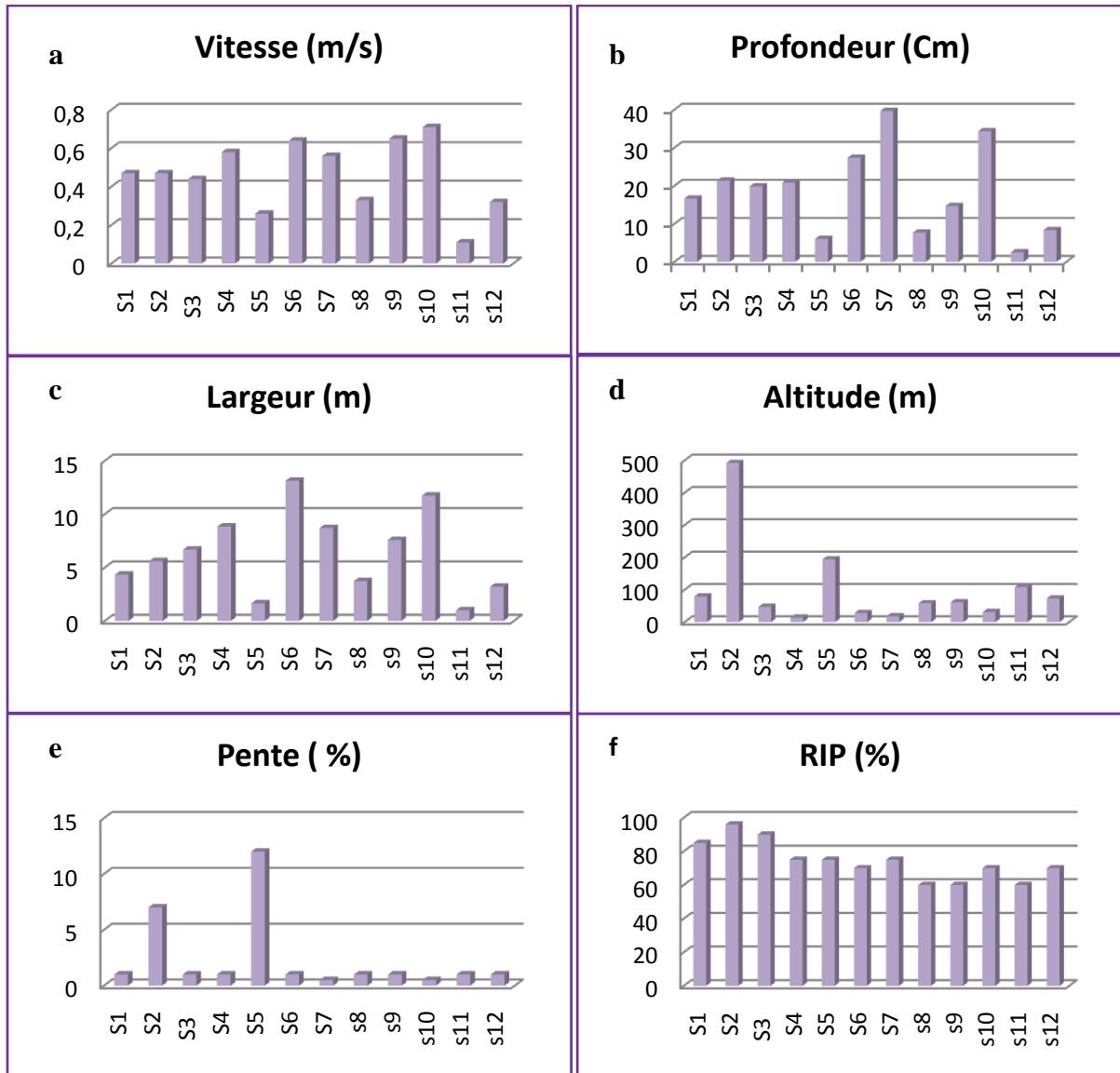


Figure 27: variation spatiale des valeurs moyennes des différents facteurs étudiés.

1.2 Corrélation globale entre les paramètres environnementaux des cours d'eau

L'analyse de la matrice de corrélation a révélé que les différents paramètres sont intercorrélés significativement entre eux, et sont donc interdépendants. L'analyse en composante principale ACP montre que les deux premiers axes (12 stations sur la base de 10 variables environnementales) expliquent 65.75 % de la variance globale (axe 1= 39,10% ; axe 2=26.65 %). Le premier axe (39,10 %) présente généralement un gradient d'altitude, de pente et de granulométrie. Cet axe est fortement et positivement corrélé avec l'altitude et la pente et négativement corrélé avec le substrat et à un degré moindre avec la largeur, la profondeur et la vitesse du courant. Les stations S2 et S5 sont situées sur le côté droit du graphe, indiquant que l'altitude et la pente est relativement importante. Par ailleurs, le substrat, la largeur, la profondeur et la vitesse montrent une corrélation négative sur le côté gauche du graphe. Les

stations représentées ici (S7, S9 et S10) sont caractérisées par un substrat fin constitué de sable et de gravier, en outre ces stations sont implantées dans les basses altitudes et présentent des largeurs et des profondeurs importantes, ainsi les vitesses sont importantes (**Figure 28**). Le deuxième axe est principalement représenté par la couverture végétale (Rip %), l'occupation et les Hélophytes. Ainsi, on remarque que l'altitude est corrélée significativement au seuil de 5 % avec les valeurs prises par les autres paramètres tels que la granulométrie (corrélation négative), et à un degré moindre, la largeur du lit, la vitesse du courant et la profondeur. Il présente une forte corrélation positive avec la pente sur l'axe 1.

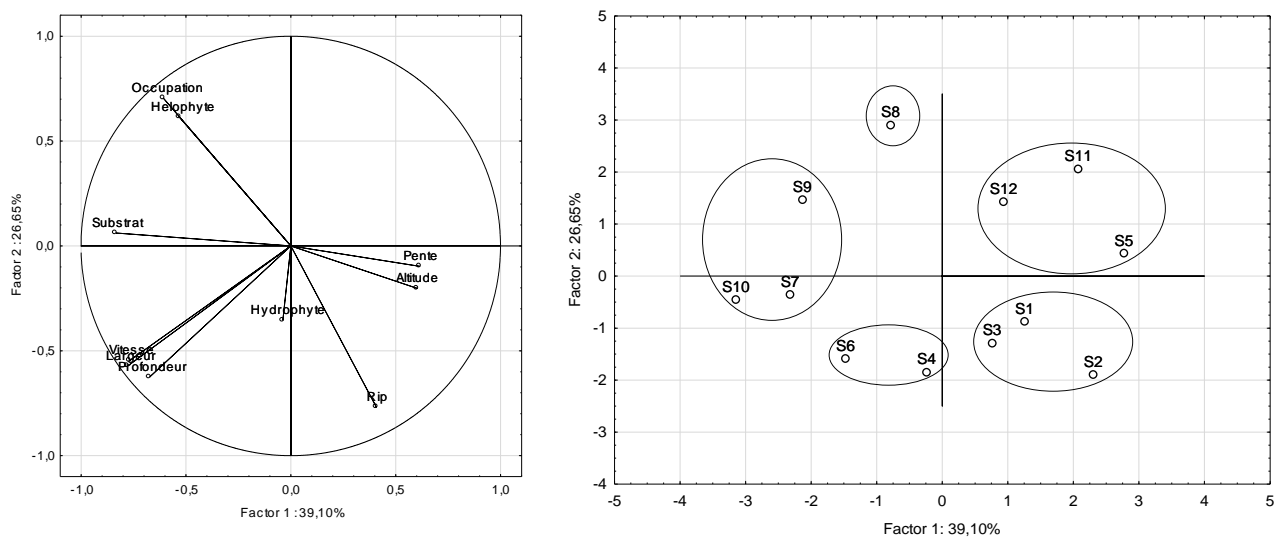


Figure 28: représentation sur les deux premiers axes de l'analyse (ACP), des paramètres environnementaux et de la distribution des sites étudiés.

1.2.1 Discussion

L'étude et l'analyse des facteurs environnementaux a révélé des variations dans les conditions abiotiques d'une station à une autre, l'occupation de l'espace a montrée que la majorité des stations étudiées se trouvent dans des terrains forestiers à l'exception de quelques stations qui se situent dans des zones rurales (S9 et S10) et agricoles (S7, S11 et S12).

L'estimation de la vitesse des cours d'eau, nous a permis de déduire que la vitesse de l'écoulement de l'eau est généralement de moyenne à rapide, ces vitesses seraient dû au relief et aux caractéristiques climatiques et environnementales de la région d'étude située dans l'étage bioclimatique humide, caractérisé par des précipitations très importantes. L'évaluation de la largeur et la profondeur des cours d'eau montre que la plupart des stations se caractérisent par des largeurs faibles à moyennes ne dépassent pas les 13 m. Ainsi, les cours d'eau sont faiblement profonds, ne dépassent pas les 40 cm au maximum.

2 Analyse globale de la faune

Ce travail est consacré à l'étude des peuplements de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau du massif de Collo. L'étude a pour but de dresser un inventaire des macroinvertébrés, et d'avoir des connaissances sur la systématique, mais aussi de comprendre l'écologie des taxons recensés, principalement relation faune-milieu.

Cette étude de macroinvertébrés benthiques nous a permis de recenser 12733 individus repartis en 6 groupes zoologiques (**Figure 29**): mollusques, crustacés, annélides, plathelminthes, nématodes et insectes. Du point de vue abondance, les insectes est le groupe taxonomique qui domine les peuplements avec 12273 individus (soit 96.39 % de l'effectif total). Les autres groupes sont faiblement représentés. Les crustacés correspondent à 244 individus (soit 1.92 %), les plathelminthes et les nématodes avec 0.7 % et 0.41 % respectivement (soit un effectif de 89 et 52 individus), les mollusques comptent 43 individus (soit 0.34 %) et les annélides avec 32 individus (soit 0.25 %).

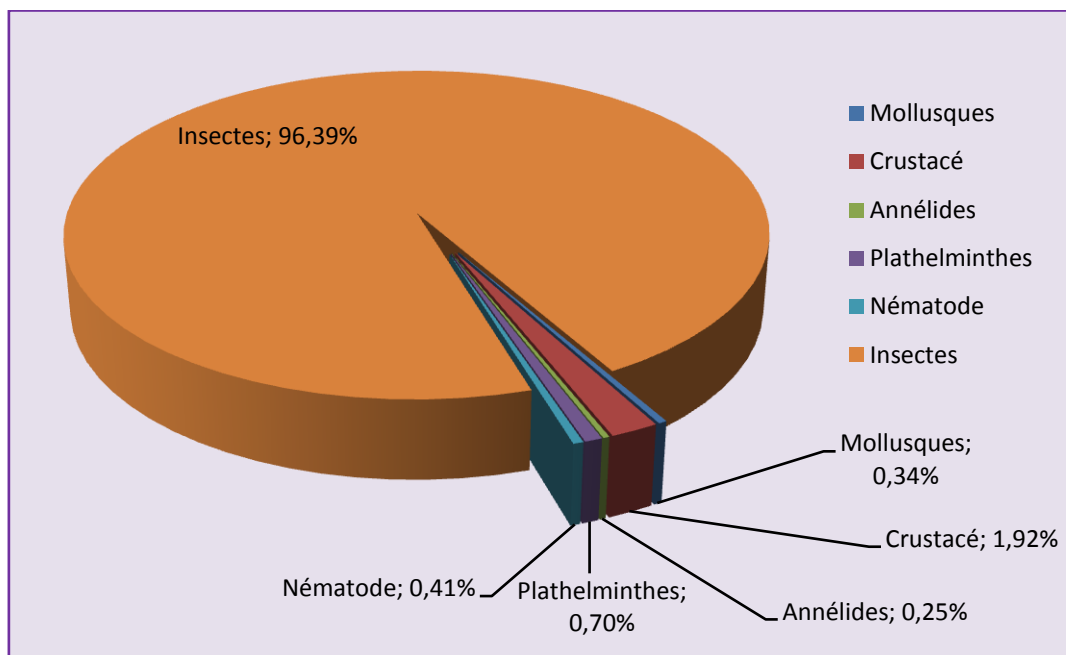


Figure 29: Abondance relative des différents groupes zoologiques recensés.

2.1 La classe des insectes

2.1.1 Analyse de la composition faunistique des insectes recensés

L'inventaire de macroinvertébrées du Collo a permis de recenser un total de 12273 individus d'insectes, repartis sur 7 ordres et plus de 50 familles différentes. Les Diptères sont les plus représentés par 12 familles, avec un effectif de 4680 individus (soit 38.13 %), les

Éphéméroptères avec 2596 individus (soit 21.15 %) répartis sur 5 familles, les Plécoptères occupant 16.2 % des insectes soit 1988 individus. Les Coléoptères (10 familles) et les Trichoptères (7 familles) viennent en quatrième position avec respectivement 1249 (10.18 %) et 990 (8.07 %) individus, les Hémiptères et les Odonates avec 7 familles pour chaque ordre, sont les moins représentées en termes d'abondance avec 3.51 % (soit un effectif de 339) et 2.76 % (soit 731 individus) respectivement (**Figure 30**).

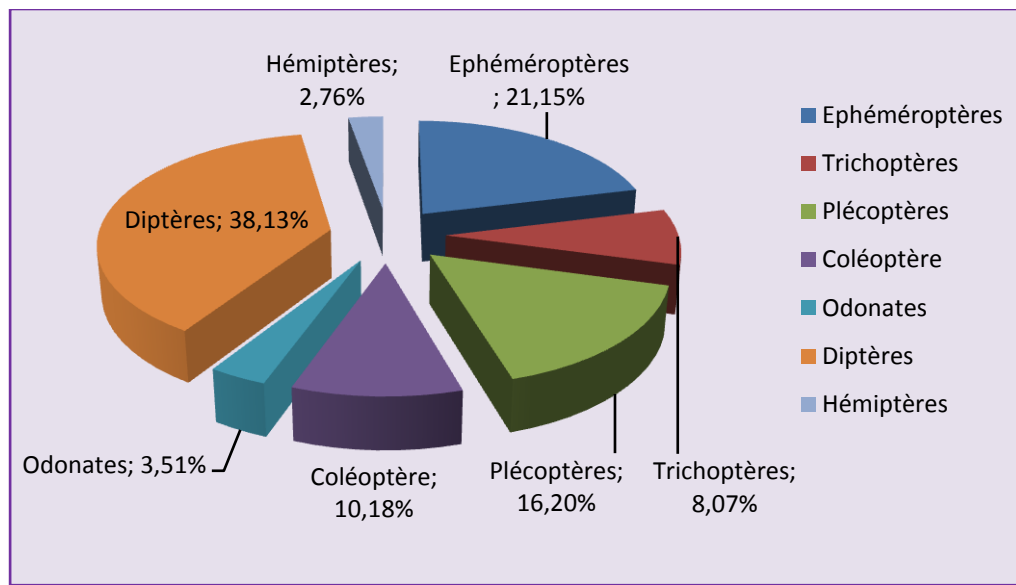


Figure 30: Abondance relative des différents ordres d'insectes recensés.

2.1.2 La liste taxonomique des insectes de Collo

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques nous a permis de dresser une check-list de l'ensemble des insectes du massif de Collo (**Tableau 5**).

Tableau 5: Check-list des insectes récoltés.

Phylum	Classes	Ordre	Familles
Arthropodes	insecte	Ephéméroptères	Baetidae
			potamantidae
			Caenidae
			Heptagenidae
			Letophilidae
		Trichoptères	Hydropsychidae
			polycentropodidae
			philopotamidae
			Ryachophilidae
			Glossosomatidae
		Plécoptères	Géoridae
			Hydroptilidae
			Noumeuridae

	perlididae
coléoptères	Elmidae
	Hydrophilidae
	Hydraenidae
	Gyrinidae
	Dytiscidae
	Dryopidae
	Haliplidae
	Noteridae
	Curculionidae
	Scirtidae
Odonate	Calopterygidae
	Lestidae
	Coenagrionidae
	Platycnemididae
	Aeshnidae
	Gomphidae
	Libellulidae
Diptère	Tipulidae
	Limoniidae
	Chironomidae
	simulidae
	Dixidae
	Ceratopogonidae
	Tabanidae
	Athericidae
	Blephariceridae
	Anthomyidae
	Empididae
	Culicidae
Hémiptères	Gerridae
	Notonectidae
	Hydrometridae
	Velidae
	Nepidae
	Mesovilidae
	Corixidae

2.1.3 La distribution spatiales des insectes de Collo

L'analyse de l'abondance stationnelle montre que les stations appartenant au bassin versant de l'Oued Guebli sont les moins abondantes sauf la station S8 (Oued El-Merreya) qui compte 1491 individus et vient en troisième position en termes d'abondance. Les stations S9, S10, S11 et S12 ont donc un faible nombre d'insectes avec 338, 702, 54 et 495 individus respectivement. La station S1 de l'Oued Tamanart présente la plus grand nombre d'individus

avec 1624 insectes. La station de l'Oued Tizagbane S2 vient en deuxième position avec 1915 individus d'insectes (**Figure 31**).

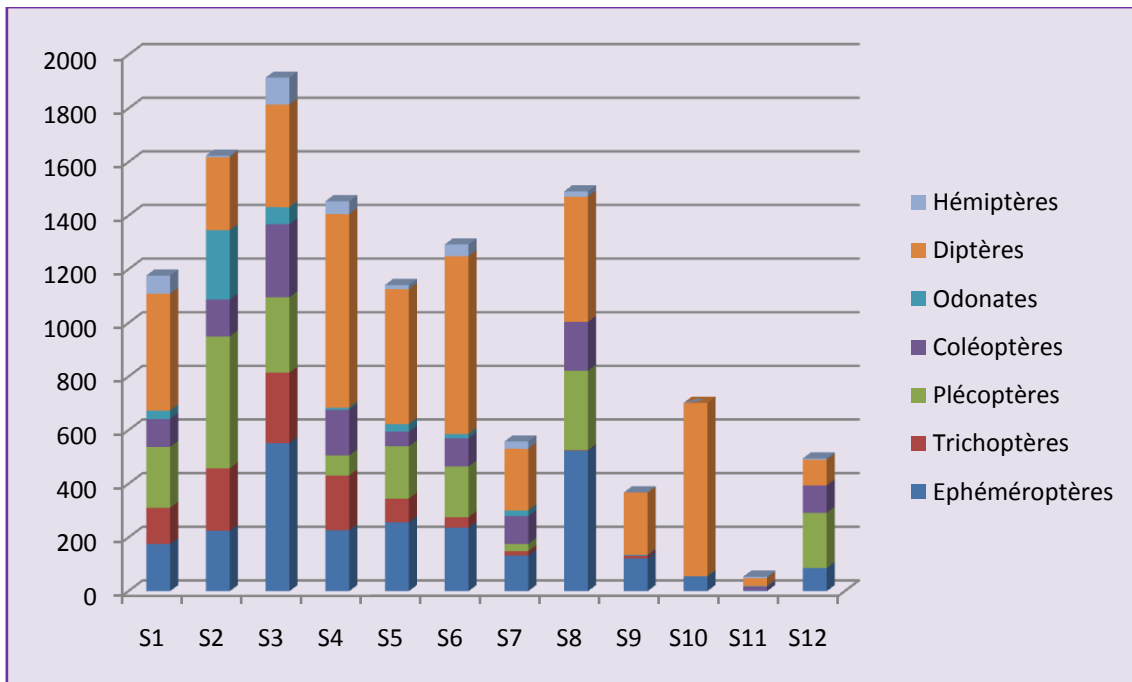


Figure 31: la distribution spatiale de l'effectif des différents ordres d'insectes de Collo

2.2 Odonates

2.2.1 Analyse globale du peuplement odonatologique

Les prospections réalisées au cours de cette étude ont permis de recenser 431 individus récoltés au cours des différentes campagnes de prélèvements dans les stations étudiées, à l'exception des deux stations S8 et S12 qui marquent une absence totale du peuplement. Les résultats montrent que le peuplement odonatologique de Collo est dominé par les Anisoptères avec (94 %) soit 405 individus, les Zygoptères ne représentent que 6 % soit 26 individus (**Figure 32**). Ce groupe zoologique est réparti sur 7 familles et 8 espèces.

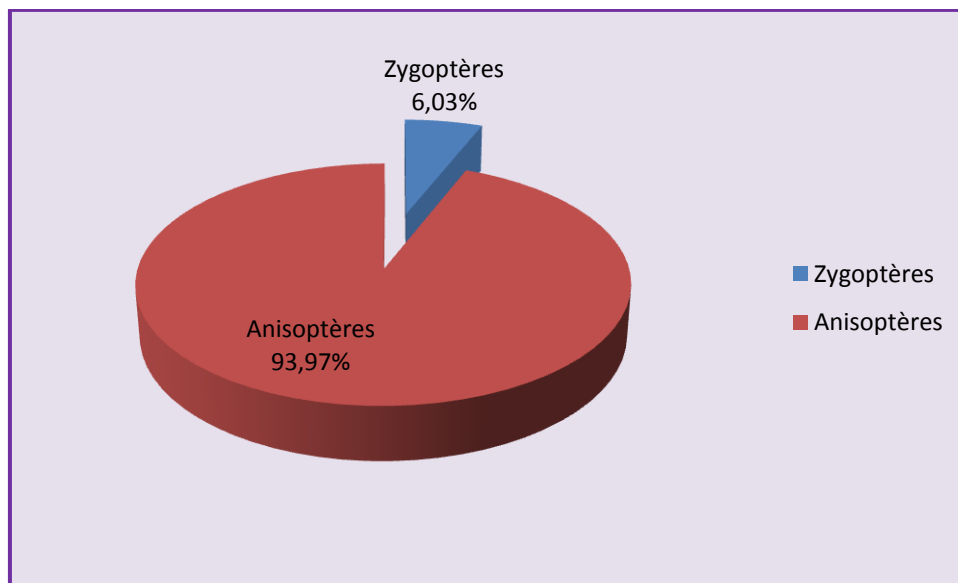


Figure 32: Abondance relative des Anisoptères et des Zygoptères.

2.2.1.1 Abondance des familles et des espèces recensées

L'étude de l'abondance indique que l'ordre est dominé par la famille des Gomphidae (83.29 %) suivie par la famille des Ashnidae (10 %), et des Calopterygidae (4.41 %), les familles Lestidae, Plactycnimididae et Libullulidae représentent une faible fraction de l'effectif total avec seulement moins de (1 %) pour chaque famille, enfin la famille Coenagrionidae est représentée par un seul individu soit (0.23 %) (**Figure 33**).

De plus, l'espèce *Onychogomphus uncatius* est largement représentée, elle couvre (83.68 %) des individus avec 359 spécimens. Elle est suivie par *Boyeria irene* avec 43 individus soit (10 %). L'espèce *Calopteryx haemorrhoidalis* est représentée par 19 individus (4.43 %). Notre analyse montre que le reste des espèces sont relativement peu abondantes à rares, leur importance allant de 0.7% pour l'espèce *Platynémis subdilatata* à seulement 0.47

% pour *Chalcolestes viridis* et 0.23 % pour le reste des espèces qui sont *Ischnura graellsii*, *Orthetrum coerulescens* et *Trithemis annulata* (Figure 34).

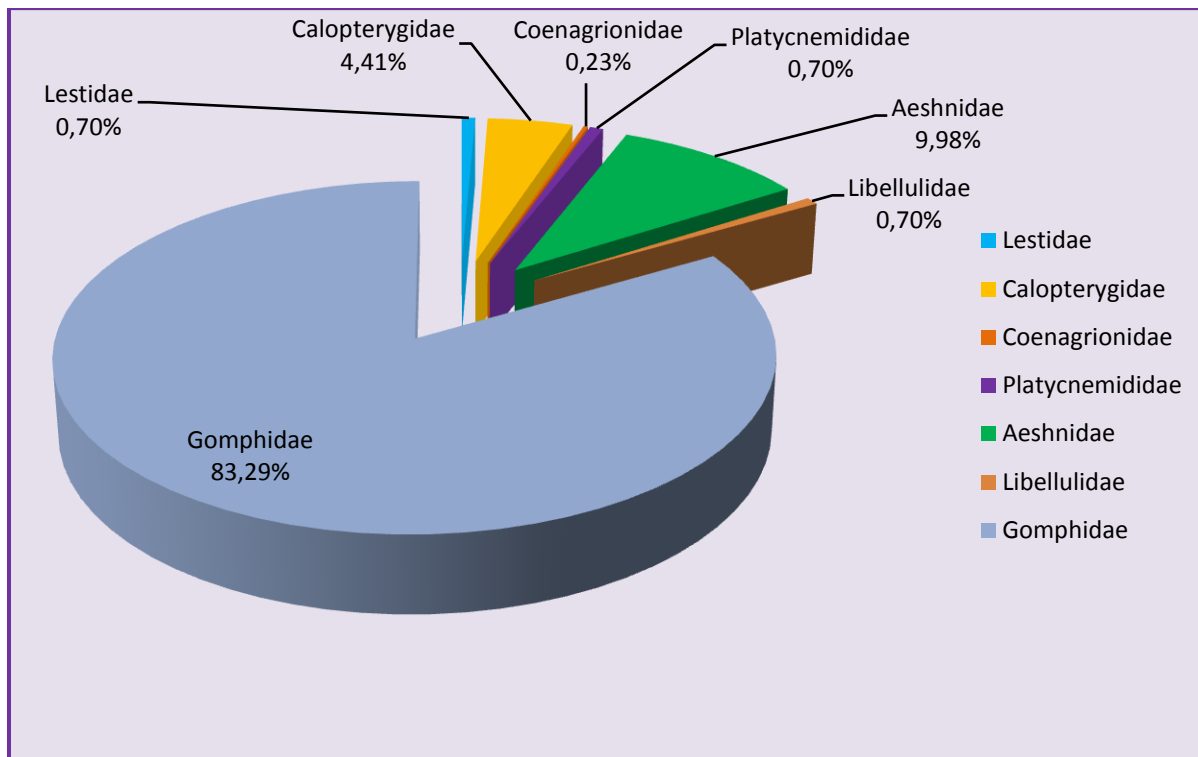


Figure 33: répartition des familles d'odonates de la région de Collo.

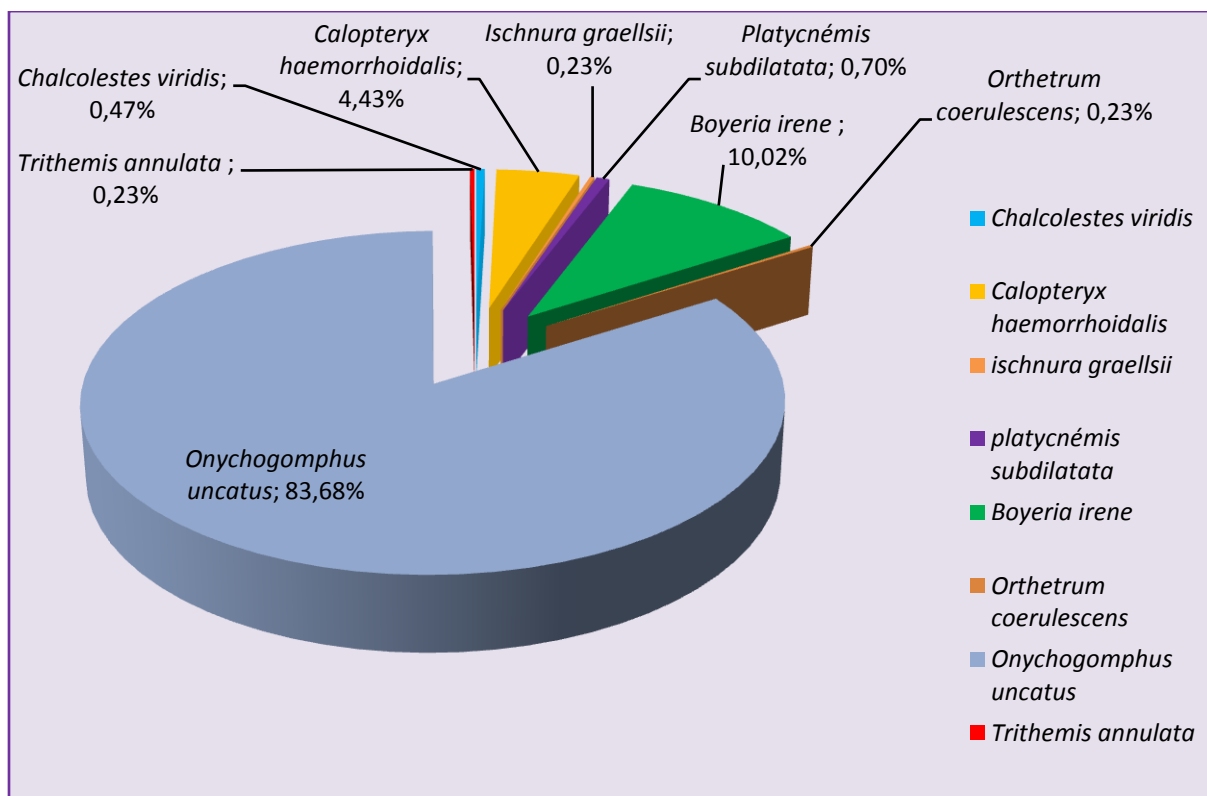


Figure 34: répartition des espèces d'odonates de la région de Collo.

2.2.1.2 La liste faunistique des Odonates récoltées :

Notre étude a permis de recenser au total huit espèces d’odonates, dont trois Zygoptère et Cinq espèces Anizoptères (**Tableau 6**).

Tableau 6: Check-list des espèces d’odonate du Collo.

	Famille	Genre/ Espèces
Odonate	Calopterygidae	<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>
	Lestidae	<i>Chalcolestes viridis</i>
	Coenagrionidae	<i>Ischnura graellsii</i>
	Platycnemididae	<i>platycnémis subdilata</i>
	Aeshnidae	<i>Boyeria irene</i>
	Gomphidae	<i>Onychogomphus uncatu</i>
	Libellulidae	<i>Orthetrum coerulescens</i>
		<i>Trithemis annulata</i>

Notre étude étend considérablement l'aire de répartition de *platycnémis subdilata*, *Onychogomphus uncatu*, *Orthetrum coerulescens*, *Trithemis annulata*, qui sont inventoriées pour la première fois dans le massif de Collo.

2.2.1.3 La fréquence d’occurrence des espèces recensées

La fréquence d’occurrence des odonates récoltés dans les 10 stations montre que parmi les 8 espèces, *Onychogomphus uncatu* est la plus fréquente (75 %), suivie par *Boyeria irene* et *Calopteryx haemorrhoidalis* (avec 41.67 %). Le reste des espèces sont moins fréquentes (8.33 %) pour chacune des espèces (**Tableau 7**).

Tableau 7: Fréquence des espèces recensées

Espèce	<i>Calopteryx haemorrhoidalis</i>	<i>Chalcolestes viridis</i>	<i>Ischnura graellsii</i>	<i>platycnémis subdilata</i>	<i>Boyeria irene</i>	<i>Onychogomphus uncatu</i>	<i>Orthetrum coerulescens</i>	<i>Trithemis annulata</i>	total
Effectif	19	2	1	3	43	359	1	1	429
Ar %	4.43	0.47	0.23	0.7	10	83.68	0.23	0.23	100
F %	41.67	8.33	8.33	8.33	41.67	75	8.33	8.33	/

Selon Dajoz, (1985) on peut classifier nos espèces récoltées pendant la période d’étude en fonction de la fréquence comme suite :

- **Espèce fréquente :** *Onychogomphus uncatus*
- **Espèce commune :** *Boyeria irene*, *Calopteryx haemorrhoidalis*
- **Espèce accessoire :** *Chalcolestes viridis*, *Ischnura graellsii*, *platycnémis subdilatata*, *Orthetrum coerulescens*, *Trithemis annulata*.

2.2.2 Analyse de la distribution spatiale du peuplement odonate

2.2.2.1 Abondance des espèces

D'après les résultats obtenues, on observe que la population odonatologique du massif de Collo est inégalement répartie, nous constatons que la station de Tizagbane S2 contient plus de la moitié de la population odonate (60 %) soit 258 individus (**Figure 35**), puis la station S3 de Tamanart qui contient 63 individus (15 %), les stations S1, S5, S6, S7 hébergent une abondance importante comprise entre 16 et 31 individus, les stations à faible abondance sont S4, S9, S10, S11 qui ont un effectif comprise entre 1 et 8 individus et finalement l'abondance nulle est observé dans les stations S8 et S12.

La famille des Gomphidae représentée par l'espèce *Onychogomphus uncatus* domine la majorité des peuplements dans les stations d'étude. Elle est largement distribuée dans les oueds prospectés et présente dans la plupart des sites (neuf sites). Cette espèce a été considérée comme rare dans la Numidie par (Samraoui & Corbet, 2000).

En outre les stations de Tizagbane S2 et de Tamanart S3 abritent une grande population de Gomphidae, le nombre d'individus récoltés est de 227 individus et 57 individus respectivement (**Figure 36**). Ces milieux sont caractérisés par une granulométrie mixte (sédiments fins et grossiers), une végétation riveraine dense constituée principalement d'aulne. Ces résultats correspondent avec les observations de (Mebarki, 2017), corroborant ainsi les conclusions faites par (Leipelt & Suhling, 2001) concernant le rôle primordial du substrat dans la distribution des Gomphidae.

Dans les systèmes fluviaux méditerranéens présentant une grande diversité structurelle, l'abondance et la richesse en espèces des Gomphidae est un indicateur particulièrement bon d'un système fluvial sain (Ferrerias-Romero et al., 2009). Benchalel et al. (2017) notent également que les Gomphidae ayant des exigences respiratoires strictes, ne tolèrent pas l'augmentation de la contamination et les changements de structure de la rivière, elles ont été remplacées par des espèces omniprésentes et allochtones à cause de la

perturbation anthropique des habitats, donc ces espèces sont clairement associées à une bonne qualité de l'eau. Cela peut nous donner une indication que les écosystèmes aquatiques de la région de Collo à l'exception d'Oued Guebli sont en bon état de santé écologique.

Les trois espèces dites sténoèces (*B. irene*, *C. haemorrhoidalis*, *O. uncatus*) sont les plus abondantes, elles dominent le peuplement odonate du massif de Collo avec plus de 97 % des individus. Selon [Benchalel & Samraoui \(2012\)](#). Ces espèces nécessitent des conditions d'habitat spécialisées avec des eaux claires et bien oxygénées, à débit régulier durant toute l'année et une température favorable assurée par un rideau végétal approprié comme c'est le cas de la plupart des oueds de la région de Collo.

A l'opposé du résultat de [Remsburg et al. \(2008\)](#) et [Silva et al. \(2021\)](#), suggère que l'ombrage agit négativement les populations d'odonate notamment les anisoptères en réduisant leurs abondances et diversité, Tizagbane est le site le plus abondant, soit 60 % de la population odonate du Collo, ce site présente presque une couverture totale du site.

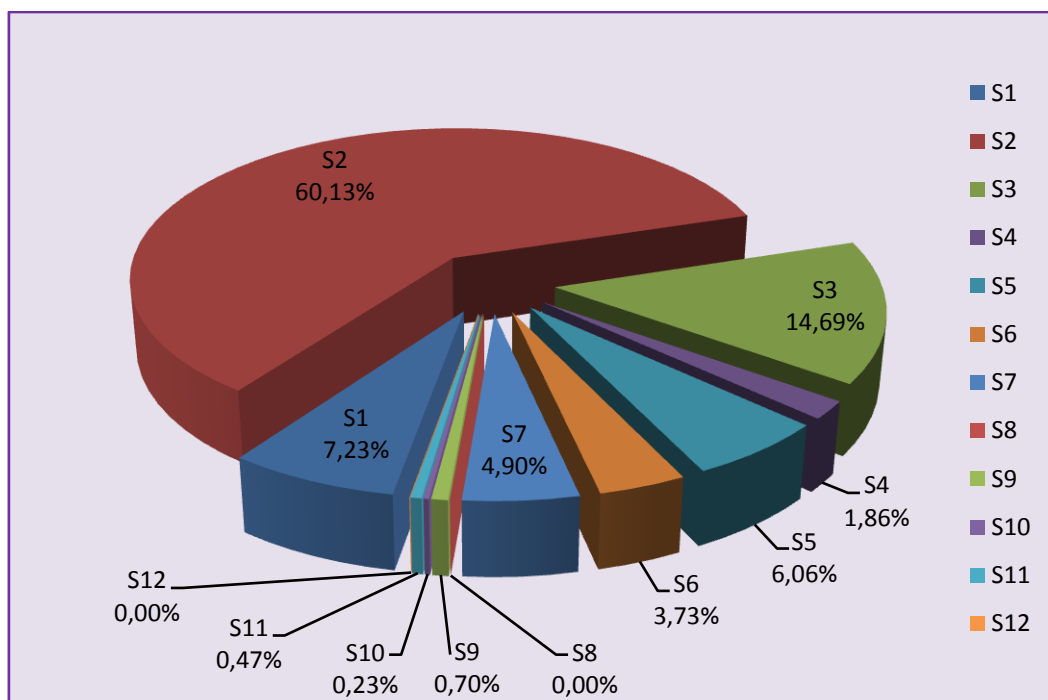


Figure 35: Abondance relative des odonates présents dans les différentes stations prospectées

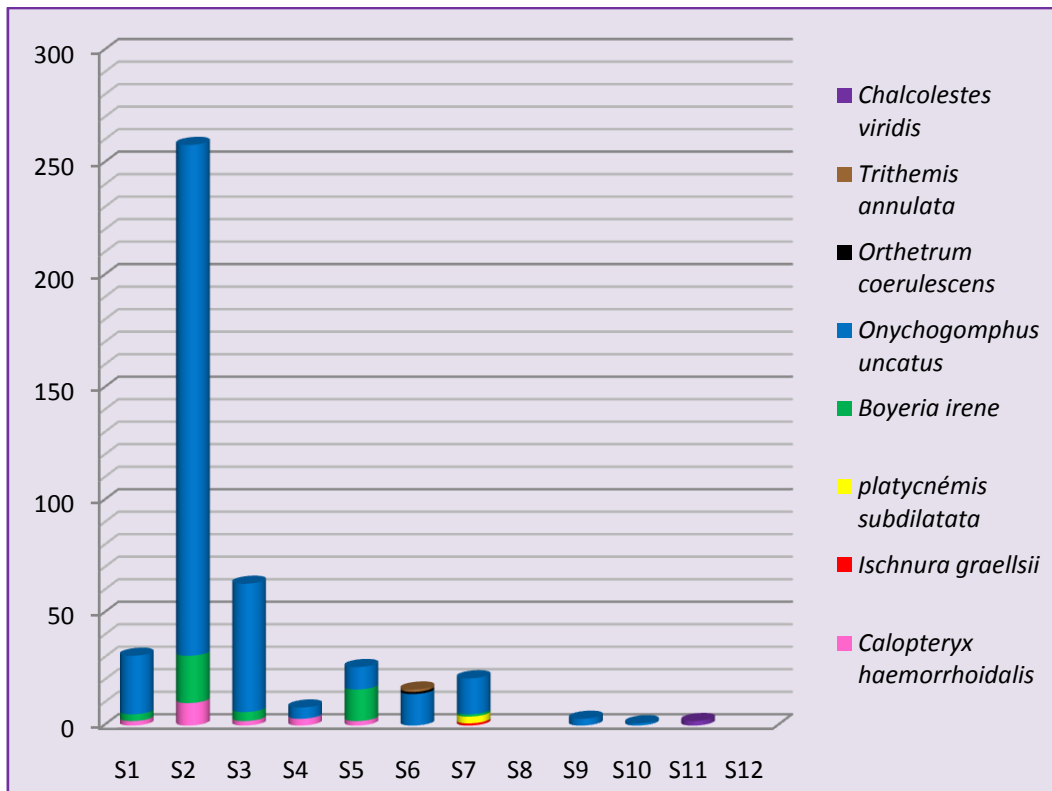


Figure 36: L’effectif des espèces d’odonate en fonction des stations d’études

2.2.2.2 La richesse spécifique

La communauté odonatologique de la région de Collo paraît pauvre en espèce par rapport aux autres régions de l’Algérie. Nous avons recensé seulement 8 espèces d’Odonate. Dans d’autres oueds algériens comme l’oued Bouarroug, qui a fait l’objet d’un effort d’échantillonnage similaire, 11 espèces ont été enregistrées dans une seule station. Également, dans une seule station, 13 espèces ont été enregistrées à oued Kébir Est (Benchalel & Samraoui, 2012). De même, 13 espèces ont été enregistrées à l’oued El Harrach (Hafiane et al., 2016). Tandis que, avec moins d’effort d’échantillonnage et un total de six stations, oued Isser a recensé 19 espèces d’odonate (Bouchelouche et al., 2015). Cependant, une comparaison approfondie entre ces oueds doit tenir compte de leur hydrologie et de l’hétérogénéité de l’habitat qui peut influencer la biodiversité (Hardersen, 2008).

La richesse stationnelle en espèces dans notre région d’étude est faible, varie entre 1 et 4 espèces. Si nous prenons en considération la richesse spécifique par station. Les stations les plus diversifiées sont les stations S7 située à l’Oued Zhour qui était la plus riche avec 4 espèces, ainsi que les stations S1, S2, S3, S5 et S6 qui hébergent 3 espèces. Ces stations sont globalement caractérisées par des eaux à courant modéré, une largeur du lit importante, le substrat est hétérogène offrant une multitude de micro-habitats. Concernant l’hydropériode, la

plupart de ces stations sont permanentes à l'exception de la station de Kfayoun S3 qui est semi-temporaire. L'occupation de l'espace est de type forestier avec une végétation riveraine très dense constituée principalement d'aulne, notamment l'oued Tizagbane qui est très ombragé (couverture presque totale de la station). Selon [Subramanian et al. \(2008\)](#) la végétation riveraine et les zones forestières sont particulièrement importantes pour les odonates. Car elles offrent des zones protégées pour la dispersion et de nombreux habitats de refuge pour les adultes pour se nourrir et se reproduire ([Buchwald, 1992](#)). En effet, la végétation tend de jouer un rôle direct dans la diversité faunistique, offrant une grande diversité d'habitat ([Oertli et al., 2002](#)). Ces résultats sont en correspondance aussi avec les observations de ([Bouchelouche et al., 2015](#)) suggère que la richesse spécifique est positivement corrélée avec la densité de la végétation riveraine.

En revanche, les stations S9, S10, S11 appartiennent au bassin versant d'oued Guebli n'accueillent qu'une seule espèce pour chacune, cette très faible richesse dû principalement aux impacts anthropiques (rejet dû à l'extraction d'huile d'olive, rejet urbain, des retenues d'eau qui perturbe l'écoulement du cours d'eau, pompage de l'eau, prélèvement du sable, les déchets solides...), corroborant les observation de ([Bouchelouche et al., 2015](#)), que les sites pollués ont le plus faible nombre d'espèces odonate, et que la richesse spécifique est négativement corrélée avec la pollution, qui est un facteur important dans l'érosion de la richesse spécifique des odonates. Selon [Subramanian et al. \(2008\)](#) et [Benchalel et al. \(2017\)](#), La pollution et d'autres impacts anthropiques comme la dégradation des écosystèmes riverains affectent négativement les communautés d'odonates et réduisent leur biodiversité. Ce résultat est conforme aux conclusions de ([Ferrerias-Romero et al., 2009](#)) qui ont montré que les pollutions urbaines et agricoles peuvent affecter négativement les communautés d'Odonate.

Alors que les deux stations d'El-Merreya S8 et de Bin Louiden S12 n'accueillent aucune espèce, qui sont des stations présentant des perturbations hydrologiques avec des périodes d'assèchement partiel ou total de 5 à 6 mois, ainsi que des perturbations anthropiques (principalement élevage des volailles et des bétails...). L'étude du peuplement odonatologique du bassin versant Kebir-Est dans le Nord-Est algérien, on montre la même tendance, que la richesse spécifique est négativement corrélée avec l'hydropériode, les résultats suggèrent que les odonates évitent les sites avec des longues périodes d'assèchement combinées avec des niveaux élevés d'impacts anthropiques ([Satha & Samraoui, 2017](#)). Les odonates évitent donc les tronçons secs des cours d'eau ([Hardersen, 2008](#)).

2.2.3 L'analyse en composante principale (APC) du peuplement odonates

Les deux premières composantes principales de l'APC, fondées sur des variables environnementales, représentaient 64,36% de la variance totale (**Figure 37**). La première composante (44,49% de l'inertie) a été associée à des stations d'altitude importante, par opposition à des stations caractérisées par un substrat fin, une vitesse de courant modérée, de profondeur de l'eau et de largeur de l'oued. Le deuxième composante compte 19.57 % a été associée avec la densité de la végétation riveraine.

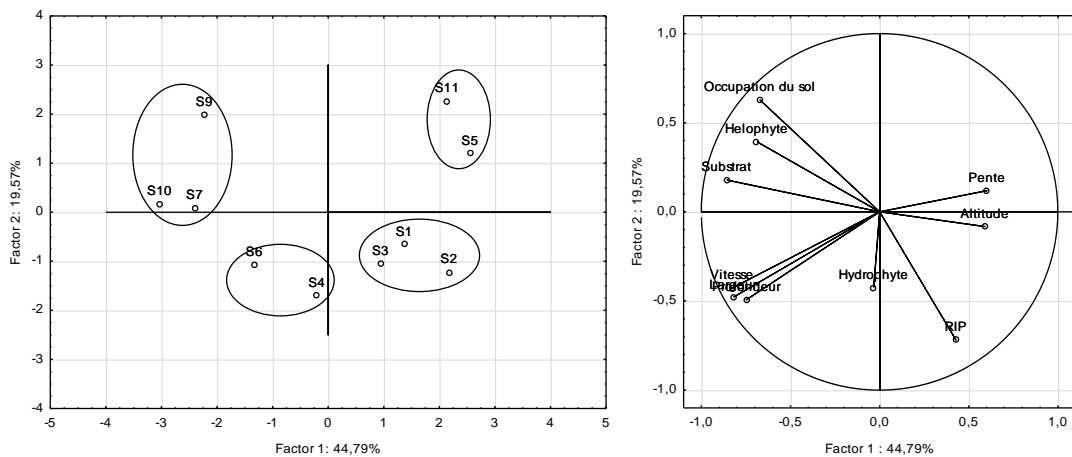


Figure 37: les deux premiers axes de l'analyse (APC) des facteurs écologiques (droite) et des sites d'études (gauche)

Les trois premières composantes de l'APC, basé sur l'ensemble des données faunistiques représentaient 86,71 % de l'inertie totale (**Figure 38**). Le premier composant compte 37.93 % de l'inertie totale a séparé les espèces associées avec des altitudes importantes et de substrat grossiers : *Onychogomphus uncatus*, *Boyeria irene* et *Calopteryx haemorrhoidalis* au reste des autres espèces recensées. Le deuxième composante compte 27.78 % sépare *Ischnura graellsii* et *platycnémis subdilatata*, associée au site (S7) caractérisé par la présence d'hélophyte et de matières organiques, l'occupation du site est de type agriculture, d'espèces *Orthetrum coerulescens*, *Trithemis annulata*, qui se trouvent dans un site propre à occupation de type forestière (S6). La troisième composante (21.03 %) de la variance totale a isolé *Chalcolestes viridis* associée à l'oued Gratam (S11) au reste des espèces enregistrées.

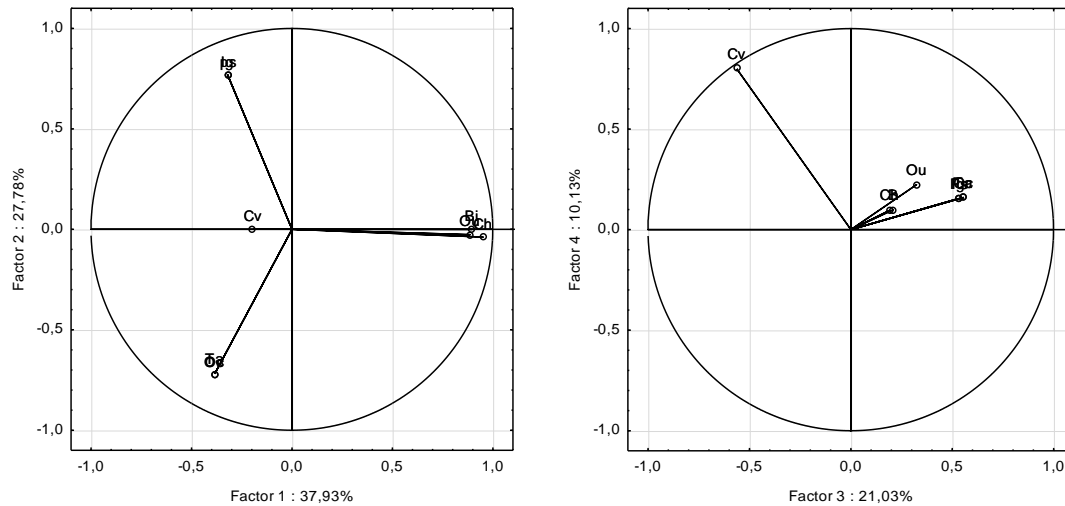


Figure 38: les quatre premiers axes de l’analyse (APC) des assemblages odonates basée sur les données faunistiques

Cette étude nous a permis d’améliorer nos connaissances concernant la faune benthique et plus particulièrement le peuplement odonatologique des cours d’eau du massif de Collo, cours d’eau très peu étudiés mais qui subissent un impact anthropique avéré. Nous avons recensé au total sept familles et huit espèces. Parmi les espèces enregistrées, quatre espèces sont d’origine biogéographique méditerranéennes : *Calopteryx haemorrhoidalis*, *Chalcolestes viridis*, *Ischnura graellsii*, dont *Boyeria irene* est une espèce ouest-méditerranéenne, l’espèce *platycnémis subdilatata* qui est endémique pour le Maghreb.

Cinq espèces des huit espèces récoltées *Chalcolestes viridis*, *Ischnura graellsii*, *platycnémis subdilatata*, *Orhetrum coerulescens* et *Trithemis annulata*, ont été enregistrées seulement dans une seule station avec des fréquences très réduites varient entre un seul individu et trois. L’espèce *Chalcolestes Viridis* se rencontre seulement dans l’oued Gratam (S11), un cours d’eau peu courante et temporaire. L’espèce *Ischnura graellssi* se rencontre seulement dans l’oued zhour (S7), un cours d’eau permanent et courante, avec une charge importante de matière organique provenant du village Oued Zhour. La présence de cette espèce n’est pas étonnante, du fait que les espèces *Ischnura* semble à être tolérante à la pollution de l’eau (Ferrerias-Romero et al., 2009; Campos et al., 2016).

2.3 Trichoptères

2.3.1 La liste faunistiques Trichoptera de Collo :

Rhyacophilidae

Rhyacophila munda McLachlan, 1862, **Premier signalement pour Collo et le nord-est de l'Algérie.**

Localité : Cette espèce a été récoltée à partir de six sites dans la région de Collo: O. Beni Zid (S1), O. Tizagbane (S2), O. Tamanart (S3, S4), O. Kfayoun (S5) et O. Zhour (S6).

Commentaire : *R. munda* est une espèce ouest-paléarctique répandue dans le sud-ouest de l'Europe et de l'Afrique du Nord (Bonada et al., 2004). En Algérie, cette espèce a été signalée pour la première fois par Lestage (1925) à Oued Beni Messous, dans le Nord-centre de l'Algérie. Elle est également connue des montagnes du Djurdjura (Malicky & Lounaci, 1987; Sekhi et al., 2016; Lamine, 2021), et récemment collectée à O. El-Harrach, près d'Alger (Khettar et al., 2022). Elle a également été enregistrée dans de nombreuses études au Maroc (Dakki, 1987; Hajji, et al., 2012; Hajji et al., 2013) et en Tunisie (Tobias & Tobias, 2008). Une autre espèce, *Rh. urgl*, connue seulement du stade adulte, a été décrite dans les montagnes du Djurdjura (Malicky & Lounaci, 1987).

Philopotamidae

Chimarra marginata Linnaeus, 1767, **Premier signalement pour Collo et le nord-est de l'Algérie.**

Localités : Cette espèce a été collectée dans quatre sites dans la région de Collo : O. Beni Zid (S1), O. Tamanart (S3, S4), et O. El-Merreya (S8).

Commentaire : *Chimarra marginata* est une espèce connue d'Europe occidentale (Bonada et al., 2004) et du Maghreb (Tobias & Tobias, 2008). En Algérie, cette espèce n'a été auparavant signalée que dans Hammam Debagh (Lestage, 1925), et plus récemment du bassin versant de la Tafna (Bemoussat-Dekkak et al., 2021b).

Wormaldia algerica Lestage, 1925, **Premier signalement pour Collo, second record pour l'Algérie.**

Localités : L'espèce a été recueillie dans quatre sites dans la région de Collo : O. Beni Zid (S1), O. Tizagbane (S2), O. Tamanart (S3) et O. Kfayoun (S5).

Commentaire : *Wormaldia algerica* est une espèce endémique algérienne (Tobias & Tobias, 2008), précédemment connue uniquement de la grande Kabylie (Lestage, 1925).

Polycentropidae:

Polycentropus sp. **Premier signalement du genre pour Collo et le nord-est de l'Algérie.**

Localités : Ce taxon a été collecté dans trois sites de la région de Collo : O. Beni Zid (S1) et O. Tamanart (S3, S4).

Commentaire : En Algérie, le genre *Polycentropus sp.* était connu de l'Atlas de Blida (Lestage, 1925), les montagnes du Djurdjura, Kabylie (Lestage, 1925; Malicky & Lounaci 1987; Sekhi et al., 2016; Lamine, 2021) et le bassin versant de la Tafna (Bemoussat-Dekkak et al., 2021b). Le genre *Polycentropus* est également connu en Europe occidentale, au Maroc et en Tunisie (Tobias & Tobias, 2008).

Hydropsychidae

Hydropsyche maroccana Navás, 1936, **Premier signalement pour Collo**

Localités : Cette espèce a été récoltée seulement dans deux sites situés dans le bassin versant Oued Guebli : O. El-Merreya (S8) et O. Guebli (S9).

Commentaire : *Hydropsyche maroccana* est une espèce endémique de l'Afrique du Nord et des îles Canaries (Bonada et al., 2004). En Algérie, elle a été enregistrée précédemment dans les montagnes du Djurdjura et dans l'oued Chelif (Malicky & Lounaci 1987; Arab et al., 2004). Récemment, elle a été signalée dans l'oued Seybouse (Samraoui et al., 2020), les montagnes des Aurès (Dambri et al., 2020), l'oued de la Tafna, nord-ouest de l'Algérie (Bemoussat-Dekkak et al., 2021a), et l'oued El-Harrach, au nord centre de l'Algérie (Khattar et al., 2022).

Hydropsyche lobata McLachlan, 1884, **Premier signalement pour Collo.**

Localités : L'espèce *Hydropsyche lobata* a été collectée dans six sites : O. Beni Zid (S1), O. Tizagbane (S2), O. Tamanart (S3, S4) et O. Zhouhour (S6 et S7).

Commentaire : Il s'agit d'une espèce à distribution ibéro-maghrébine. Au Maghreb, l'espèce n'est connue que du Maroc et de l'Algérie (Bonada et al., 2008; Tobias et Tobias 2008). En Algérie, cette espèce a été précédemment enregistrée dans l'oued Chelif, au nord-ouest de l'Algérie (Arab et al., 2004), dans les montagnes du Djurdjura, en Kabylie (Sekhi et al., 2016 ; Lamine, 2021), et plus récemment, dans l'oued de Seybouse, au nord-est de l'Algérie (Samraoui et al., 2020) et dans le bassin versant de la Tafna, au nord-ouest de l'Algérie (Bemoussat-Dekkak et al., 2021a).

Hydropsyche siltalai Döhler, 1963, **Premier signalement pour Collo, second record pour l'Algérie.**

Localités : Cette espèce a été collectée uniquement dans l'Oued Tizagbane (S2).

Commentaire : *H. siltalai* est une espèce Ouest-paléarctique (Morse, 2022), dont l'aire de répartition couvre l'Europe et l'Anatolie (Bonada et al., 2004). Au Maghreb, *Hydropsyche siltalai* a été signalée pour la première fois dans l'oued Tafna, au nord-ouest de l'Algérie (Bemoussat-Dekkak et al., 2021a).

Hydropsyche morla Malicky & Lounaci, 1987, **Premier signalement pour Collo, second record pour l'Algérie.**

Localités : L'espèce a été collectée dans un seul site dans la région de Collo : O. Kfayoun (S5).

Commentaire : *H. morla* est une espèce endémique pour l'Algérie et la Tunisie (Tobias & Tobias, 2008). En Algérie, cette espèce a été précédemment enregistrée dans les montagnes du Djurdjura (Malicky & Lounaci 1987).

Glossosomatidae

Agapetus sp. **Premier signalement pour Collo.**

Localités : Ce taxon a été prélevé dans six sites dans la région de Collo : O. Beni Zid (S1), O. Tizagbane (S2), O. Tamanart (S3, S4) et O. Zhouhour (S6 et S7).

Commentaire : Trois espèces de ce genre sont connues pour l'Algérie (Atlas de Blida, les Aurès et les montagnes de Djurdjura) : *Agapetus numidicus*, *A. fuscus*, et *A.s incertulus* (Vaillant, 1954; Sekhi et al., 2016; Lamine, 2021).

Hydroptilidae

Hydroptila sp. **Premier signalement pour Collo.**

Localités : Ce taxon a été collecté dans deux sites : O. Tizagbane (S2), O. Tamanart (S4).

Commentaire : Ce genre a été signalé dans différentes régions d'Algérie, à Biskra, Annaba, Constantine, Bouzareah, Blida, les montagnes des Aurès et du Djurdjura (Morton, 1896; Morton, 1898; Lestage, 1925; Sekhi et al., 2016; Lamine, 2021).

Goeridae

Silonella aurata Hagen, 1864, **Premier signalement pour Collo.**

Localités : Cette espèce a été collectée uniquement dans l'Oued Tizagbane (S2).

Commentaire : L'aire de répartition de *S. aurata* couvre la péninsule ibérique, la Corse, la Sardaigne (Bonada et al., 2004) et l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie) (Tobias et Tobias 2008). Cette espèce a été enregistrée dans les montagnes du Djurdjura et les montagnes des Aurès (Vaillant, 1954; Sekhi et al., 2016; Dambri et al., 2020; Lamine, 2021).

2.3.2 Analyse (composition) globale de la faune Trichopetra

Le présent travail a pour but d'essayer de comprendre la biodiversité, l'écologie et la distribution des trichoptères dans la région de Collo, une zone qui ne connaît aucune étude précédente dédiée à la faune Trichoptérologique.

Un total de 990 individus a été recensé dans l'ensemble des stations prospectées, sont répartis en 11 taxa appartenant à 7 familles, 8 genres dont la plupart sont monospécifiques et d'abondance numérique inégale, huit taxa sont identifiés au niveau spécifique et trois au niveau générique (**Tableau 8**).

La composition générique du peuplement est relativement riche et variée. Elle est constituée de 8 genres dont les hydroptilidae avec quatre espèces sont les plus diversifiés. Les autres familles sont faiblement représentées.

Tableau 8: Check-list des espèces de Trichoptère de Collo

Trichoptera	Famille	Genre	Espèce
	Rhyacophilidae	Rhyacophila	<i>Rhyacophila munda</i>
	Philopotamidae	Chimarra	<i>Chimarra marginata</i>
		Wormaldia	<i>Wormaldia algerica</i>
	Hydropsychidae	Hydropsyche	<i>Hydropsyche maroccana</i>
			<i>Hydropsyche lobata</i>
			<i>Hydropsyche siltalai</i>
			<i>Hydropsyche morla</i>
	Polycentropidae	Polycentropus	<i>Polycentropus sp.</i>
	Glossossomatidae	Agapetus	<i>Agapetus sp</i>
	Hydroptilidae	Hydroptila	<i>Hydroptila sp.</i>
	Goeridae	Silonella	<i>Silonella aurata</i>

2.3.2.1 Abondance des familles et des espèces recensée

La famille des Hydropsychidae représentée par un seul genre et quatre espèces est la plus dominante parmi les trichoptères prélevés. Cette famille prédomine le peuplement avec 629 individus, soit une abondance de 64 %. La famille des Rhyacophilidae vient en seconde position avec un effectif de 232 individus (soit 24 %), suivie par la famille des Philopotamidae avec 92 spécimens, soit 9 % de l'effectif total (**Figure 39**).

Les familles polycentropodidae, Glossossomatidae, Hydroptilidae et Georidae sont les moins abondantes avec des effectifs plus réduits n'excédant pas 19 individus (soit ≤ 2 %) pour chaque famille.

De plus, *Hydropsyche lobata* montre l'abondance la plus élevée parmi toutes les espèces recensées, couvrant plus de la moitié des individus avec 502 individus, soit 51 % du peuplement, suivie par *Rhyacophila munda* qui représente 24 % des spécimens soit 232 individus. Les espèces *Hydropsyche siltalai*, *Wormaldia algerica* et *Hydropsyche morla* viennent en troisième position avec des effectifs réduits, respectivement 71 (soit 7 %), 59 (soit 6 %) et 45 (soit 5 %) individus. Le reste des taxons sont les moins abondants qui ne représentent que 7% du peuplement pour tous les taxons, soit 81 individus des 990 Trichoptères récoltés (**Figure 40**).

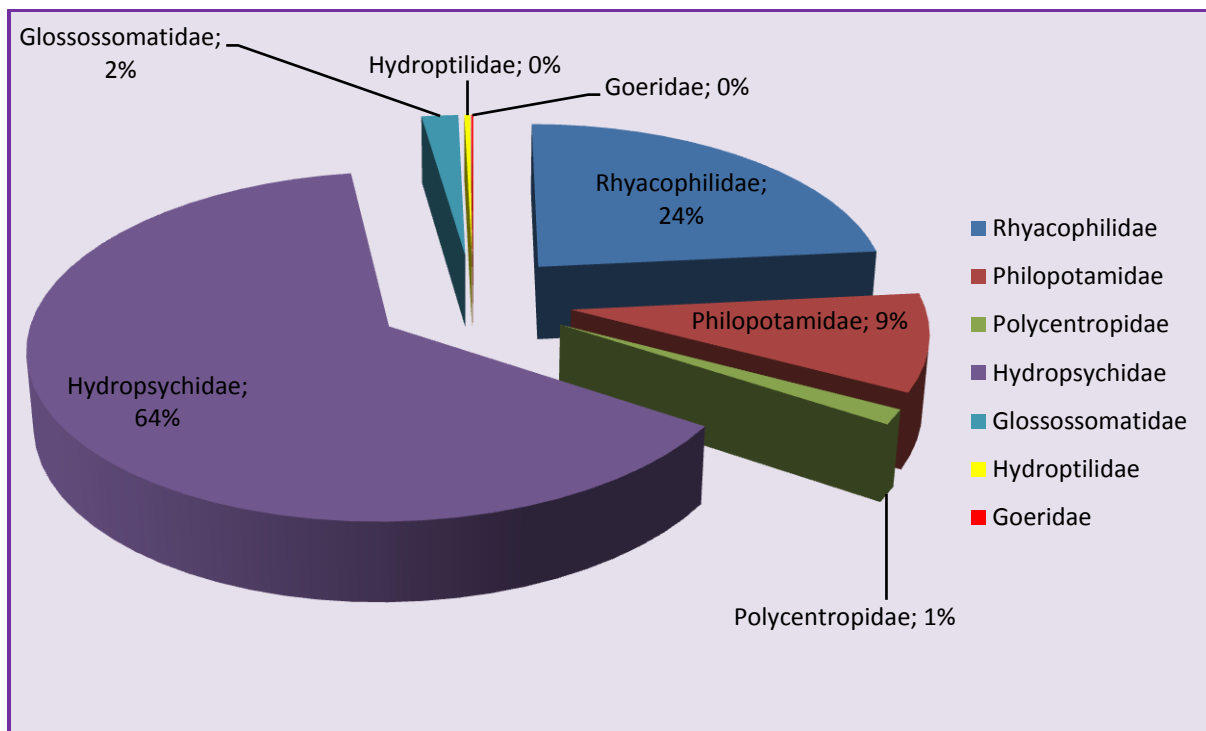


Figure 39: l'abondance relative des familles de trichoptères de la région de Collo

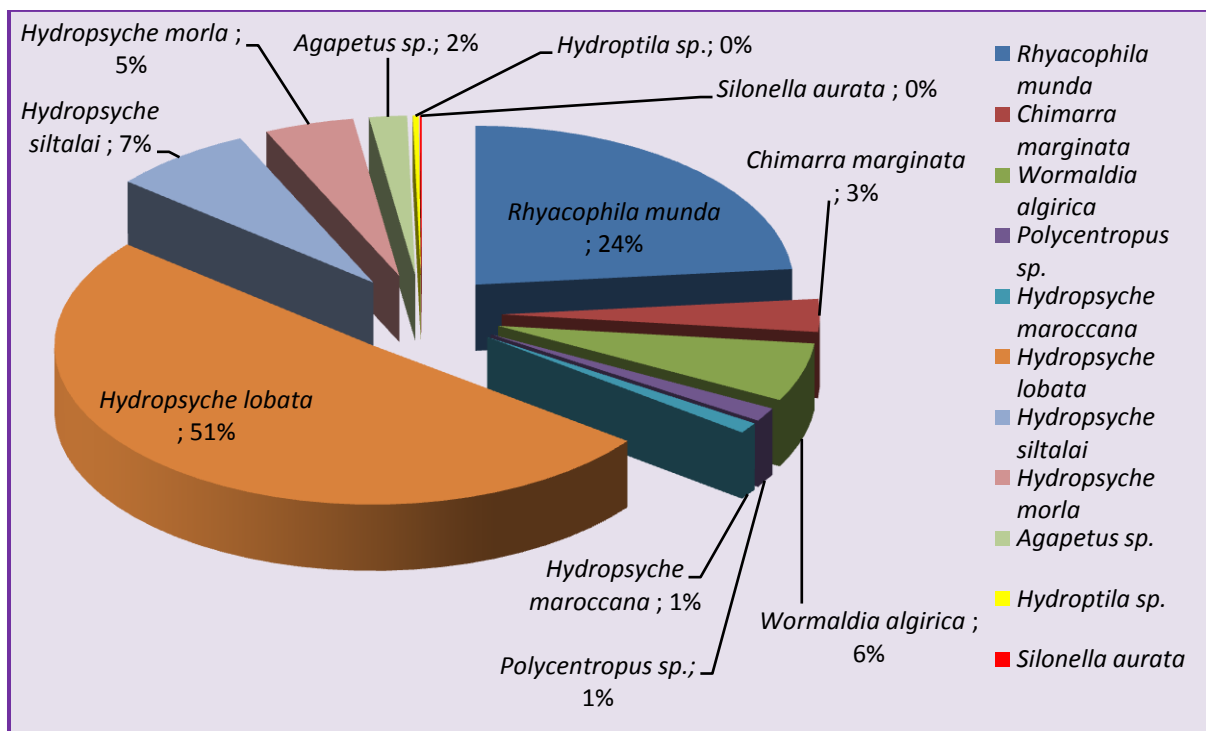


Figure 40: l'abondance relative des taxons de trichoptères de la région de Collo

2.3.2.2 Fréquence des espèces recensées

La fréquence d'occurrence des Trichoptères récoltés dans les 9 stations montre que parmi les 11 taxons recensés, *Rhyacophila munda*, *Hydropsyche lobata* et *Agapetus sp.* sont les plus fréquents (66.67 %), se trouvent dans la plupart des sites échantillonnés, sont suivis par *Chimarra marginata*, *Wormaldia algerica* et *Polycentropus sp.* qui sont assez fréquents (avec 44.44 % et 33.33 respectivement). Le reste des taxons sont moins fréquents (**Tableau 9**).

Selon Dajoz, (1985) on peut classifier les espèces récoltées pendant la période d'étude en fonction de la fréquence comme suite :

- **Espèce fréquente** : *Rhyacophila munda*, *Hydropsyche lobata* et *Agapetus sp.*
- **Espèce commune** : *Chimarra marginata*, *Wormaldia algerica* et *Polycentropus sp.*
- **Espèce accessoire** : *Hydropsyche maroccana*, *Hydroptila sp.*, *Hydropsyche siltalai*, *Hydropsyche morla*, *Silonella aurata*.

Tableau 9: Fréquence d'occurrence des taxons récoltés

Espèce	<i>Rhyacophila munda</i>	<i>Chimarra marginata</i>	<i>Wormaldia algerica</i>	<i>Polycentropus sp.</i>	<i>Hydropsyche maroccana</i>	<i>Hydropsyche lobata</i>	<i>Hydropsyche siltalai</i>	<i>Hydropsyche morla</i>	<i>Agapetus sp1</i>	<i>Hydroptila sp.</i>	<i>Silonella aurata</i>	total
Effectif	232	33	59	14	11	502	71	45	19	3	1	990
Ar %	23.43	3.33	5.96	1.41	1.11	50.71	7.17	4.55	1.92	0.3	0.1	100
F %	66.67	44.44	44.44	33.33	22.22	66.67	11.11	11.11	66.67	22.22	11.11	/

2.3.3 Analyse de la distribution spatiale du peuplement

Trichoptérologique

2.3.3.1 Abondance des espèces

Cette étude révèle que les oueds échantillonnés abritent une population importante de Trichoptères. Les résultats montrent que la station S3 d'oued Tamanart est la plus abondante avec un total de 263 individus, soit (26.57 %), Les stations S2 d'oued Tizagbane et S4 de Tamanart viennent en deuxième position avec respectivement 23 % (soit 233 individus) et 20.61% (soit 207 individus) du peuplement. Puis la station S1 d'oued Beni Zid avec un

effectif de 135 individus (soit 13.64%). Les stations situées dans le bassin versant de l’oued Guebli sont les moins abondantes, on observe que les trichoptères sont absents dans trois stations de cinq, avec un effectif très réduit, 12 individus au total (**Figure 41& Figure 42**).

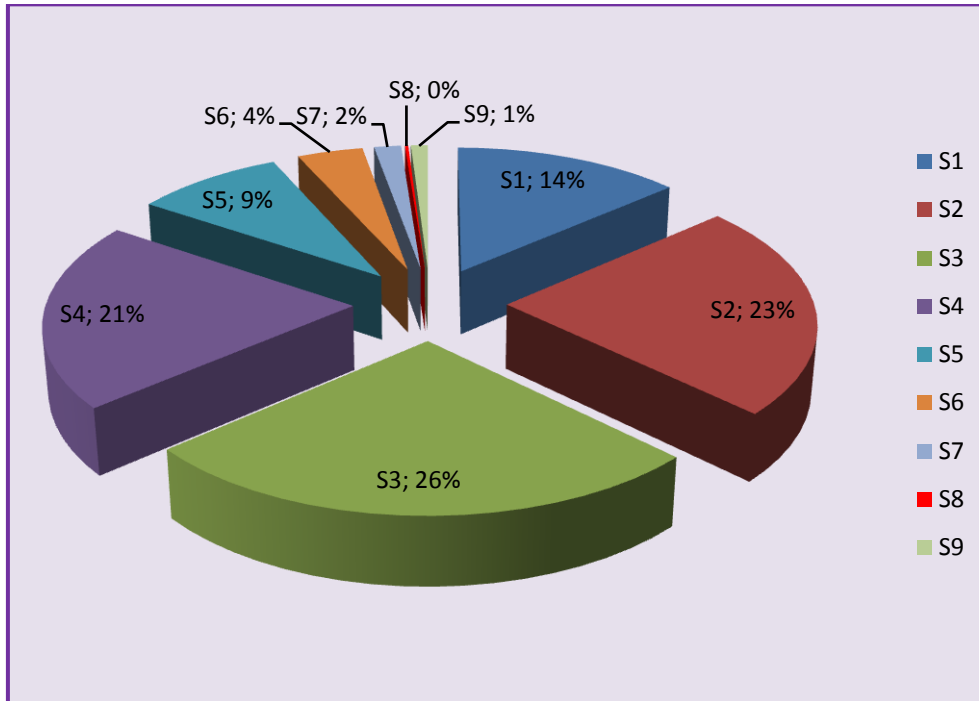


Figure 41: Abondance relative des trichoptères présents dans les stations prospectées

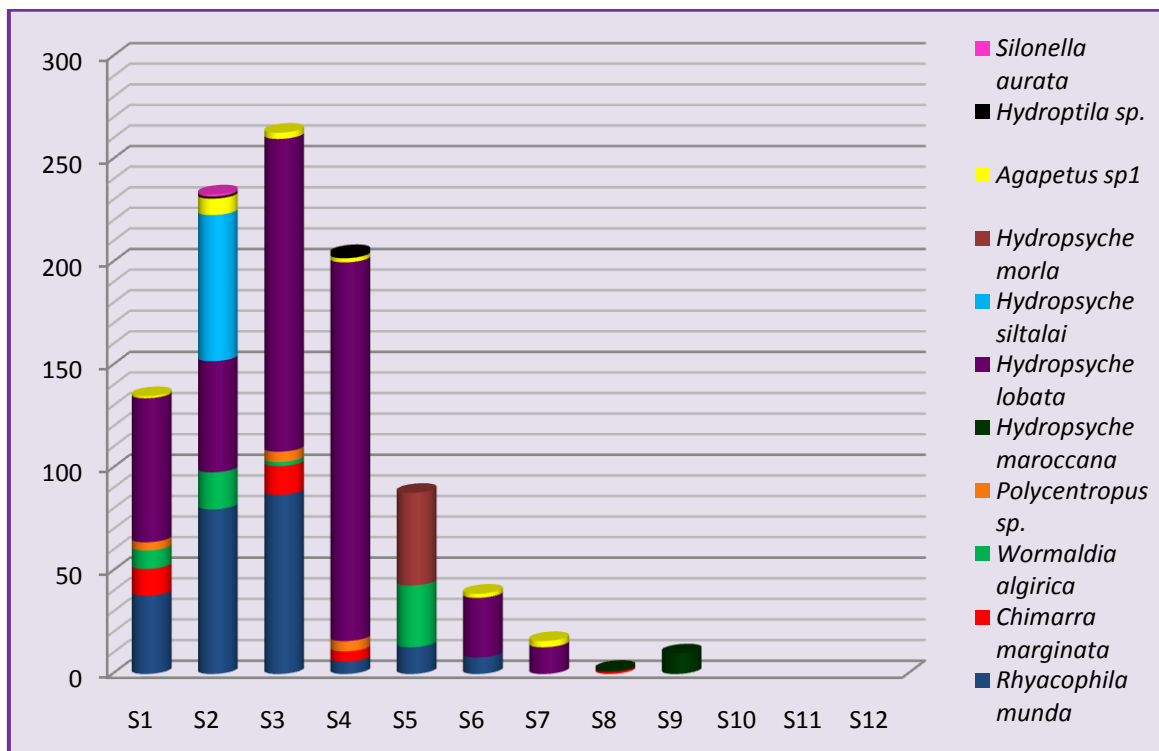


Figure 42: L’effectif des taxons de trichoptères en fonction des stations d’études

2.3.3.2 La richesse taxonomique

La richesse taxonomique des oueds de la région de Collo est faible comparativement aux autres régions de l'Algérie, du Maroc et d'Europe. Nous avons recensé 11 taxons dans la région. Les stations S1, S2, S3 et S4 sont les plus diversifiées, on observe donc que la richesse évolue dans le même sens que l'abondance. Elle est de 7 taxons dans l'oued Tizagbane S2, et de 6 taxons pour les sites S1, S3 et S4. Ce sont des cours d'eau caractérisés par un courant vif et une eau relativement fraîche, sont situés dans des zones de montagne, à végétation riveraine dense constituée principalement d'aulne. Le reste des sites sont moins diversifiés ou la richesse est comprise entre 1 et 3 taxons, ainsi l'effectif est réduit.

2.3.4 Discussion

Cette étude a considérablement amélioré notre connaissance des trichoptères des régions précédemment inexplorées de l'Algérie ; le massif de Collo. Au total, 11 taxons appartenant à 7 familles et 8 genres ont été enregistrés. Parmi les espèces recensées, trois espèces sont endémiques pour le Maghreb: *Wormaldia algerica*, *Hydropsyche morla*, et *H. maroccana* (présente dans les îles des Canaries), dont *Wormaldia algerica* est une espèce endémique seulement pour l'Algérie. Une seule espèce endémique Ibéro-Maghrébine qui est *Hydropsyche lobata*. Une espèce Ouest-Méditerranéenne: *Silonella aurata*. Six taxons : *Rhyacophila munda*, *Chimarra marginata*, *Wormaldia algerica*, *Polycentropus sp.*, *Hydropsyche siltalai*, *Hydropsyche morla*, sont nouveaux pour le nord-est algérien. L'étude étend considérablement l'aire de distribution de tous les trichoptères inventoriés, étant donné que ce prélèvement est le premier pour la région de Collo.

La richesse taxonomique des trichoptères des oueds de la région de Collo est faible comparativement aux autres régions de l'Algérie du Maroc et d'Europe. 18 et 19 taxons ont été enregistrés dans la région des Aurès et Djurdjura respectivement par (Dambri et al., 2020; Lamine, 2021). Ainsi, le peuplement trichoptérologique du Maroc est plus riche : le Rif avec 41 espèces (Hajji et al., 2013), le Moyen-Atlas avec 46 espèces (Dakki, 1987). Les Trichoptères est un ordre très riche dans la Méditerranée occidentale, avec environ 342 espèces pour la péninsule ibérique, appartenant à 75 genres et 22 familles, il y a 327, 185 et 60 espèces enregistrées en Espagne, au Portugal, et en Andorre respectivement (González & Martínez, 2011). La baisse richesse taxonomique dans notre zone d'étude est dû probablement à un effort d'échantillonnage insuffisant. Un échantillonnage approfondi avec des techniques d'échantillonnage multiples, des campagnes répétitives sur chaque site, des investigations sur

de nouveaux territoires et accès à des sites inaccessibles, peut multiplier le nombre d'espèces enregistrées, du fait que les oueds du massif de Collo sont parmi les oueds les plus propres en Algérie, Quelques un d'entre eux se situent dans des zones intactes par l'homme.

Le peuplement de Trichoptère de Collo semble qu'il est assez diversifié de six à sept taxons, dans un ensemble de stations, mais semble pauvre en espèces dans d'autres. Les sites riches sont caractérisés par un courant vif, sont situés dans des zones de montagne, à végétation riveraine dense. Par contre les sites pauvres en espèces et en abondance, appartenant essentiellement au bassin versant oued Guebli, sont situées dans des zones semi-urbaines et rurales, ou bien des terres agricoles. Ces sites montrent un impact important des activités anthropiques provenant essentiellement des eaux usées domestiques de la ville Tamalous, ainsi que les rejets des activités d'élevages.

L'étude des schémas de distribution des Trichoptères européennes, a montré que le nombre des espèces lotiques a été significativement corrélé avec l'occurrence des zones montagneuses (Wiberg-Larsen, 2008). La composition des peuplements trichoptérologiques peut changer à cause de l'impact anthropogénique qui peut être sévère, avec la perte ou la perturbation des habitats, et les différents types de pollution représentent les plus grandes menaces pour la diversité de Trichoptère. Les trichoptères sont connus pour être sensibles à la pollution organique (Basaguren & Orive, 1990a, 1990b).

Une seule famille, Hydropsychidae, est particulièrement riche en espèces, elle est représentée par un genre et 4 espèces. *H. lobata* est le trichoptère le plus abondant et le plus répandu dans la zone d'étude. Les *Hydropsyches* (63.54% du peuplement de Collo) sont fréquents et sont souvent les trichoptères dominants dans les eaux courantes, et sont largement distribuées dans les écosystèmes lotiques (Verneaux & Faessel, 1976), jouant un rôle primordial dans le fonctionnement de ces systèmes biologiques (Statzner et al., 1999). Le deuxième trichoptère le plus abondant, est *Rhyacophila munda* qui est apparemment absent seulement dans le bassin versant de l'Oued Guebli. La famille des Rhyacophilidae est représentée en Algérie par deux espèces *Rhyacophila munda* et *Rhyacophila urgl* qui est connue seulement de la Kabylie du Djurdjura (Maliky & Lounaci, 1987), qui est absente de notre récolte. Certains taxons sont récoltés de façon assez régulière dans les sites prospectés, d'autres se trouvent dans deux à quatre stations, d'autres taxons sont recueillis dans une seule station : *Hydropsyche morla*, *Hydropsyche siltalai* et *Silonella aurata* qui semble rare dans notre récolte.

L'espèce *Hydropsyche siltalai* a seulement enregistrée dans l'Oued Tizagbane (S2). Les larves ont été collectées durant les mois de mars, avril, Mai, juin et juillet. Le site se situe à 495 m d'altitude, caractérisé par un courant d'eau vif, une végétation riveraine très dense et par conséquent le site est très ombragé, le substrat est hétérogène composé principalement de sable, Pierres et blocs. En Algérie, cette espèce a été signalée pour la première fois dans le bassin versant de la Tafna, Nord-Ouest du pays comme nouvelle espèce pour l'Afrique du Nord. [Benmmoussat-Dekkak et al. \(2021a\)](#), suggère que l'espèce est sténotherme rhéophile, peuple les eaux claires et bien oxygénées, à substrat constitué de blocs et de Caillaux. Ainsi les microhabitats de cette espèce sont dépourvus de végétation aquatique, tandis que la végétation riveraine est très dense. Les larves sont collectées dans des altitudes importantes comprises entre 723 et 1065m.

En Europe, *H. siltalai* semble être une espèce sub-montagnarde qui est également présente dans les ruisseaux de basse montagne, avec des altitudes variant entre 200 et 800 m, et parfois même en dessous de 200 m. C'est une espèce eurytherme et rhéophile, présente dans des microhabitats composés de gros gravier, pierres, rochers, substrat rocheux, fragments de bois, macrophytes, mousses et algues vertes ([Graf et al., 2008](#)).

La faune Trichoptérologique de la région de Collo a plus d'espèces communes avec la Kabylie du Djurdjura. A l'exception de *Chimarra marginata* et *Hydropsyche siltalai*, tous les taxons recueillis au cours de notre étude ont été déjà enregistrés dans les montagnes de Djurdjura. Ainsi, *Hydropsyche morla* qui est endémique pour l'Algérie et la Tunisie et *Wormaldia algerica* qui est une espèce endémique pour l'Algérie, se trouvent en Algérie uniquement dans le massif de Collo et la Grande Kabylie.

Concernant les origines biogéographiques, l'ensemble des trichoptères identifiés au niveau spécifique sont d'origines ouest-paléarctiques dont 62.5 % (soit cinq espèces de huit) sont des espèces Méditerranéennes. Ces résultats corroborent ceux de [Mabroki, al., \(2020\)](#), qui a noté que la faune invertébrée de la région méditerranéenne montre des affinités beaucoup plus étroites avec les espèces paléarctiques européennes qu'avec celles de toute autre région biogéographique. En dehors des espèces endémiques, toutes les autres espèces du Maghreb se trouvent dans les pays méditerranéens voisins : Espagne, Portugal, France et Italie ([Benmmoussat-Dekkak et al., 2021b](#)). Les affinités spécifiques entre ces régions témoignent d'échanges spécifiques, qui ont eu lieu lorsque les plaques africaine et eurasiennne ont été

rejointes par le corridor Bético-Rifain pendant 260000 ans avant la Crise de Salinité Messinienne à la fin du Miocène (Blondel et al., 2010).

Conclusion



Cette étude est consacrée à l'étude de la diversité de macroinvertébrés benthiques des réseaux hydrographiques du massif de Collo situé dans le Nord Est de l'Algérie, cette zone géographique possède un réseau hydrographique complexe et développé, constitué de multiples bassins versants, dont la plupart d'entre eux sont étendues sur de petites surfaces, du fait que les sources des Oueds sont très proches de la mer. La région de Collo est située dans l'étage bioclimatique humide, caractérisée par un climat méditerranéen avec un été chaud et sec et une saison froide et pluvieuse, elle est classée parmi les zones les plus arrosées du Maghreb, et qui reçoivent des précipitations considérables chaque année. Bien que, ce massif forestier possède une diversité très importante, il est presque inexploré, où aucune étude systématique n'a été auparavant effectuée concernant les macroinvertébrés benthiques, mais qui subit un impact anthropique de plus en plus important.

Dans ce travail, nous avons réalisé, un échantillonnage systématique des macroinvertébrés benthiques de la région de Collo, le prélèvement a été effectué sur deux périodes, entre juin 2019 mai 2021. Nous avons récolté la faune benthique des quatre principaux bassins versant de ce massif : le bassin versant Oued Guebli, le bassin de l'oued Zhour, le bassin versant Oued Tamanart et ce d'Oued Tizagbane. L'ensemble des sites prospectés sont faits l'objet d'une étude des caractéristiques environnementales.

Selon les résultats obtenues, à partir de l'étude mésologique des sites échantillonnés, les propriétés générales des oueds diffèrent les unes des autres. La plupart des cours d'eau échantillonnés à Collo sont situés dans des régions montagneuses caractérisées par une végétation riveraine dense. L'occupation principale des sols dans et autour de la plupart des sites est de type forestier, quelques cours d'eau présentant des actions anthropiques sur les collectivités semi-urbaines et l'agriculture. Notamment le cours principal d'Oued Guebli et de degré moindre Oued Zhour et plus particulièrement le deuxième site, qui reçoivent les rejets domestiques de la ville de Tamalous et Oued Zhour respectivement. Le fond des cours d'eau varie du substrat fin à grossier, dont la majorité présente des caractéristiques hétérogènes, un mélange de sable, des Caillaux et des roches. La vitesse d'écoulement est globalement de moyenne à modérée, d'autres ayant une vitesse rapide. Les profondeurs sont généralement faibles, les largeurs des lits varient suivant l'importance du cours d'eau. La zone présente donc un large spectre d'habitat et de niche écologique pour la faune.

Ce travail a permis de recenser 12733 individus répartis sur 6 groupes zoologiques : Mollusques, Crustacés, Annélides, plathelminthes, Nématodes et Insectes. Dont, les insectes

est le groupe zoologique qui domine le peuplement avec plus de 96 % de l'effectif total des macroinvertébrés récoltés, les autres groupes enregistrés y compris Les crustacés, les planaires, les nématodes, les mollusques et les annélides occupent une infime partie de la faune recensée.

Pour la classe des insectes, les individus sont répartis sur 7 ordres et plus de 50 familles, dont les diptères et les coléoptères sont les plus représentés, ils ont 12 et 10 famille respectivement, puis les trichoptères, les hétéroptères et les odonates avec 7 familles pour chaque ordre. En terme d'abondance, les diptères est l'ordre le plus abondant avec 4680 individus soit 38.13 % de tous les insectes, les éphéméroptères viennent en deuxième position avec 2596 individus (soit 21.15 %). Les hémiptères sont les moins représentés avec seulement 2.76 % (soit 731 individus). Dans ce travail, nous sommes intéressés beaucoup plus sur les odonates et les trichoptères qui sont identifiés au niveau spécifique.

Les résultats de la présente étude concernant les odonates, ont permis de recenser un total de 431 individus, appartenant à sept familles et huit espèces. Les anisoptères sont les plus représentés par 405 individus soit 94 % du peuplement. La famille des Gomphidae représenté par l'espèce *Onychogomphus uncatius* domine le peuplement, elle couvre (83.68 %) des individus avec 359 spécimens. Cette espèce domine ainsi le peuplement de la majorité des stations d'étude. Selon [Samraoui et Alfarhan, \(2015\)](#), l'espèce *Onychogomphus uncatius* est dominante dans les cours d'eau à occupation forestière, de haute altitude.

L'étude taxonomique des trichoptères de Collo a considérablement amélioré notre connaissance des trichoptères des régions précédemment inexplorées de l'Algérie, étant donné que ce prélèvement est le premier pour la région. Un total de 990 individus a été recensé dans l'ensemble des stations prospectées, sont répartis en 11 taxa appartenant à 7 famille, 8 genre dont la plus part sont monospécifiques, dont le genre des *hydropsyche* est le plus diversifié avec quatre espèces. La plupart des espèces ont été signalées pour la première fois dans le Nord-est de L'Algérie. Les trois espèces : *Wormaldia algerica*, *Hydropsyche siltalai* et *Hydropsyche morla* ont été signalées seulement pour la deuxième fois en Algérie. *Hydropsyche lobata* montre l'abondance la plus élevée parmi toutes les espèces recensées, couvrant plus de la moitié des individus avec 502 individus, soit 51 % du peuplement.

Comme le reste des Oueds du monde entier est plus précisément de l'Algérie, les cours d'eau du massif de Collo, sont sous l'expérience d'un impacte anthropogénique de plus en plus important, notamment la pollution organique prévenant des rejets domestiques en

absence totale des stations d'épurations des eaux usées, ainsi la forte exploitation des eaux pour l'irrigation des cultures le long des oueds et la construction des puits et les retenues d'eau, qui provoque une perturbation de l'écoulement des cours d'eau, le rejet des déchets solides comme les déchets de démolition dans les lits des Oueds, le changement des modèle traditionnels d'occupation des sols dans la région et plus précisément autour des oueds, la destruction et la fragmentation des habitats naturels, le défrichement, les feux de forêt...etc. cette dégradation des écosystèmes, va s'accroître avec les changements climatiques, peut aboutir à l'extinction locale de certaines espèces jugées sensibles, et qui exigent une bonne qualité d'eau.

Selon Boudot et al., (2006), l'augmentation de la demande en eau potable, le prélèvement de l'eau pour l'irrigation agricole, la construction des barrages, les rejets des eaux usées, sont des facteurs exercent une pression sur la qualité de l'eau douce. En outre, les changements climatiques et la modification du régime des précipitations entraînent une perte continue d'habitat, en particulier les habitats d'eaux courantes permanentes.

Une étude hydrobiologique systématique plus détaillée du réseau hydrographique du Collo est nécessaire, notamment les sites difficilement accessibles, dans les hautes altitudes ou les terrains sont très inclinés, pour bien caractériser la macroinvertébrés benthique de la région. Une région possède une biodiversité de valeur patrimoniale très intéressante, non seulement les macroinvertébrés benthiques, mais aussi la grande diversité animale et végétale terrestre.

La conservation et la restauration des écosystèmes aquatiques, plus particulièrement les eaux courantes, est une nécessité de priorité. La bonne connaissance de la biodiversité de ces systèmes est nécessaire pour toute action de protection ou de restauration.

Les résultats obtenus seront utiles en matière d'évaluation, de suivi, de gestion durable et de conservation des écosystèmes d'eau courante dans la zone d'étude afin d'arrêter dans le futur les principales causes de dégradation.

Références bibliographiques



A

- Adger, W. N., Hughes, T. P., Folke, C., Carpenter, S. R. & Rockström, J. (2005). Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309(5737), 1036-1039.
- Andem, A. B., Okorafor, K. A., Eyo, V. O. & Ekpo, P. B. (2013). Ecological impact assessment and limnological characterization in the intertidal region of Calabar River using benthic macroinvertebrates as bioindicator organisms. *International journal of fisheries and aquatic studies*, 1(2), 8-14.
- Angelier, E. (2000). *Ecologie des eaux courantes*: Editions Tec & Doc, paris, 199p.
- Annani, F., Alfarhan, A. H., & Samraoui, B. (2012). Aquatic Hemiptera of northeastern Algeria: distribution, phenology and conservation. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 67(4), 423-435.
- Arab, A., Lek, S., Lounaci, A., & Park, Y. (2004). Spatial and temporal patterns of benthic invertebrate communities in an intermittent river (North Africa). *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 2004, 40 (4), 317-327.
- Avelino-Capistrano, F., Pessacq, P. & Barbosa, L. S. (2018). Chapter 4 - Order Plecoptera. In N. Hamada, J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)*: Academic Press, (p. 119-141).

B

- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. *Paper presented at the Annales de géographie*, (66), 193-220.
- Balian, E., Segers, H., Martens, K. & Lévêque, C. (2008). An introduction to the freshwater animal diversity assessment (FADA) project. *Freshwater Animal Diversity Assessment*, 3-8.
- Barber-James, H. M., Gattolliat, J.-L., Sartori, M. & Hubbard, M. D. (2007). Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater, *Freshwater Animal Diversity Assessment*, p. 339-350.
- Basaguren, A., & Orive, E. (1990a). Downstream changes in caddisfly composition and abundance in relation to changes in water conductivity and oxygen in the river Butron

- basin. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 75(3), 303-316.
- Basaguren, A., & Orive, E. (1990b). The relationship between water quality and caddisfly assemblage structure in fast-running rivers. The river Cadagua Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, 15, 35-48.
- Batzer, D. P., Rader, R. B., & Wissinger, S. A. (1999). Invertebrates in freshwater wetlands of North America: ecology and management, 1098 p.
- Bebba, N. (2017). Impact des paramètres environnementaux et distribution spatio-temporelle des éphéméroptères dans les oueds de biskra et batna. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, setif 1. 198p.
- Belmar, O., Bruno, D., Martínez-Capel, F., Barquín, J. & Velasco, J. (2013). Effects of flow regime alteration on fluvial habitats and riparian quality in a semiarid Mediterranean basin. *Ecological Indicators*, 30, 52-64.
- Bemoussat-Dekkak, S., Abdellaoui-Hassaine, K., Sartori, M., & Zamora-Munoz, C. (2021b). 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.
- Bemoussat-Dekkak, S., Abdellaoui-Hassaine, K., Sartori, M., Morse, J. C., & Zamora-Munoz, C. (2021a). Larval taxonomy and distribution of genus *Hydropsyche* (Trichoptera: Hydropsychidae) in northwestern Algeria. *Zootaxa*, 4915(4), 481-505.
- Ben rabah, S. (2006). Etat actuel des ressources en eau dans la wilaya de skikda (essai de synthèse) bilan-gestion-perspectives. Université de Annaba-Badji Mokhtar, 150 P.
- Benchalel, W., & Samraoui, B. (2012). Caractérisation écologique et biologique de l'odonatofaune de deux cours d'eau méditerranéens: l'oued El-Kébir et l'oued Bouaroug (Nord-Est de l'Algérie). Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, (118), 19-27.
- 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), 5-4 (2017), 2610-2621.

- Benetti, C. J., Michat, M. C. & Archangelsky, M. (2018). Chapter 15 - Order Coleoptera: Introduction. In N. Hamada, J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)*: Academic Press, 497-517 p.
- Bennett, E. & Cork, S. (2005). Scenarios for ecosystem services: Rationale and overview. *Ecosystems and Human Well-Being: Scenarios: Findings of the Scenarios*, (2). 143 P.
- Béthoux, O., Cui, Y., Kondratieff, B., Stark, B. & Ren, D. (2011). At last, a Pennsylvanian stem-stonefly (Plecoptera) discovered. *BMC evolutionary Biology*, 11(1), 1-12.
- Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y., & Boeuf, G. (2010). *The Mediterranean region: biological diversity in space and time*: Oxford University Press. 343p.
- Bonada, N., Múrria, C., Zamora-Muñoz, C., El Alami, M., Poquet, J. M., Puntí, T., . . . Ribera, C. (2009). Using community and population approaches to understand how contemporary and historical factors have shaped species distribution in river ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 18(2), 202-213.
- Bonada, N., Zamora-Muñoz, C., El Alami, M., Múrria, C., & Prat, N. (2008). New records of Trichoptera in reference Mediterranean-climate rivers of the Iberian Peninsula and North of Africa: Taxonomical, faunistical and ecological aspects. *Graellsia*, 64(2), 189-208.
- 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.
- Borja, Á., Dauer, D. M., Elliott, M. & Simenstad, C. A. (2010). Medium-and long-term recovery of estuarine and coastal ecosystems: patterns, rates and restoration effectiveness. *Estuaries and Coasts*, 33(6), 1249-1260.
- Boucenna, H., Satour, A., Hezil, W., Taferghoust, M., Samraoui, F., & Samraoui, B. (2023). Diversity, distribution, and conservation of the Trichoptera and their habitats in north-eastern Algeria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 33(5), 502-516.

- Bouchard, P., Bousquet, Y., Davies, A. E., Alonso-Zarazaga, M. A., Lawrence, J. F., Lyl, C. H., Ślipiński, S. A. (2011). Family-group names in Coleoptera (Insecta). *ZooKeys* (88), 1.
- Bouchelouche, D. (2015). Etude des macroinvertébrés comme bio-indicateurs de la pollution dans les cours d'eau du nord centre de l'Algérie. Thèse de doctorat, Université USTHB, Alger. 176p.
- 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'Ecologie, Terre et Vie*, 70(3), 248-260.
- Bouda, S., (2002). Etude des macroinvertébrés benthiques et relation avec rétrécissement saisonnier de la superficie d'eau du lac de barrage de la Comoé. Diplôme d'ingénieur du développement rural. Université polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso, 113 p.
- Bouhala, Z. (2020). Contribution à l'étude des macroinvertébrés de Oued Charef (Oued Seybousse). Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba. 167p.
- 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.
- Boulinier, T., Nichols, J. D., Sauer, J. R., Hines, J. E., & Pollock, K. (1998). Estimating species richness: the importance of heterogeneity in species detectability. *Ecology*, 79(3), 1018-1028.
- Braeckman, U., Provoost, P., Gribsholt, B., Van Gansbeke, D., Middelburg, J. J., Soetaert, K., Vanaverbeke, J. (2010). Role of macrofauna functional traits and density in biogeochemical fluxes and bioturbation. *Marine Ecology Progress Series*, 399, 173-186.
- Brittain, J. E. & Sartori, M. (2009). Chapter 91 - Ephemeroptera: (Mayflies). In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects* (Second Edition). San Diego: Academic Press, (pp. 328-334).

Buchwald, R. (1992). Vegetation and dragonfly fauna—characteristics and examples of biocenological field studies. *Vegetatio*, 101, 99-107.

C

Chaib, N., Fouzari, A., Bouhala, Z., Samraoui, B., & Rossaro, B. (2013). Chironomid (Diptera, Chironomidae) species assemblages in north Eastern Algerian hydrosystems. *Journal of Entomological and Acarological Research*, 45(e2), 4-11.

Campos, F., Velasco, T., Sanz, G., Casanueva, P., Albuquerque, M., & Antunes, I. (2016). *Ischnura Graellsii* (Insecta: Odonata) A water pollution biovulnerability indicator—probability mapping using spatial uncertainty. *River Research and Applications*, 32(3), 483-489.

Camps, G. (1991). Babor. *Encyclopédie berbère*(9), 1295-1296.

Carpenter, S. R., Bennett, E. M., & Peterson, G. D. (2006). Scenarios for ecosystem services: an overview. *Ecology and Society*, 11(1), 154-241.

Chantaramongkol, P. (1983). Light-trapped caddisflies (trichoptera) as water quality indicators in large rivers: Results from the danube at veröce, hungary. *Aquatic insects*, 5(1), 33-37.

Christensen, J. H. & Christensen, O. B. (2003). Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421(6925), 805-806.

Cruz, P. V., Salles, F. F. & Hamada, N. (2013). A new genus and species of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from Brazil. Paper presented at the *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 49(1) 1-12.

Cummins, K. W. & Klug, M. J. (1979). Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual review of ecology and systematics*, 10(1), 147-172.

Cummins, K. W., Merritt, R. W. & Andrade, P. C. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69-89.

D

- D. Vinebrooke, R., L. Cottingham, K., Norberg, M. S., Jon, I. Dodson, S., C. Maberly, S., & Sommer, U. (2004). Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: The role of species co-tolerance. *Oikos*, 104(3), 451-457.
- Dajoz, R. (1985).— Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliqué. In Bebba, N. (2017). Impact des paramètres environnementaux et distribution spatio-temporelle des éphéméroptères dans les oueds de biskra et batna. Université Ferhat Abbas. 198p.
- Dajoz, R. (2000). Précis d'écologie. Dunod: Paris. 165p.
- Dakki, M. (1987). Recherches hydrobiologiques sur le Haut Sebou (Moyen Atlas). Thèse Doctorat, Rabat, Maroc. 214 p.
- 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), zootaxa.4786.4782. 4784-zootaxa.4786.4782. 4784.
- De March, B. G. (1976). Spatial and temporal patterns in macrobenthic stream diversity. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 33(6), 1261-1270.
- Décamps, H. (1971). La vie dans les cours d'eau. Presses universitaires de France. Paris : 128p.
- Derka, T., Zamora-Muñoz, C. & Tierno de Figueroa, J. M. (2019). Chapter 8 - Aquatic insects. In V. Rull, T. Vegas-Vilarrúbia, O. Huber & C. Señaris (Eds.), Biodiversity of Pantepui (pp. 167-192): Academic Press.
- Dijkstra, K.-D. B., Bechly, G., Bybee, S. M., Dow, R. A., Dumont, H. J., Fleck, G. & Karube, H. (2013). The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). In: Zhang, Z.-Q.(Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013). *Zootaxa*, 3703(1), 36-45.
- Duby, C., & Robin, S. (2006). Analyse en composantes principales. Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 80, 53.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C. & Stiassny, M. L. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 81(2), 163-182.

E

- Emberger, L. (1955). Une classification biogéographique des climats. *Recl. Trav. Lab. Bot. Geol. Zool. Univ. Montpellier*, 7, 3-43.
- ENVICONSULT, (2014). Etude de classement et d'aménagement en aire protégée du Cap Bougaroun-Oued Zhour Wilaya de Skikda, phase II diagnostic écologique et étude socioéconomique. 202 p.
- Eyre, M. & Foster, G. (1989). A comparison of aquatic Heteroptera and Coleoptera communities as a basis for environmental and conservation assessments in static water sites. *Journal of Applied Entomology*, 108(1-5), 355-362.

F

- Faessel, B. & Monnier, A. (1985). Les trichoptères-Données biologiques, éthologiques et écologiques. Clés de détermination larvaire des familles et des principaux genres en France. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture* (299), 1-41.
- Faille, A. (2019). Chapter 14 - Beetles. In W. B. White, D. C. Culver & T. Pipan (Eds.), *Encyclopedia of Caves* (Third Edition): Academic Press, (pp. 102-108).
- Fauvel, G. (1999). Diversity of Heteroptera in agroecosystems: role of sustainability and bioindication. *Agriculture, ecosystems & environment*, 74(1-3), 275-303.
- 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.
- Fierro, P., Arismendi, I., Hughes, R. M., Valdovinos, C. & Jara-Flores, A. (2018). A benthic macroinvertebrate multimetric index for Chilean Mediterranean streams. *Ecological Indicators*, 91, 13-23.
- Fochetti, R. & De Figueroa, J. M. T. (2008). Global diversity of stoneflies (Plecoptera; Insecta) in freshwater. *Freshwater Animal Diversity Assessment*, 365-377 p.
- Forister, M. L., Pelton, E. M., & Black, S. H. (2019). Declines in insect abundance and diversity: We know enough to act now. *Conservation Science and Practice*, 1(8), e80.

G

- DGF, (1975).** Etude d'un projet d'aménagement de 50000 Hectares des Forêts de Chêne liège dans la wilaya Skikda (presqu'île de Collo), 198p.
- Gagneur, J., Giani, N., & Martinez-Ansemil, E. (1986). Les oligochètes aquatiques d'Algérie. *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, 122, 119-124.
- Gasith, A. & Resh, V. H. (1999). Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual review of ecology and systematics*, 30(1), 51-81.
- Gauthier, H. (1928). Recherches sur la faune des eaux continentales de l'Algérie et de la Tunisie. Thèse, Minerva, Alger, 420 pp.
- Geist, J. (2011). Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. *Ecological Indicators*, 11(6), 1507-1516.
- Genin, B., Chauvin, C., & Ménard, F. (2003). Cours d'eau et indices biologiques: pollution, méthodes, IBGN. 2^{ème} éditions. Educagri, paris, 221p.
- Gerhardt, R. R. & Hribar, L. J. (2019). Chapter 11 - Flies (Diptera). In G. R. Mullen & L. A. Durden (Eds.), *Medical and Veterinary Entomology (Third Edition)*: Academic Press, 171-190 p.
- Gibelin, A.-L. & Déqué, M. (2003). Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dynamics*, 20(4), 327-339.
- Godelier, M. (1978). Reproduction des écosystèmes et transformation des systèmes sociaux. *Économie rurale*, 124(1), 10-15.
- 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-Munoz, C., & López-Rodríguez, M. J. (2008). Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms. In, Larval taxonomy and distribution of genus *Hydropsyche* (Trichoptera: Hydropsychidae) in northwestern Algeria. *Zootaxa*, 4915(4), 481-505.

Greenhalgh, M., Ovenden, D., & Saint-Girons, A. (2009). La vie des eaux douces. Delachaux et Niestlé, Edition française, Paris. 256 p.

H

Hafiane, M., Hamzaoui, D., Attou, 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(3), 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*, 2013, vol. 37, num. 3-4, p. 181-216.

Hajji, K., Zamora-Muñoz, C., Bonada, N., & El Alami, M. (2012). Quelques notes sur l'écologie et distribution des Rhyacophilidae (Trichoptera) du Rif (Nord du Maroc). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 50, 559-562.

Hamzaoui, D. (2015). Étude de la répartition des macroinvertébrés benthiques de l'oued Saoura (Wilaya de Béchar). Thèse de doctorat, Université USTHB, Alger. 117p.

Hardersen, S. (2008). Dragonfly (Odonata) communities at three lotic sites with different hydrological characteristics. *Italian Journal of Zoology*, 75(3), 271-283.

Hauer, F. R., & Resh, V. H. (2017). Chapter 15 - Macroinvertebrates. In F. R. Hauer & G. A. Lamberti (Eds.), *Methods in Stream Ecology*, Volume 1 (Third Edition). Boston: Academic Press, 297-319 p.

Helson, J. E. & Williams, D. D. (2013). Development of a macroinvertebrate multimetric index for the assessment of low-land streams in the neotropics. *Ecological Indicators*, 29, 167-178.

Hoffman Black, S., & Vaughan, M. (2009). Chapter 88 - Endangered Insects. In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects* (Second Edition). San Diego: Academic Press, 320-324 p.

Hussain, Q. A., & Pandit, A. K. (2012). Macroinvertebrates in streams: A review of some ecological factors. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 4(7), 114-123.

J

- Jäch, M. & Balke, M. (2008). Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595(1), 419-442.
- Jindal, R., Singh, D. & Chandel, V. (2020). Checklist of macroinvertebrates of Binwa a Westren Himalayan hill stream and their role as bioindicator. *Plant Archives*, 20(1), 2674-2677.
- Jones, P., Hulme, M., Briffa, K., Jones, C., Mitchell, J. & Murphy, J. (1996). Summer moisture availability over Europe in the Hadley centre general circulation model based on the Palmer drought severity index. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(2), 155-172.

K

- Kahirun, K., Sabaruddin, L., Mukhtar, M. & Kilowasid, L. M. H. (2019). Evaluation of land use impact on river water quality using macroinvertebrates as bioindicator in Lahumoko Watershed, Buton Island, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(6).
- Kalkman, V. J., Clausnitzer, V., Dijkstra, K.-D. B., Orr, A. G., Paulson, D. R., & van Tol, J. (2008). Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater Freshwater animal diversity assessment: Springer, 351-363 p.
- 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.
- Krinsky, W. L. (2019). Chapter 9 - Beetles (Coleoptera). In G. R. Mullen & L. A. Durden (Eds.), *Medical and Veterinary Entomology (Third Edition)*: Academic Press, 129-143 p.

L

- 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. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. 228p.
- Laraus, J. (2004). The problems of sustainable water use in the Mediterranean and research requirements for agriculture. *Annals of Applied Biology*, 144(3), 259-272.
- Leipelt, K. G., & Suhling, F. (2001). Habitat selection of larval *Gomphus graslinii* and *Oxygastra curtisii* (Odonata: Gomphidae, Corduliidae). *International journal of Odonatology*, 4(1), 23-34.
- Lestage, J. (1925). Epheméroptères, Plécoptères et Trichoptères recueillis en Algérie par MH Gauthier 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.
- Li, J., Dong, S., Peng, M., Yang, Z., Liu, S., Li, X. & Zhao, C. (2013). Effects of damming on the biological integrity of fish assemblages in the middle Lancang-Mekong River basin. *Ecological indicators*, 34, 94-102.
- Lounaci, A., Brosse, S., Ait Mouloud, S., Lounaci-Daoudi, D., Mebarki, N. & Thomas, A. (2000a). Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream: a species check-list of the Sébaou River basin (Tizi-Ouzou). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 136, 43–55.
- Lounaci, A., Brosse, S., Thomas, A., & Lek, S. (2000b). Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an Algerian stream: the Sébaou wadi. In *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 36, No. 2, pp. 123-133). EDP Sciences.
- Lozny, L. R. (2013). *Continuity and change in cultural adaptation to mountain environments*: Springer, 410p.

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.
- Maceda-Veiga, A., Monroy, M., Viscor, G. & De Sostoa, A. (2010). Changes in non-specific biomarkers in the Mediterranean barbel (*Barbus meridionalis*) exposed to sewage

- effluents in a Mediterranean stream (Catalonia, NE Spain). *Aquatic toxicology*, 100(3), 229-237.
- Magalhaes, M. F., Beja, P., Schlosser, I. J. & Collares-Pereira, M. J. (2007). Effects of multi-year droughts on fish assemblages of seasonally drying Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 52(8), 1494-1510.
- Malicky, H., & Lounaci, A. (1987). Beitrag zur Taxonomie und Faunistik der Köcherfliegen von Tunesien, Algerien und Marokko (Trichoptera). *Opuscula Zoolog. Fluminensia*.
- Mary, N. (2017). Les Macro-Invertébrés Benthiques des Cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie. Guide d'identification. DAVAR Nouvelle-Calédonie, OEIL, CNRT, Nouméa, New Caledonia, 182 p.
- Marzin, A., Archaimbault, V., Belliard, J., Chauvin, C., Delmas, F. & Pont, D. (2012). Ecological assessment of running waters: do macrophytes, macroinvertebrates, diatoms and fish show similar responses to human pressures? *Ecological indicators*, 23, 56-65.
- Matono, P., Bernardo, J. M., Oberdorff, T. & Ilhéu, M. (2012). Effects of natural hydrological variability on fish assemblages in small Mediterranean streams: Implications for ecological assessment. *Ecological Indicators*, 23, 467-481.
- 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. Thèse de doctorat, Université USTHB, Alger. 231p.
- Mercado-Silva, N., Lyons, J. D., Maldonado, G. S. & Nava, M. M. (2002). Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(2), 179-191.
- Merritt, R. W. & Wallace, J. B. (2009). Chapter 12 - Aquatic Habitats. In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, 38-48 p.
- Merritt, R. W., Courtney, G. W. & Keiper, J. B. (2009). Chapter 76 - Diptera: (Flies, Mosquitoes, Midges, Gnats). In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, 284-297 p.

Mocci, F., Martinez, J. M. P., Segard, M., Tzortzis, S. & Walsh, K. (2005). Peuplement, pastoralisme et modes d'exploitation de la moyenne et haute montagne depuis la Préhistoire dans le Parc National des Écrins: Presses universitaires de Bordeaux, 212p.

Moisan, J. (2008). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010: surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds: Développement durable, environnement et parcs Québec, 82 p.

Morse, J. C. (2009). Chapter 257 - Trichoptera (Caddisflies). In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects* (Second Edition). San Diego: Academic Press, 1015-1020 p.

Morse, J. C. (2011). The Trichoptera world checklist. *Zoosymposia*, 5(1), 372-380.

Morse, J.C. (ed.) 2022. Trichoptera World Checklist.

<http://www.clemson.edu/cafls/departments/esps/database/trichopt/index.htm>

[Accessed 10 September 2022]

Morton, K. (1898). Two new Hydroptilidae from Scotland and Algeria, respectively. *Entomologist's Monthly Magazine*, 9, 107-109.

Morton, K. J. (1896). Hydroptilidae collected in Algeria by the Rev. AE Eaton.

N

Nilsson, C. & Berggren, K. (2000). Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation: Dam operations have caused global-scale ecological changes in riparian ecosystems. How to protect river environments and human needs of rivers remains one of the most important questions of our time. *BioScience*, 50(9), 783-792.

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.

P

Pape, T., Blagoderov, V. & Mostovski, M. B. (2011). Order Diptera Linnaeus, 1758. In: Zhang, Z.-Q.(Ed.) *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148(1), 222-229.

- Parikh, G., Rawtani, D., & Khatri, N. (2021). Insects as an indicator for environmental pollution. *Environmental Claims Journal*, 33(2), 161-181.
- Patang, F., Soegianto, A. & Hariyanto, S. (2018). Benthic macroinvertebrates diversity as bioindicator of water quality of some rivers in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Ecology*, 2018.
- Pessacq, P., Muzón, J. & Neiss, U. G. (2018). Chapter 14 - Order Odonata. In N. Hamada, J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)*: Academic Press, 355-366 p.
- Pison, G. (1986). La révolution néolithique remise en cause. *Population (french edition)*, 372-375.
- Plafkin, J. L. (1989). Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthic macroinvertebrates and fish: United states Environmental protection Agency, Office of Water, Regulations and Standards, Washington DC, USA, 160 p.
- Podraza, P., Schuhmacher, H. & Sommerhäuser, M. (2000). Composition of macroinvertebrate feeding groups as a bioindicator of running water quality. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 27(5), 3066-3069.
- Prommi, T.-O., Laudee, P. & Chareonviriyaphap, T. (2014). Biodiversity of Adult Trichoptera and Water Quality Variables in Streams, Northern Thailand. *APCBEE Procedia*, 10, 292-298.
- Pyron, M. & Neumann, K. (2008). Hydrologic alterations in the Wabash River watershed, USA. *River Research and Applications*, 24(8), 1175-1184.

R

- Rainbow, P. S., Hildrew, A. G., Smith, B. D., Geatches, T. & Luoma, S. N. (2012). Caddisflies as biomonitors identifying thresholds of toxic metal bioavailability that affect the stream benthos. *Environmental pollution*, 166, 196-207.
- Ramade, F. (2003). *Eléments d'écologie: Ecologie fondamentale-3e édition*. Dunod, paris.

- Remsburg, A. J., Olson, A. C., & Samways, M. J. (2008). Shade alone reduces adult dragonfly (Odonata: Libellulidae) abundance. *Journal of insect behavior*, 21, 460-468.
- Richardson, E. A., Kaiser, M. J., EDWARDS-JONES, G., & Possingham, H. P. (2006). Sensitivity of marine-reserve design to the spatial resolution of socioeconomic data. *Conservation Biology*, 20(4), 1191-1202.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J. & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation biology*, 10(4), 1163-1174.
- Rosenberg, D. M. & Resh, V. H. (2009). Chapter 207 - Pollution, Insect Response to. In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects* (Second Edition). San Diego: Academic Press, (pp. 819-821).
- Rueda, J., Camacho, A., Mezquita, F., Hernández, R. & Roca, J. R. (2002). Effect of episodic and regular sewage discharges on the water chemistry and macroinvertebrate fauna of a Mediterranean stream. *Water, Air, and Soil Pollution*, 140(1), 425-444.

S

- Samraoui, B., & Corbet, P. S. (2000a). The odonata of numidia, northeastern algeria part i status and distribution. *International Journal of Odonatology*, 3(1), 11-25.
- Samraoui, B. and P. S. Corbet (2000b). "The Odonata of Numidia, northeastern Algeria Part II Seasonal ecology." *International Journal of Odonatology*, 3(1): 27-39.
- 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), zootaxa. 4845.4844. 4845-zootaxa. 4845.4844. 4845.
- Sandin, L., & Johnson, R. K. (2004). Local, landscape and regional factors structuring benthic macroinvertebrate assemblages in Swedish streams. *Landscape Ecology*, 19, 501-514.
- 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.

- Saunders, D. L., Meeuwig, J. J. & Vincent, A. C. (2002). Freshwater protected areas: strategies for conservation. *Conservation biology*, 16(1), 30-41.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C. & Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856), 591-596.
- Schmitter-Soto, J. J., Ruiz-Cauich, L. E., Herrera, R. L. & González-Solís, D. (2011). An index of biotic integrity for shallow streams of the Hondo River basin, Yucatan Peninsula. *Science of the Total Environment*, 409(4), 844-852.
- Schröter, D., Cramer, W., Leemans, R., Prentice, I. C., Araújo, M. B., Arnell, N. W., Gracia, C. A. (2005). Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *science*, 310(5752), 1333-1337.
- Schuh, R. T. & Slater, J. A. (1995). True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera): classification and natural history: Cornell UNIVERSITY press, 336 p.
- 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.
- Sharifinia, M., Imanpour, J. & Bozorgi, A. (2012). Ecological assessment of the Tajan River using feeding groups of benthic macroinvertebrates and biotic indices. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 1(1), 80-95.
- Sharitz, R. R. & Batzer, D. P. (1999). Wetlands in North America and Their Invertebrates. Invertebrates in freshwater wetlands of North America: *ecology and management*, 1.
- Sharma, R. C. & Rawat, J. S. (2009). Monitoring of aquatic macroinvertebrates as bioindicator for assessing the health of wetlands: A case study in the Central Himalayas, India. *Ecological indicators*, 9(1), 118-128.
- Shen, X., Sun, T., Liu, F., Xu, J. & Pang, A. (2015). Aquatic metabolism response to the hydrologic alteration in the Yellow River estuary, China. *Journal of Hydrology*, 525, 42-54.
- Shi, X., Liu, J., You, X., Bao, K., Meng, B. & Chen, B. (2017). Evaluation of river habitat integrity based on benthic macroinvertebrate-based multi-metric model. *Ecological Modelling*, 353, 63-76.

- Silva, L. F., Castro, D. M., Juen, L., Callisto, M., Hughes, R. M., & Hermes, M. G. (2021). A matter of suborder: are Zygoptera and Anisoptera larvae influenced by riparian vegetation in Neotropical Savanna streams? *Hydrobiologia*, 848(19), 4433-4443.
- Stanić-Koštroman, S., Kučinić, M., Kolobara, A., Škobić, D., Knezović, L. & Durbešić, P. (2012). Light-trapped caddisflies (Insecta: Trichoptera) as indicators of the ecological integrity of the Lištica River, Bosnia and Herzegovina. *Entomologia Croatica*, 16(1-4), 21-36.
- Statzner, B., Arens, M. F., Champagne, J. Y., Morel, R., & Herouin, E. (1999). Silk-producing stream insects and gravel erosion: Significant biological effects on critical shear stress. *Water Resources Research*, 35(11), 3495-3506.
- Stewart, K. W. (2009). Chapter 205 - Plecoptera: Stoneflies. In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, (pp. 810-813).
- Stief, P. (2013). Stimulation of microbial nitrogen cycling in aquatic ecosystems by benthic macrofauna: mechanisms and environmental implications. *Biogeosciences*, 10(12), 7829-7846.
- Strayer, D. L. & Dudgeon, D. (2010). Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 344-358.
- Subramanian, K., Ali, S., & Ramchandra, T. (2008). Odonata as indicators of riparian ecosystem health a case study from south western Karnataka, India. *Fraseria (NS)*, 7, 83-95.
- Suhling, F., Sahlén, G., Gorb, S., Kalkman, V. J., Dijkstra, K.-D. B. & van Tol, J. (2015). Chapter 35 - Order Odonata. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)*. Boston: Academic Press, (pp. 893-932).

T

- Tachet, H. P., R., Michel, B. & philippe, U. (2010). *Invertébrés d'eau douce: Systématique, biologie, écologie*. CNRS, Paris, 70-529.

- Tennessee, K. J. (2009). Chapter 185 - Odonata: Dragonflies, Damselflies. In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, (pp. 721-729).
- Thorp, J. H. & Covich, A. P. (2001). 1 - introduction to freshwater invertebrates. In J. H. Thorp & A. P. Covich (Eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, 1-18 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011a). Chapter 13 - Introduction to Freshwater Invertebrates in the Phylum Arthropoda. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 109-119 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011b). Chapter 20 - Mayflies: Insect Order Ephemeroptera. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 179-190 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011c). Chapter 21 - Dragonflies and Damselflies: Insect Order Odonata. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 191-197 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011d). Chapter 22 - Stoneflies: Insect Order Plecoptera. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 199-204 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011e). Chapter 23 - True Bugs: Insect Order Hemiptera. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 205-212 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011f). Chapter 25 - Caddisflies: Insect Order Trichoptera. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 219-227 p.
- Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (2011g). Chapter 26 - Beetles: Insect Order Coleoptera. In J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Field Guide to Freshwater Invertebrates of North America*. Boston: Academic Press, 229-246 p.
- Tobias, D., & Tobias, W. (2008). Caddisflies of the West Palaearctic and Afrotropical regions of Africa. Working documents. <http://trichoptera.insects-online.de/Trichoptera>, 20.

Touzin, D. & Roy, M. (2008). Utilisation des macroinvertébrés benthiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l'eau des rivières au Québec. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation Université Laval. Quebec, Canada. 40p.

Vaillant, F. (1954). XXIII.—Three new species of Trichoptera from Algeria. *Journal of Natural History*, 7(74), 138-142.

Verneaux, J., & Faessel, B. (1976). Larves du genre *Hydropsyche* (Trichopteres Hydropsychidae). Taxonomie, données biologiques et écologiques. *Annls Limnol.* 12 (1) 1976 : 7-16.

W

Wallace, J. B. & Webster, J. R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual review of entomology*, 41(1), 115-139.

Weirauch, C. & Schuh, R. T. (2011). Systematics and evolution of Heteroptera: 25 years of progress. *Annual review of Entomology*, 56, 487-510.

Wiberg-Larsen, P. (2008). Overall distributional patterns of European Trichoptera. *Ferrantia*, 55, 143-155.

Wiegmann, B. M., Trautwein, M. D., Winkler, I. S., Barr, N. B., Kim, J.-W., Lambkin, C., Heimberg, A. M. (2011). Episodic radiations in the fly tree of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(14), 5690-5695.

Y

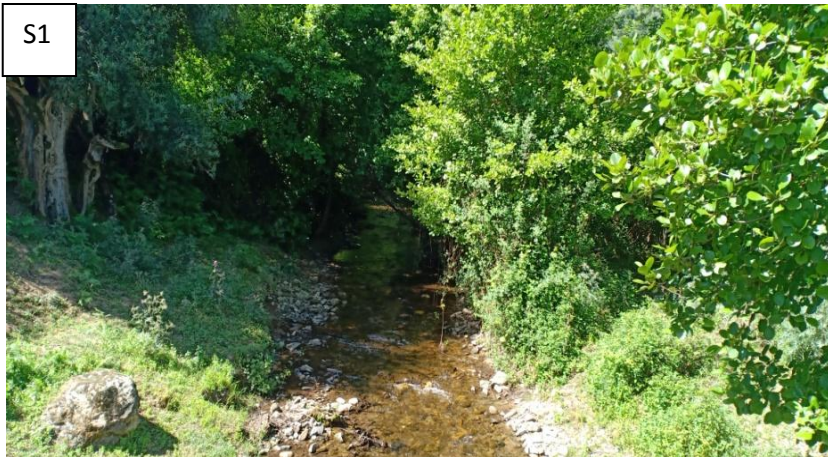
Yeates, D. K. & Wiegmann, B. M. (1999). Congruence and controversy: toward a higher-level phylogeny of Diptera. *Annual review of entomology*, 44(1), 397-428.

Yeates, D. K., Wiegmann, B. M., Courtney, G. W., Meier, R., Lambkin, C. & Pape, T. (2007). Phylogeny and systematics of Diptera: two decades of progress and prospects. *Zootaxa*, 1668(1), 565-590.

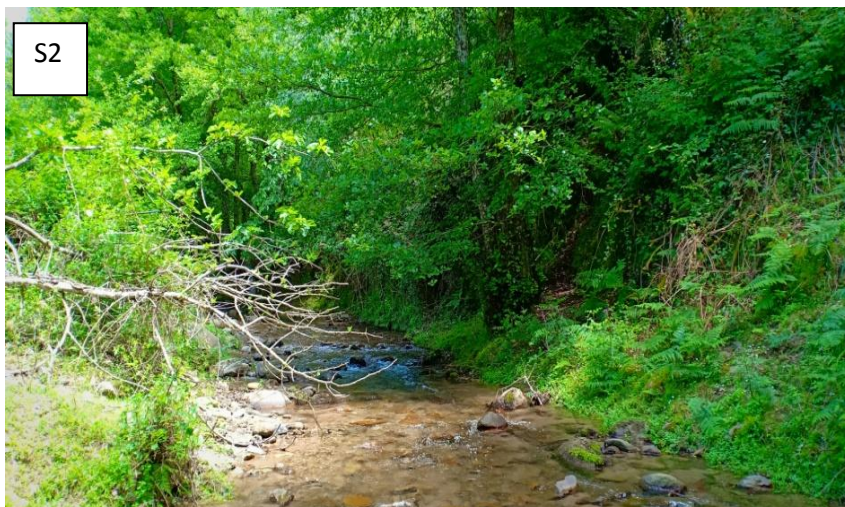
Annexes



S1



S2



S3



S4



S5



S6





