

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou
Faculté Des Sciences Biologiques Et Des Sciences Agronomiques
Département De Biologie



Mémoire de fin d'études



En vue d'obtention du Diplôme de Master en Science de la Nature et de la vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie Animale

Thème

**Macroinvertébrés benthiques et état de santé
écologique du réseau hydrographique de l'assif
Hallil et de l'oued Boubhir (s.s)**

Réalisé par :

Melle BOUDJEMA LYNDA & Melle BOUDALI LOUIZA

Soutenu devant le jury composé de :

Président MR. MEZANI S.

M. C. A

UMMTO

Promotrice Mme. SEKHI S.

M. C. B

UMMTO

Examinatrice Mme. MALLIL K.

M. A. A

UMMTO

2022-2023

REMERCIEMENTS

Nous remercions d'abord le Dieu tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience, la volonté et le courage pour réaliser ce travail.

Nos sincères remerciements vont à notre promotrice M^{me} SEKHI, Maitre de conférences classe B à l'Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou pour nous avoir encadrés et encouragés, pour sa gentillesse, pour ses précieux conseils et l'aide qu'elle nous a apporté durant la réalisation de ce travail.

Toutes nos gratitudes vont également à M. LOUNACI professeur à l'Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou pour nous avoir accueillis dans le laboratoire d'hydrobiologie.

Nos vifs remerciements vont aux membres de jury pour nous avoir honorés de leur accord pour juger notre présent travail :

M^{me} MALLIL, maitre-assistant A à l'Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou d'avoir consacré son précieux temps afin d'examiner ce modeste travail.

M. MEZANI, maitre de conférences classe A à l'Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de présider le jury

Nous remercions également M^r LAMINE, M^r BAIKECHE et M^{me} HAOUCHINE pour l'aide qu'ils nous ont apporté au laboratoire.

Enfin, nous tenons à remercier tous les enseignants du Département de Biologie qui tout au long des années d'études nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Dédicace

A mes chers parents, à toute ma famille et mes amis.

Lynda & Louiza

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude (LOUNACI, 2005)	4
Figure 2 : Unités morpho-structurales de la Grande Kabylie (FLANDRIN, 1952)	6
Figure3 : Précipitations moyennes (en mm) mensuelles de la région d'étude (période 1995-2014)	8
Figure 4 : Températures mensuelles de l'air (°C) (minimale, maximale et moyenne) à Tizi-Ouzou pour la période (2010-2021)	9
Figure 5 : Réseau hydrographique étudié et emplacement des stations.....	13
Figure 6 : Températures ponctuelles de l'eau relevées dans les stations étudiées	22
Figure 7 : Répartition globale de la faune benthique dans les stations d'études.....	29
Figure 8 : Abondance de la faune globale dans les stations d'études	32
Figure 9 : Richesse taxonomique dans les stations étudiées	33
Figure 10 : Occurrence relative (%) des taxons récoltés	35
Figure 11 : Abondance relative (%) des taxons récoltés.....	35
Figure 12 : Abondance des Diptères récoltés.....	37
Figure 13 : Répartition des Diptères dans les stations étudiées	37
Figure 14 : Abondance des Éphéméroptères étudiés	38
Figure 15 : Répartition des Éphéméroptères dans les stations étudiées.....	39
Figure 16 : Abondance des Plécoptères récoltés.....	40
Figure 17 : Répartition des plécoptères dans les stations étudiées.....	41
Figure 18 : Répartition des Trichoptères dans les stations étudiées.....	42
Figure 19 : Abondance des Trichoptères dans les stations étudiées.....	42
Figure 20 : Abondance des Hétéroptères dans les stations étudiées	43
Figure 21 : Répartition des Hétéroptères dans les stations étudiées	43
Figure 22 : Abondance des Coléoptères récoltés	44
Figure 23 : Répartition des Coléoptères dans les stations étudiées.....	45
Figure 24 : Répartition des mollusques dans les stations étudiées.....	46
Figure 25 : Abondance des Mollusques récoltés.....	46
Figure 26 : Répartition des Oligochètes dans les stations étudiées.....	47
Figure 27 : Abondance des Oligochètes dans les stations étudiées	47
Figure 28 : Répartition des Odonates dans les stations étudiées.....	48
Figure 29 : Abondance des Odonates dans les stations étudiées.....	48
Figure 30 : Evaluation des indices de H' et E dans les stations étudiées	50

Figure 31 : ACP : Représentation de la distribution des variables environnementales.....	53
Figure 32 : Distribution spatiale des stations d'étude dans le plan factorial F1-F2	53
Figure 33 : La qualité hydrobiologique des cours d'eau étudiés (BMWP').....	56

Liste des photographies

Photos 1 : Incinération de déchets	11
Photos 2 : Pompage de l'eau	11
Photos 3 : Station AI1	14
Photos 4 : Station AI2	14
Photos 5 : Station AI3	14
Photos 6 : Station AIf	15
Photos 7 : Station HAL1	16
Photos 8 : Station HAL2	16
Photos 9 : Station KH	17
Photos 10 : Station BH	17

Liste des tableaux

Tableau 1 : Altitudes et pentes des stations étudiées	18
Tableau 2 : Largeur du lit et vitesse du courant mesuré aux stations d'étude.....	19
Tableau 3 : Nature du substrat dans les stations étudiées	20
Tableau 4 : Températures ponctuelles de l'eau aux différentes stations étudiés	21
Tableau 5 : Relation richesse EPT et qualité de l'eau	27
Tableau 6 : Nombre de familles et de genres par groupe zoologique dans les stations étudiées	28
Tableau 7 : Répartition de la faune benthique dans les stations étudiées	30
Tableau 8 : Indice de diversité de Shannon H' et E des stations étudiées	49
Tableau 9 : Caractéristiques mésologiques des stations étudiées	51
Tableau 10 : Matrice de corrélations entre variable environnementales	52
Tableau 11 : Qualité hydrobiologique des stations étudiées BMWP'	54
Tableau 12 : Relation richesse en EPT et qualité de l'eau.....	57
Tableau 13 : Valeur du nombre d'individus EPT et valeur du ration EPT.....	58
Tableau 14 : Valeur EPT/ nombre d'individus chironomidae	59

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I Caractéristique générales de la région d'étude	
1. La situation géographique de la région d'étude	3
2. Le contexte géologique	5
3. La climatologie.....	6
3.1. Les précipitation.....	7
3.2. Les températures de l'air	8
4. Le couvert végétal	9
5. Les perturbations anthropiques	10
Chapitre II Sites et méthodes d'étude	
. Démarche générale.....	12
1. Description des cours d'eau et des stations étudiées.....	12
1.1. Réseau hydrographique de l'assif hallil (s.s) et ses tribulaires.....	13
1.1.1. Assif Illilthen.....	13
1.1.2. Assif Iferhounene	15
1.1.3. Assif Hallil (s.s).....	15
1.2. Assif El-Khemis	16
1.3. Oued Boubhir (s.s)	17
2. Les caractéristiques physiques des stations d'étude.....	18
2.1. La pente	18
2.2 Le débit.....	18
2.3. L'écoulement et la vitesse de courant	19
2.4. Le substrat	20
2.5. Les températures de l'eau.....	21
3. Matériels et Méthodes d'échantillonnage benthiques	22
3.1. L'échantillonnage.....	22
3.2. Conservation des échantillons	22
3.3. Tri et détermination.....	22
4. Indices écologiques de composition et de structure	23
4.1. La richesse spécifique	23
4.2. Abondance relative des espèces	23
4.3. Indice de diversité de shannon	23

4.4. Equitabilité	24
5. Traitement statistiques des données	24
5.1. Corrélation de pearson	24
5.2. L'analyse en composants principales (ACP)	25
5.3. Logiciel de Calcul	25
6. Evaluation biologique de la qualité de l'eau	25
6.1. La méthode de BMWP'	25
6.1.1. Domaines d'application du BMWP'	25
6.1.2. Calcul de BMWP'	26
6.2. Autres métriques	26
6.2.1. Indice EPT	26
6.2.2. Ration EPT	27
6.2.3. Ration EPT/ chironomidae	27
Chapitre III Analyse globale de la faune	
1. Analyse de la faune benthique.....	28
1.1. Abondance stationnelle	32
1.2. Richesse taxonomique.....	33
1.3. Occurrence et l'abondance relative des taxons	34
2. Analyse quantitatives et qualitative de la faune benthique	36
2.1. Diptères	36
2.2. Ephéméroptères	37
2.3. Plécoptères	40
2.4. Trichoptères.....	41
2.5. Hétéroptères	42
2.6. Coléoptères.....	44
2.7. Mollusques	45
2.8. Oligochètes.....	46
2.9. Achètes	47
2.10. Odonates.....	47
2.11. Les autres groupes zoologiques.....	49
3. Etude de la structure du peuplement benthique.....	49
4. Structure mésologiques	51
5. Evaluation de la qualité biologique de l'eau	54
5.1. Résultats obtenus à partir de l'BMWP'	54

5.1.1. Discussion	55
5.2. Autres métriques	56
5.2.1. Résultats obtenus à partir de l'indice EPT	56
5.2.2. Ration EPT	58
5.2.3. Ration du nombre d'individus EPT/nombre d'individus chironomidae	58
Conclusion	55
Références bibliographique	
Annexes	

L'eau est indispensable à l'existence, au développement et à la vie des êtres vivants. Elle est une ressource si vitale qu'elle semble banale, mais sans elle, la vie disparaîtrait. Malheureusement, cette ressource hydrique est menacée par la pollution qui représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation de l'environnement.

Les cours d'eau sont parmi les écosystèmes les plus complexes et dynamiques (DYNESIUS & NILSSON, 1994). Ils jouent des rôles essentiels dans la conservation de la biodiversité, dans le fonctionnement des organismes et dans le cycle de matière organique. Les réseaux hydrographiques du monde entier ont été plus ou moins modifiés par les activités humaines (EVERARD & POWELL, 2002).

En Algérie du Nord, la complexité des hydrosystèmes et la multiplicité des perturbations anthropiques d'une part, ainsi que les conditions climatiques difficiles (régression de la pluviométrie, élévation de la température) d'autre part, ont conduit à la fragmentation croissante des milieux se traduisant par des modifications profondes et rapides des communautés d'invertébrés avec une perte de la diversité et/ou des déséquilibres démographiques (LOUNACI, 2005).

Parmi les bio-indicateurs, les macros-invertébrés benthiques constituent les organismes les plus couramment utilisés pour la bio surveillance et l'évaluation de l'état de santé global des systèmes aquatiques permettant de mesurer l'impact réel du phénomène de la pollution sur ce bien capital.

L'étude des macroinvertébrés benthiques des cours d'eau d'Afrique du Nord a été entreprise ces dernières décennies afin de dresser un inventaire aussi exhaustif que possible et d'avoir des connaissances sur la systématique, l'écologie (facteur de répartition des espèces, distribution spatiale...) ainsi que la biogéographie.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur les macroinvertébrés benthiques et leur importance dans l'évaluation biologique de la qualité de l'eau. Parmi ces travaux : LOUNACI (1987), AIT MOULOUD (1988), LOUNACI-DAOUDI (1996), LOUNACI *et al.* (2000a et 2000b), MEBARKI (2001), LOUNACI (2005), HAOUCHINE (2011), SEKHI *et al.* (2016), LAMINE *et al.* (2019), HAMMOUDI & NEGGAD (2020), LAMINE (2021), KECHEMIR *et al.* (2021), HAMI & HADDADI (2021), BOUAZIZ & MAHMOUDIA (2021) et SEKHI (2022).

L'objectif de ce travail est d'une part, de contribuer à l'étude des données faunistiques de l'assif Hallil et de l'oued Boubhir (s.s) et de déterminer l'organisation spatiale et la structure des macroinvertébrés benthiques en fonction des caractéristiques environnementales, d'autre part, d'évaluer la qualité hydrobiologique de l'eau et du milieu par les voies biologiques.

L'ensemble de ce travail est reparti sur trois chapitres :

- Le premier, résume les principales caractéristiques générales de la région d'étude : géographie, climatologie, végétation et perturbations anthropiques ;
- Le deuxième, traite essentiellement les sites d'étude et méthodes d'échantillonnage employées : description des réseaux hydrographiques et caractéristiques physiques des sites étudiés.
- Le troisième, s'intéresse à l'analyse de la faune benthique récoltée ainsi qu'à l'évaluation biologique de la qualité de l'eau (BMWP', EPT, Ratio EPT, Ratio EPT/C).

1-La situation géographique de la région d'étude

La Kabylie du Djurdjura constitue notre zone d'étude. Elle est localisée dans le centre Nord de l'Algérie à une centaine de kilomètres à l'Est d'Alger et à moins de 50 km au Sud du littoral méditerranéen. Le territoire de la Grande Kabylie recouvre aujourd'hui la Wilaya de Tizi Ouzou et une partie de celles de Bouira et Boumerdès.

Elle est comprise entre 3°35' et 5°05' de longitude Est, et entre 36°22' et 36°55' de latitude Nord, elle s'étend d'Ouest en Est, de Thenia à Bejaia et du Sud au Nord, depuis les sommets du massif du Djurdjura, principalement Thala Guilef 1450 m, Tikjda 1450 m, Tizi N'Kouilal 1470m et le Col de Tirourda jusqu'aux piémonts et aux plaines de Tizi-Ouzou (Vallée du Sébaou).

Le principal cours d'eau du réseau hydrographique de la Kabylie du Djurdjura est le Sébaou (MEDDOUR, 2010). D'après YAKOUB (2005), le bassin versant du Sébaou s'étale sur une superficie de 2 500 km² et une largeur de 117 Km. Il est délimité (figure1) :

- au Nord, par la Méditerranée ;
- au Sud, par la chaîne calcaire du Djurdjura ;
- à l'Est, par le massif de l'Akfadou ;
- et à l'Ouest, par les massifs du Djebel Belloua et du Djebel Aissa Mimoun.

Les cours d'eau du sous-bassin versant de l'oued Boubhir drainent l'ensemble des écoulements du flanc Nord-Est de la Kabylie du Djurdjura : partie septentrionale du massif de l'Akfadou (col de l'Akfadou), partie orientale du Djurdjura (col de Chellata et col de Tirourda).

Dans l'impossibilité d'étudier l'ensemble des cours d'eau du sous bassin versant de l'oued Boubhir, notre intérêt s'est porté sur le chevelu hydrographique de l'assif Hallil et sur l'oued Boubhir (s.s).

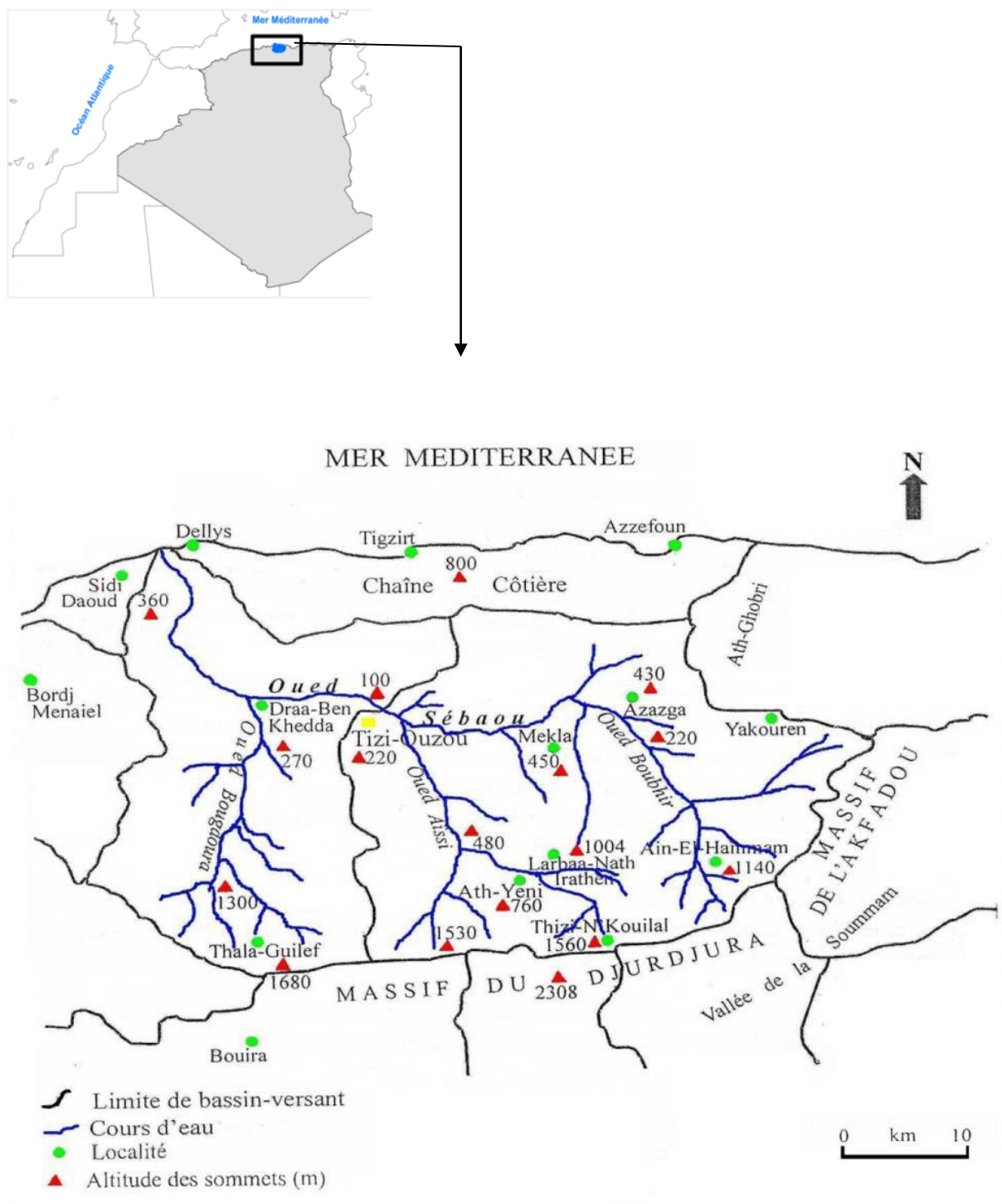


Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude (LOUNACI, 2005).

2-Le contexte géologique

La Grande Kabylie a fait l'objet de différentes études : stratigraphie, tectonique, orogénèse... (FLANDRIN, 1952 ; THIEBAULT, 1952 ; RAYMOUD, 1976 ; GELARD, 1996). Dans le présent travail, nous nous limiterons à en donner une vue globale et synthétique de la géologie de la zone d'étude.

Les grandes unités morpho structurales qui la constituent sont les suivantes (figure2):

- **La dorsale Kabyle :** la dorsale Kabyle appelée parfois « chaîne calcaire » à cause de l'importance du jurassique inférieur calcaire. Selon DURANDDELGA (1969), le Djurdjura fait partie de la dorsale Kabyle, qui correspond à une couverture sédimentaire Mésozoïque, constituée de calcaires du Lias et de l'Eocène, de dolomies du Trias au Lias inférieur, de schistes primaires, de grès permien, et de débris de roche monnayée.
- **Le socle Kabyle :** il est représenté par plusieurs formations cristallophylliennes métamorphiques (gneiss, marbres, amphibolites, micaschistes et schistes) et d'un ensemble sédimentaire Paléozoïque (Ordovicien à Carbonifère) peu métamorphique. Le socle métamorphique il favorise les écoulements superficiels des eaux vers les principaux affluents de l'Oued Sébaou (YAKOUB, 1996).
- **Les dépressions sédimentaires:** elles correspondent à d'étroites vallées intra montagneuses. Elles sont représentées essentiellement par celles des Ouacifs et de Meschtras creusées au pied du Djurdjura à de très basses altitudes (300 à 400 m) ainsi que la dépression principale du Col de Tirourda, qui se maintient à 1956 m.
- **Au Miocène :** il est constitué principalement de marnes et d'argiles en contact avec le Socle Kabyle, ou en contact avec des strates quaternaires (YAKOUB, 1985). Il occupe le cours inférieur des oueds Boghni et Bougdoura.
- **Au Quaternaire :** il est constitué de matériaux hétérogènes : grossier en amont (galets, graviers, sables) et fins en aval (sables fins, vase et limons) pouvant former des nappes alluviales après accumulation importante. Il est bien représenté dans la dépression de Mechtras et tout au long des Oueds Boghni et Bougdoura.

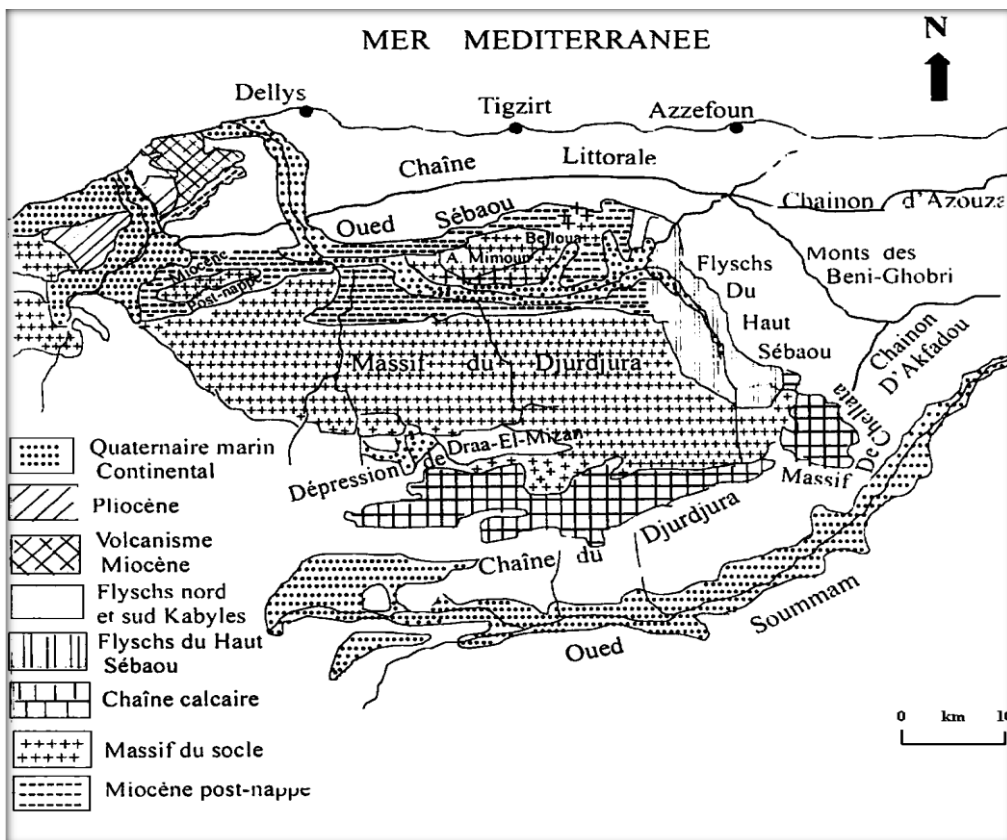


Figure 02: Unités morfo-structurales de la Grande Kabylie (FLANDRIN, 1952).

3-La climatologie

Les précipitations, la température, le vent, l'humidité de l'air sont d'après DREUX (1980), les principaux facteurs climatiques qui jouent un rôle fondamental dans les milieux naturels, et qui interviennent en ajustant les caractéristiques écologiques des écosystèmes.

Le climat de l'Algérie se distingue par une influence marine au Nord et une tendance continentale subdésertique provenant du Sud. Les vents prédominants sont de direction Nord et Nord-Est (SELTZER, 1946).

La Kabylie du Djurdjura se situant au Nord de l'Afrique et en Méditerranée occidentale, se trouve sous l'influence du climat méditerranéen. Celui-ci est caractérisé par la sécheresse de la saison estivale (sécheresse totale bien marquée se prolongeant de juillet à septembre) et des hivers relativement humides avec des précipitations torrentielles à grande irrégularité interannuelle (ABDESSELAM, 1995).

3-1. Les précipitations

Les précipitations et principalement les pluies, qui constituent le poste entrée du cycle de l'eau, sont une composante fondamentale en hydrologie. En Algérie, la pluviosité augmente avec l'altitude, mais elle est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides. Elle augmente également d'Ouest en Est et à l'inverse elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers le Sud SELTZER (1946), QUEZEL (1957) et CHAUMONT & PAQUIN (1971).

Selon DERIDJ (1990) et ABDESSELAM (1995), la pluviométrie est plus importante au Djurdjura (altitude > 1000m). Les quantités de pluies reçues accompagnées de neige variant de 1500 à 2000 mm/an en versant Nord, tandis que la zone littorale et les piémonts, présentent des précipitations moindres qui oscillent entre 800 et 900 mm/an.

La distribution annuelle de la pluviométrie en Kabylie épouse parfaitement les variations des modèles orographiques : l'augmentation de la pluviométrie est observée avec chaque élévation de l'altitude (Chaîne littorale, versant Nord du Djurdjura...) ; la diminution est par contre sensible dans les dépressions de Tizi-Ouzou (vallée du Sébaou...) (LAMINE, 2021).

Afin de caractériser notre région d'étude du point de vue climatique, nous nous sommes basés sur les données pluviométriques disponibles dans les stations (Azazga, Tizi-Ouzou et Boubhir) pour la période 1995-2014 (annexe 1) (BOUAZIZ & MAHMOUDIA, 2021).

La lecture de la figure 3 montre que :

- Les précipitations les plus importantes s'observent de novembre à avril avec deux pics, le premier en décembre avec une valeur de 181 mm au niveau d'Azazga qui est le plus élevée, puis une valeur de 154 mm au niveau de Tizi-Ouzou et Boubhir. Le second pic moins important est enregistré en avril avec 136 mm au niveau d'Azazga, 121 mm à Boubhir et 92 mm au niveau de Tizi-Ouzou.
- Les précipitations les moins importantes s'observent en juin, juillet et août avec des valeurs variant entre 3,1 mm et 10,7 mm dans les trois stations.

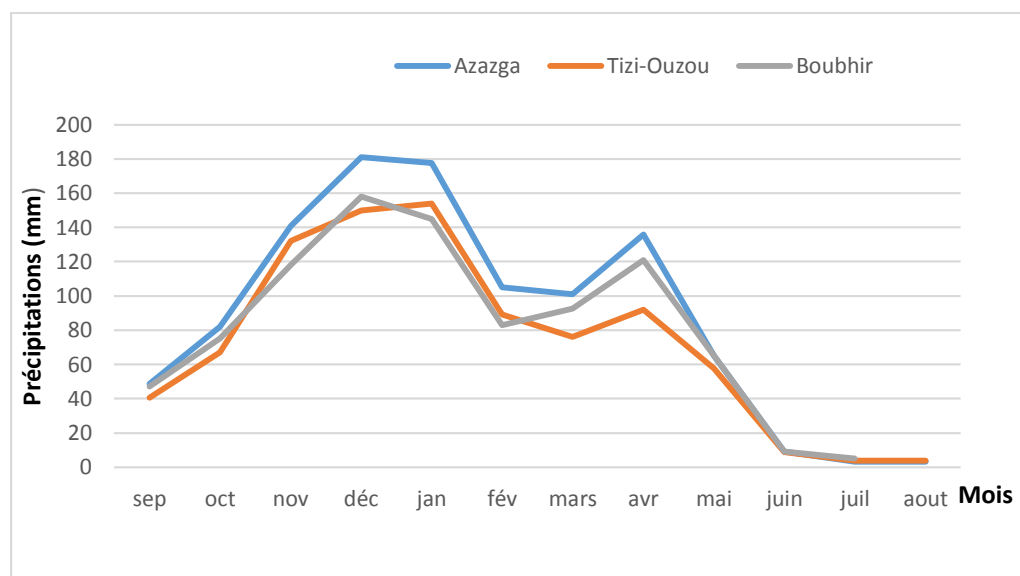


Figure 3 : Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (période 1995-2014).

3-2. La température de l'air

La température représente un facteur limitant de toute première importance. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionnent de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère (RAMADE, 2003).

Les valeurs mensuelles minimales, maximales et moyennes de la température de l'air, enregistrées dans la région de Tizi- Ouzou entre 2010 et 2021 (MAHFOUFI & SAIB, 2022) sont représentées dans l'annexe 2 et illustrées par la figure 4.

L'analyse des données dans la figure 4 montre que les températures moyennes mensuelles minimales les plus faibles sont enregistrées durant les mois de janvier et février avec 7 et 7,2 °C, les températures moyennes mensuelles maximales les plus élevées sont observées au mois de juillet avec 36,06 °C.

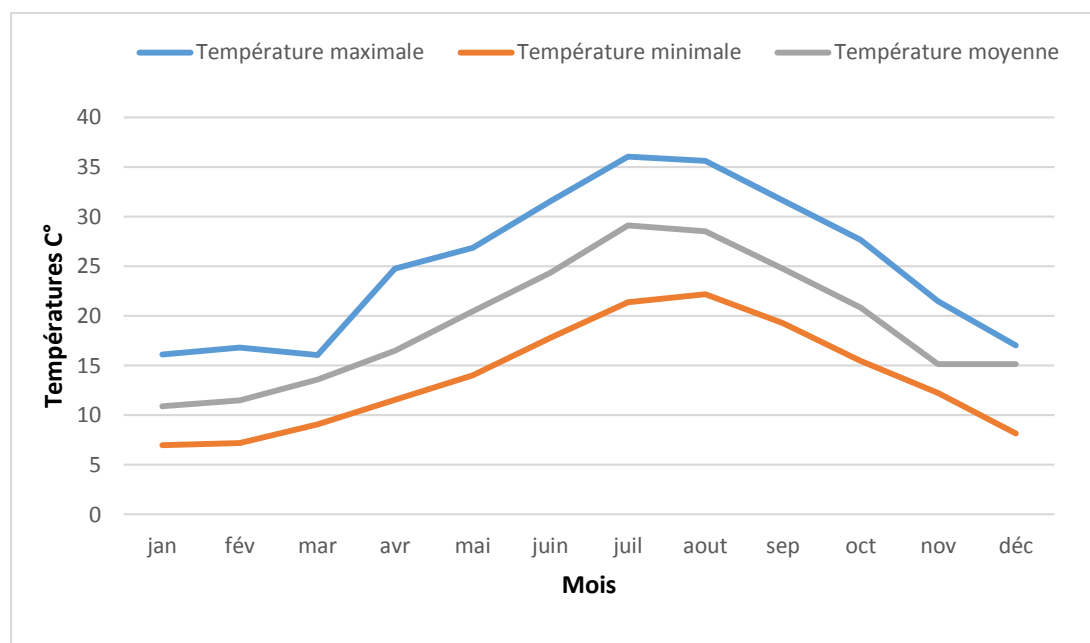


Figure 4 : Températures moyennes de l'air (°C) (maximales, minimales et moyennes) à Tizi-Ouzou (2010-2021).

4-Le couvert végétal

La végétation est un facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évapotranspiration et de la capacité de rétention du bassin (LAMINE, 2021). Elle joue un rôle de « régulateur » dans le régime d'écoulement.

Selon MESSAOUDEN et *al.* (2007), le couvert végétal est très dense en Kabylie, et varie en fonction de l'altitude et présente un étagement visible de type méditerranéen.

- **Dans les hautes altitudes (supérieure à 1100 m) :** une forêt mixte, des sommets couverts par des pelouses écorchées à xérophytes épineux (*Astragalus sarmatus*, *Bupleurum spinosum*) et rampants : ronces (*Rubus* sp.), genets (*Genistas* p.) ;
- **Entre 800 et 1100 m d'altitude :** la végétation est formée essentiellement de chêne vert (*Quercus rotundifolia*), Chêne-liège (*Quercus suber*), Chêne zen (*Quercus faginea*), cèdres (*Cedrus atlantica*) ;
- **En moyenne montagne (inférieure à 800 m) :** la végétation est représentée par le figuier (*Ficus carica*), l'Orme (*Ulmus campestris*) et surtout par l'olivier (*Olea europea*), olivier sauvage (*Oléastre*) ;

- **En plaines** : la végétation est représentée par des cultures fruitières : figuiers (*Ficus carica*), grenadier (*Punicagranatium*), la vigne et les cultures maraîchères.

Le long des cours d'eau, on rencontre une végétation bordante qui est constituée d'une strate herbacée et d'épineux (ronces et genets), une ripisylve est représentée par l'aulne glutineux (*Ulmus glutinosa*), le houx (*Ilex aquifolium*). Parmi les espèces caducifoliées figurent aussi l'érable, le merisier (*Cerasus avium*), on observe aussi le peuplier noir (*Populus nigra*) et le peuplier blanc (*Populus alba*) (LOUNACI, 2005).

Quant à la végétation aquatique, elle est représentée essentiellement par les mousses dans la partie amont et par les algues filamenteuses et macrophytes en aval.

5-Les perturbations anthropiques

La dégradation de notre environnement a des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques et sur les êtres vivants. Selon LOUNACI (2005), ces dégradations ont conduit à la fragmentation croissante des milieux, se traduisant par des modifications profondes et rapides des communautés d'organismes aquatiques avec une perte de diversité et / ou des déséquilibres démographiques.

Les activités humaines, qu'elles soient industrielles, agricoles ou domestiques, ont depuis plusieurs décennies anthropisé tous les milieux environnementaux, et notamment les milieux aquatiques, qui se trouvent être les réceptacles de nombreuses substances polluantes (LAMINE, 2021).

Dans la partie amont du réseau hydrographique étudié, les principales sources de pollution sont d'origine domestique où les agglomérations, causée par l'élevage et le pompage de l'eau pour l'irrigation.

Dans la partie aval, la pollution à plusieurs origines :

- **Origine urbaine** : les impacts de l'urbanisation ont été principalement associés à des sources de pollution directe ponctuelle, à cause des déversements des eaux usées traitées ou non modifiant les processus biogéochimiques (apport de matière organique,

de matière en suspension, de substances dangereuses...) dans les stations BH, Alf, HAL1 (photo1).

- **Origine agricole :** l'utilisation en excès d'engrais chimique, d'herbicides et d'insecticides induisent une dégradation de la qualité des eaux souterraines et de surfaces suite au lessivage des sols chargés en éléments eutrophisants tels que les nitrates et les phosphates.

De plus, le développement des surfaces irriguées, entraîne la multiplication des points de pompage d'eau. En période estivale, la baisse du débit cumulée à l'infiltration, l'évaporation et au pompage des eaux de surface entraînent la mise à sec de portions importantes des cours d'eau dans la station HAL2 (photo2).

- **Origine mécanique :** l'extraction de sable et de graviers dans le lit des cours d'eau déstabilise le fond du lit des oueds avec une modification de sa morphologie ainsi qu'une remise en suspension des éléments fins. Ce phénomène réduit les productions primaires et par conséquent contribue à l'altération des écosystèmes aquatiques.



Photo1 : Incinération de déchets (BH).



Photo2 : Pompage de l'eau (HAL1).

Ce chapitre constitue une description des cours d'eau étudiés, des sites d'échantillonnage avec un aperçu global du contexte environnemental et méthodes d'étude employées.

Démarche générale

Les cours d'eau peuvent être considérés comme des mosaïques de micro habitats caractérisés par des conditions environnementales différentes (TOWNSEND & HILDREW, 1994). Le but de ce travail est l'établissement des listes faunistiques d'invertébrés benthiques du réseau hydrographique de l'assif Hallil (s.s) et de l'oued Boubhir (s.s) et d'une part, de rechercher les relations entre les caractéristiques du milieu et sa faune.

1-Description des cours d'eau et des stations étudiés

Les prélèvements benthiques ont été réalisés le 6 mai 2023 sur la base d'un protocole établi après une étude bibliographique.

Parmi les stations prospectées, 8 ont été retenues en tenant compte de certains paramètres tels que : l'altitude, la pente, la nature du substrat, la présence ou non des perturbations, notamment anthropiques et dans une certaine mesure l'accessibilité aux stations.

Les 8 stations se répartissent comme suit :

3 stations sur assif Illilthen: AI1; AI2 ; AI3 ;

1 station sur assif Iferhounene : AIf ;

2 stations sur assif Hallil (s.s): HAL1 et HAL2;

1 station sur assif El-Khemis : KH ;

1 station sur l'oued Boubhir (s.s): BH.

Les stations sont indiquées par des carrés sur la figure 5. Pour chaque station nous indiquons :

- la localité la plus proche ;
- l'altitude ;
- la pente ;
- la largeur du lit ;
- la profondeur de la lame d'eau ;
- la vitesse du courant ;
- la température de l'eau ;
- la nature du substrat ;
- la végétation aquatique ;
- et l'action anthropique lorsqu'il y en a.

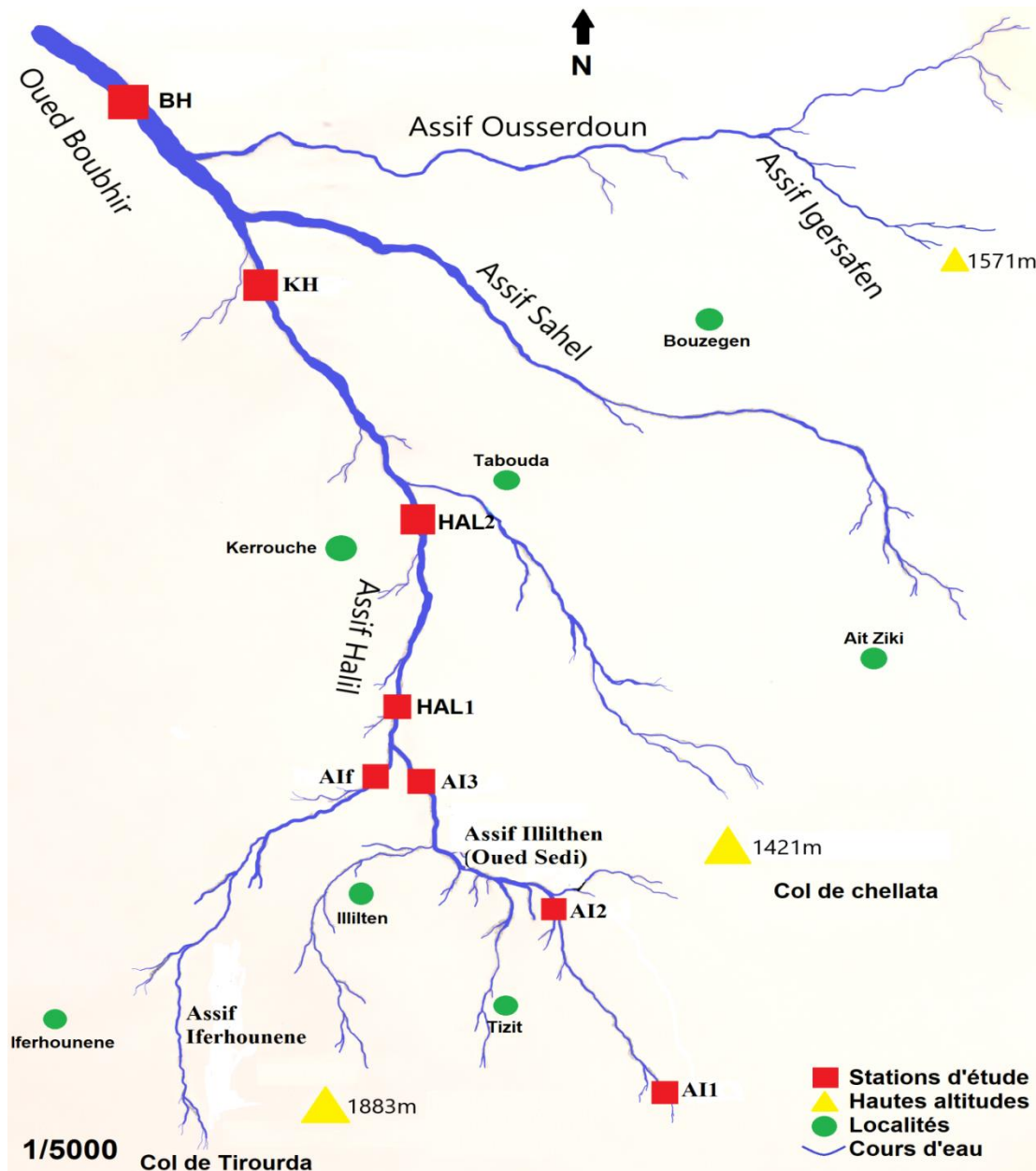


Figure5 : Réseau hydrographique et emplacement des stations étudiées.

1-1-Réseau hydrographique de l'assif Hallil et ses tributaires

1.1.1-Assif Illilthen

C'est un cours d'eau de montagne de dimension réduite, prend naissance à 1500m d'altitude à partir des sources et des ruisselets alimentés par les eaux de pluies et de fonte de neige du col de Tirourda. Doté d'une pente moyenne de l'ordre de 11%, il coule en orientation Sud-Nord sur une distance d'environ de 7 km entre 1300 et 500 m d'altitude avant de se jeter dans l'assif Hallil (s.s).

Trois stations sont retenues sur ce cours d'eau : AI1, AI2, AI3.

Station AI1 (photo3)

Située à 50m en aval de la source au lieu dit « Agni Guzal » au Sud-Est du village Tizit.

- Altitude : 1300m ;
- Pente : 25% ;
- Largeur de lit : 80cm ;
- Profondeur moyenne : 10cm ;
- Vitesse du courant : moyenne ;
- Substrat : blocs, gros galets, galets, sable et débris végétaux ;
- Température de l'eau : 8°C ;
- Recouvrement : 95% ;
- Végétation aquatique : mousses ;
- Végétation bordante : strates arborée, Arbustive et herbacée ;
- Action anthropique : captage d'eau modeste.



Station AI1 (photo3)

Station AI2 (photo 4)

Elle est située en aval du village Tizit.

- Altitude : 800m ;
- Pente : 15% ;
- Largeur de lit : 2m ;
- Profondeur moyenne : 20cm ;
- Vitesse du courant : moyenne ;
- Substrat : blocs, galets, gros galets, sable, débris végétaux ;
- Température de l'eau : 10°C ;
- Recouvrement : 90% ;
- Végétation aquatique : mousses ;
- Végétation bordante : strates arborée dominante, arbustive, herbacée ;
- Action anthropique : agriculture et captage d'eau modeste.

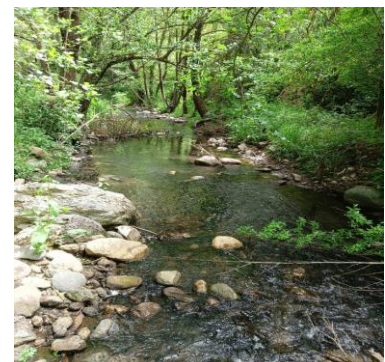


Station AI2 (photo4)

Station AI3 (photo5)

Située près du village de Taghzout à 200m avant confluence avec assif Iferhounene.

- Altitude : 500m ;
- Pente : 10% ;
- Largeur de lit : 3m ;
- Profondeur moyenne : 20cm ;



Station AI3 (photo5)

- Vitesse du courant : rapide ;
- Substrat : blocs, sable, limons, galets, débris végétaux, matière organique ;
- Température de l'eau : 12°C ;
- Recouvrement : 80% ;
- Végétation aquatique : algues et macrophytes ;
- Végétation bordante : strates arborée dominante, herbacée, arbustive;
- Action anthropique : rejets domestiques sur les rives, réseaux d'assainissements des villages Taghzout et Tifilkout.

1.1-2-Assif Iferhounene

Cours d'eau de montagne. Il prend naissance au col de Tirourda ou il collecte les écoulements de nombreux petits ruisseaux alimentés par les eaux de fonte de neige et de nombreuses sources. Doté d'une forte pente 16%, il cascade en orientation Sud-Nord sur un parcours d'environ 5 km entre 1700 et 900 m d'altitude.

Une seule station est retenue sur ce cours d'eau : AIf.

Station AIf (photo 6)

Elle est située en aval du village Bouidel à 150m avant confluence d'assif Iferhounene et assif Illilthen.

- Altitude : 520m ;
- Pente : 9% ;
- Largeur de lit : 3,5m ;
- Profondeur moyenne :20cm ;
- Vitesse du courant : moyenne ;
- Substrat : blocs, gros galets, galets dominants, sable, débris végétaux et matière organique ;
- Température de l'eau : 13°C ;
- Recouvrement : 80% ;
- Végétation aquatique : mousses, macrophytes ;
- Végétation bordante : strates arborée dominante, herbacée ;
- Action anthropique : déchets ménagers sur les rives et réseau d'assainissement des villages tels que Iferhounene, Tirourda, Bouidel.



Station AIf (photo 6)

1.1-3-Assif Hallil (s.s)

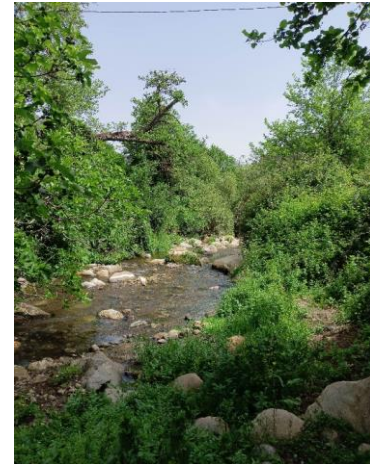
Cours d'eau de montagne qui prend naissance dans le col de Chellata. Il collecte les écoulements de petits ruisseaux alimentés par les eaux de pluie et de fonte des neiges.

Deux stations sont retenues sur ce cours d'eau : HAL1 et HAL2.

Station HAL1 (photo 7)

Elle est située à 600m en aval du point de confluence de l'assif Iferhounene et l'assif Illilthen au lieu dit village Ikhdachen.

- Altitude : 480m ;
- Pente : 7% ;
- Largeur de lit : 5m ;
- Profondeur moyenne : 25cm ;
- Vitesse du courant : rapide ;
- Substrat : hétérogène composé de gros galet, gravier, galet, matière organique ;
- Température de l'eau : 16°C ;
- Recouvrement : 40% ;
- Végétation aquatique : mousses et algues importantes ;
- Végétation bordante : strates arborée, herbacée et arbustive ;
- Action anthropique : réseau d'assainissement du village Ikhdachen et pompage de l'eau pour l'irrigation.

**Station HAL1 (photo7)****Station HAL2 (photo 8)**

Elle est localisée à 50m en amont du pont dit Kerrouche.

- Altitude : 380m ;
- Pente : 3% ;
- Largeur de lit : 6m ;
- Profondeur moyenne : 25cm ;
- Vitesse du courant : moyenne ;
- Substrat : gros galets, débris végétaux, sable, limons et matière organique ;
- Température de l'eau : 20°C ;
- Recouvrement : 60% ;
- Végétation aquatique : algues, mousses ;
- Végétation bordante : strates arborée et arbustive ;
- Action anthropique : pompage de l'eau pour l'irrigation, rejets avicoles en amont et réseau d'assainissement du village Kerrouche.

**Station HAL2 (photo8)****1.2-Assif El-Khemis**

Cours d'eau de montagne, il collecte l'ensemble des écoulements en provenance des cols de Chellata et Tirourda ainsi que de nombreuses sources. Il traverse une forêt formée de chêne vert et d'olivier. Il coule en orientation Sud-Nord sur une distance de 15 km avant de se jeter dans l'oued Boubhir (s.s).

1 station est retenue KH.

Station KH (photo9)

Elle est située en aval de point de confluence de l'assif Hallil (s.s) et assif El-Khemis au lieu dit pont El-Khemis.

- Altitude : 220m ;
- Pente : 2% ;
- Largeur du lit : 7m ;
- Profondeur moyenne : 30cm ;
- Vitesse du courant : rapide ;
- Substrat : hétérogène, blocs, gros galet, gravier
Sable, limons, matière organique ;
- Température de l'eau : 22°C ;
- Recouvrement : 20% ;
- Végétation aquatique : algues et macrophytes ;
- Végétation bordante : strates herbacée et arbustive
- Action anthropique : réseau d'assainissement des
Boubhir.



Station KH (photo 9)

1-3-Oued Boubhir (s.s)

Il prend naissance à 20 km au Sud-Ouest d'Azazga au point de confluence des assifs Ousserdoune, Sahel, El-Khemis et Hallil (s.s). Il coule en orientation Sud-Nord entre 250m et 180m d'altitude. Sa pente moyenne est de l'ordre de 1,5% et la largeur de son lit peut atteindre par endroits plus de 20m. Une station est retenue : BH.

Station BH (photo10)

Elle est située à 200 m en aval du point de confluence de assif Hallil (s.s), assif El-Khemis assif Sahel et assif Ousserdoun et à 100m en amont du pont de Boubhir.

- Altitude : 200m ;
- Pente : 1% ;
- Largeur du lit : 9 m ;
- Profondeur moyenne : 40 cm ;
- Vitesse du courant : rapide ;
- Substrat : hétérogène, bloc, gravier, galet, sable, limons
et matière organique ;
- Température de l'eau : 25°C ;
- Végétation aquatiques : forte présence d'algues
filamenteuses ;
- Végétation bordante : strates herbacée et arborescente ;
- Action anthropique : incinération de déchets sur les rives
et pompage de l'eau pour l'irrigation, pâturage.



Station BH(photo10)

2-Les caractéristiques physiques des stations

2.1-La pente

La pente est un paramètre écologique primordial dans les études hydrobiologiques qui dépend de l'altitude. Elle joue un rôle important sur la vitesse du courant, la taille des éléments du substrat ainsi que dans la distribution de la faune benthique.

Le tableau 1 illustre les altitudes et les pentes aux stations étudiées.

Tableau1 : altitudes et pentes des stations d'étude

Stations	AI1	AI2	AI3	AIf	HAL1	HAL2	KH	BH
Altitudes(m)	1300	800	520	500	480	380	220	200
Pentes (%)	25	15	10	9	7	3	2	1

Le tableau 1 met en évidence trois catégories de secteurs en fonction de la pente :

- Le secteur le plus pentu correspond aux stations d'altitude AI1 et AI2 (1300m et 800m) avec des pentes respectives de 25% et 15%.
- Le secteur des stations de moyenne montagne (AI3, AIf et HAL1), la pente est comprise entre 7 et 10%.
- Le secteur des stations de piémont (HAL2) et de basse altitude (KH et BH), la pente ne dépasse pas 3%. On assiste à une rupture de pente et l'élargissement du cours d'eau avec l'eau qui coule sur un lit relativement plat.

2.2- Le débit

Le débit est le volume d'eau en mouvement auquel peut être rattaché une quantité de matière transportée organique ou minérale, inerte ou vivante, endogène ou exogène (LAVANDIER, 1979). Il dépend de l'altitude, de la nature des terrains traversés, des précipitations et de la présence de neige en amont.

D'après LOUNACI (2005), le régime hydrologique des cours d'eau de montagne et pluvionival de décembre à mi-avril et pluvial de mi-avril au début juin. La vitesse de transport des substances solides et dissoutes est augmentée par les fortes pluies qui sont à l'origine des crues, ainsi beaucoup d'organismes sont emportés et la composition chimique des eaux se trouve alors modifiée.

2.3- L'écoulement et la vitesse du courant

L'écoulement est l'un des facteurs essentiels qui agit sur les peuplements aquatiques. La vitesse de courant est un facteur écologique essentiel qui conditionne les possibilités d'existence des organismes en fonction de leurs limites de tolérance, comportement, leurs distributions et de métabolisme des communautés (HYNES, 1970 ; MINSHALL, 1984).

Dans ce travail, en raison des difficultés de la mesure de la vitesse du courant, elle est quantifiée par sa valeur moyenne au niveau de chaque station. Ce paramètre est mesuré en lâchant un flotteur en dérive sur une distance connue et le temps pris est donné par un chronomètre.

Les vitesses relevées dans les huit 8 stations sont consignées dans le tableau 2 et sont classées selon l'échelle de Berg (1948) :

- Vitesse très lente : inférieure à 10cm/s ;
- Vitesse lente : 10 à 25 cm/s ;
- Vitesse moyenne : 25 à 50cm/s ;
- Vitesse rapide : 50 à 100cm/s ;
- Vitesse très rapide : supérieure à 100cm/s.

Tableau2 : Largeur du lit et vitesse du courant mesurées aux stations d'étude.

Stations	AI1	AI2	AI3	Aif	HAL1	HAL2	KH7	BH
Largeur du lit (m)	0.8	2	3	3,5	5	6	7	9
Vitesse du courant (cm/s)	33,33	26,66	74,37	47	95,48	27,72	74,29	55,25
Vitesses selon la classification de Berg	moyenne	moyenne	rapide	moyenne	rapide	Moyenne	rapide	rapide

La lecture du tableau 2 montre que les stations AI1, AI2, Aif et HAL2 présentent une vitesse de courant qualifiée de moyenne.

Les stations AI3, HAL1, KH et BH quant à elles enregistrent une vitesse de courant plus élevée qui est qualifiée de rapide.

2.4-Le substrat

Selon BOURNAUD (1983), le substrat représente un facteur important qui influence considérablement la microdistribution des communautés des macroinvertébrés benthiques. En effet, cette composante constitue le support vital des invertébrés benthiques auquel il est intimement associé pendant une partie de leur vie.

Le substrat est composé principalement de galets, de gravier, de sable, de limons et matière organique. Les mousses et les végétaux sont des supports très favorables car ils servent également de nourriture et d'abris.

On distingue deux grands types de substrat :

a-substrat minéral : plusieurs catégories de tailles sont distinguées selon le diamètre moyen des éléments fins qui les composent : galets, graviers, sable et limons. L'importance relative de chaque catégorie est estimée par un pourcentage de recouvrement des surfaces en eau.

b-substrat végétal : selon DAKKI (1987), ce type du substrat peut jouer à la fois comme support inerte et comme ressource trophique.

Chaque catégorie de substrat est estimée par un pourcentage de recouvrement des surfaces en eau, estimée par observation directe à l'échelle des stations étudiées (tableau 3).

Tableau 3: Nature du substrat dans les stations étudiées.

Paramètre /stations	AI1	AI2	AI3	AI3	HAL1	HAL2	KH	BH
Altitude	1300	800	520	500	480	380	220	200
Gros galet- gravier (%)	85	80	55	65	55	50	30	30
Sable-limons (%)	15	20	20	25	30	40	50	50
Matière organique (%)	0	0	25	10	15	10	20	20
Végétation aquatique (%)	5	5	10	20	30	15	15	20

Au niveau des stations d'altitude le substrat est à dominance de gros galets et de graviers avec absence de matière organique. Dans les stations de moyenne montagne, piémont et de basse altitude, il est plutôt très hétérogène. Il est constitué de galets de sable, de limons et de matière organique.

Le substrat végétal quant à lui, est composé essentiellement de mousses en amont et à dominance d'algues et de macrophytes en aval.

2.5- La température de l'eau

La mesure de la température de l'eau est très utile pour les études limnologiques car elle joue un rôle dans la solubilité des gaz, notamment l'oxygène, la détermination du pH et la dissociation des sels (RODIER, 1996). Elle conditionne les possibilités de développement et la durée du cycle biologique des êtres vivants ainsi que la composition faunistique d'un cours d'eau (LAVANDIER, 1979 ; THOMAS, 1981 ; ANGELIER *et al.*, 1985).

Dans ce travail, et devant l'impossibilité de réaliser des mesures journalières de la température, nous nous sommes contentés de réaliser des relevés ponctuels dans les stations étudiées lors de l'échantillonnage à l'aide d'un thermomètre à mercure (tableau 4).

Tableau4 : Températures ponctuelles de l'eau aux différentes stations étudiées.

Stations	AI1	AI2	AI3	AI4	HAL1	HAL2	KH	BH
Altitudes (m)	1300	800	520	500	480	380	220	200
Températures de l'eau (°C)	8	10	12	13	16	20	22	25
Recouvrement (%)	90	90	90	80	40	60	20	0

La température de l'eau varie entre un minimum de 8°C et un maximum de 25°C, elle augmente d'amont en aval (figure 6).

- **Le groupe 1** : renferme les stations des ruisseaux et des torrents de montagne, pour lesquelles la température de l'eau n'excède pas 13°C. Ce sont les stations des cours d'eau alimentés par les sources et les fontes des neiges. L'importance du recouvrement dans ces stations contribue à maintenir une température de l'eau assez basse.
- **Le groupe 2** : renferme les stations de piémont et de basse altitude dont la température de l'eau est comprise entre 16°C et 25°C. Cette élévation de la température de l'eau est due au réchauffement des eaux sous l'influence de

l'insolation et à la réduction ou l'absence d'ombrage le long des cours d'eau.

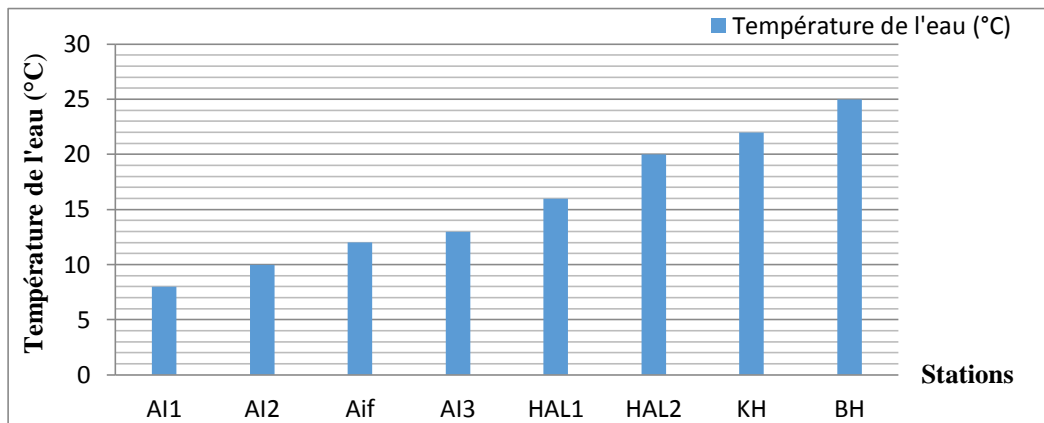


Figure 6 : Températures ponctuelles de l'eau relevées dans les stations étudiées.

3-Matériels et méthodes d'échantillonnages

3.1. L'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à rassembler la plus grande diversité faunistique représentative du milieu à étudier pour obtenir un bilan le plus complet possible des taxons présents dans le cours d'eau (HAOUCHINE, 2011).

La procédure consiste à placer le filet Surber en position verticale contre le substrat tout en maintenant l'ouverture du filet dirigé vers le sens contraire du courant. A l'aide des mains le substrat est remué et les pierres soulevées de telle sorte que, sous l'effet du courant la faune interstitielle sera récupérée dans le filet.

3-2- Conservation des échantillons

Les échantillons récoltés sont transférés dans des sachets en matière plastique, puis fixés à l'aide d'une solution de formol à 5 % sur le lieu même de prélèvement. La date, le numéro, et les caractéristiques de la station sont notés à chaque prélèvement.

3-3 Tri et détermination

Cette opération consiste à extraire la faune du substrat contenu dans l'échantillon. Elle se fait au laboratoire, où les échantillons sont rincés sur une série de tamis de mailles de tailles décroissante (5 à 0,2) afin d'éliminer au maximum le substrat fin restant et les éléments grossiers (grossiers, plantes, feuilles...). Le contenu des tamis est ensuite versé dans une bassine puis transvasé dans des béchers de 250ml.

Un pré-tri et une identification de la faune est faite sous la loupe binoculaire. Les organismes sont manipulés à l'aide des pinces fines dans des boîtes de pétri à fond quadrillé.

La faune de macroinvertébrés récoltés est identifiée jusqu'à l'espèce à l'aide des clés d'identification disponibles : RICHOUX (1980), TACHET *et al.* (1980 ; 2000).

4-Indices écologiques de composition et de structure

4.1-La Richesse spécifique

La richesse taxonomique ou spécifique correspond au nombre total d'espèces (taxons) présent dans chaque prélèvement (RAMADE, 2003).

n= nombre d'espèces dans la zone d'étude.

4.2- Abondance relative des espèces

L'abondance représente le nombre d'individus du taxon (i) présent par unité de surface ou de volume (RAMADE, 2003). C'est un paramètre important pour la description d'un peuplement, variable aussi bien dans l'espèce que dans le temps.

$$P_i = n_i / N$$

P_i : La probabilité de rencontre de l'espèce de rang (i).

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

N : Nombre total d'individus.

En fonction de P_i (%) les espèces ont été qualifiées comme suite :

- 0% ≤ P_i < 20% : espèce rare.
- 20% ≤ P_i < 40% : espèce rare dispersée.
- 40% ≤ P_i < 60% : espèce peu abondante.
- 60% ≤ P_i ≤ 80% : espèce abondante.
- P_i > 80% : espèce très abondante.

4.3-Indice de diversité de Shannon

L'indice de Shannon est le plus utilisé, il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon et prend en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative de chaque espèce. Cet indice a pour unité « Bit » et est calculé à partir de la formule suivante :

$$H' = -\sum (n_i / N) \log_2(n_i / N)$$

Avec P_i = n_i/N.

n_i : nombre d'individus de l'espèce de rang (i).

N : nombre total d'individus.

H' est d'autant plus petit (proche de 0) que le nombre d'espèces est faible ou quelques espèces dominantes, il est d'autant plus grand que le nombre d'espèces est élevé et réparti équitablement. Autrement dit, la diversité est minimale quand H' tend vers zéro (0), et est maximale quand H' tend vers 5.

4.4- Equitabilité (PIELOU, 1969)

L'indice d'équitabilité a été mis au point pour rendre compte de l'abondance relative de chaque taxon. Cet indice est dérivé de celui de Shannon.

On peut calculer l'équitabilité à partir de l'équirépartition ou diversité maximale (H' max), laquelle correspond au cas où toutes les espèces seraient représentées par le même nombre d'individus. Dans ce cas :

$$E = H' / H' \text{ max} = H' \log_2 S$$

H' : Indice de Shannon.

S : Richesse spécifique.

Log₂ : Logarithme a base 2.

Log₂ X = $\text{Log } X / \text{Log } 2$ avec $\text{Log } 2 = 0.30$.

L'équitabilité varie entre 0 et 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce, et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par un nombre d'individus.

5-Traitement statistique des données

Les facteurs environnementaux tels que la nature du substrat, la vitesse du courant, le recouvrement et le pH régissent sur la répartition et la distribution spéciale de la faune benthique.

5-1-Corrélation de Pearson

Le test de Pearson calcule et élabore des matrices de coefficients de corrélation 'r', ainsi que des covariances pour toutes les paires de variables d'une liste (option de matrice carré) ou pour chaque paire de variables formée en prenant une variable de chacune de deux listes de variables (option matrice rectangulaire). Le coefficient de corrélation de Pearson indique le degré de relation linéaire entre deux séries de données (HELD, 2010), il peut prendre les valeurs « - 1 » à « + 1 » :

- Une valeur de + 1 montre que les variables sont parfaitement linéaires liées par une relation de plus en plus croissante.
- Une valeur de - 1 montre que les variables sont parfaitement linéaires liées par une relation décroissante.
- Une valeur de 0 montre que les variables ne sont pas linéaires entre elles.

5-2- L'analyse en composantes principales (ACP)

C'est un outil statistique qui répond à la problématique complexe des relations entre les caractéristiques mésologiques et la structure du peuplement. L'analyse factorielle en composantes principales (ACP) permet de rendre compte de l'hétérogénéité des variables environnementales.

5-3- Logiciel de calcul

Le logiciel « XLSTATS 2023 » a permis de réaliser et de donner les représentations graphiques des analyses multivariées.

6-Evaluation biologique de la qualité de l'eau

6-1- La méthode de BMWP'

L'évaluation de la qualité biologique des eaux courantes peut être effectuée par plusieurs méthodes d'approche (biochimique, toxicologique, biocénotique...).

Les diagnostics réalisées par les méthodes biologiques sont fondées sur le suivi de la qualité hydrobiologique. Cette dernière, est définie comme la surveillance d'un écosystème aquatique en utilisant la réponse des organismes vivants et leurs exigences particulières par rapport aux différents facteurs du milieu afin de déterminer l'équilibre ou le déséquilibre de cet environnement.

Les organismes utilisés sont appelés indicateurs biologiques ou bio-indicateurs. BLANDIN (1986) in GENIN et *al.* (2003), définit l'indicateur biologique comme « une population ou un ensemble de population, qui par ses caractéristiques qualitatives ou quantitatives, témoigne de l'état d'un système écologique, qui par des variations de ses caractéristiques, permet de détecter d'éventuelles modifications du milieu ».

6-1-1- Domaines d'application du BMWP'

BMWP' est une nouvelle approche originale (BMWP). Ces modifications ont inclus l'addition de nouvelles familles (ALBA-TERCEDOR, 2000).

Le BMWP' permet d'évaluer la qualité générale d'un cours d'eau à partir d'un système de score de la famille de macro-invertébrés benthiques. Il ne prend pas en compte le nombre

des individus récoltés ni la variabilité taxonomique. Il fournit des valeurs uniques au niveau de la famille représentative de la tolérance de l'organisme à la pollution. Plus leur tolérance à la pollution est grande, plus le score BMWP' est bas.

Selon HAFIANE *et al.* (2013), les meilleurs résultats du B.M.W.P' suggèrent la nécessité d'utiliser plus fréquemment cet indice dans les études d'évaluation biologique de la qualité des eaux courantes profondes.

6-1-2- Calcul de BMWP'

Pour le BMWP', les familles des macro-invertébrés sont classées en 10 groupes suivant un gradient de tolérance vis-à-vis de la contamination de l'eau (ARMITAGE *et al.*, 1983), ainsi on attribue à chaque famille un nombre de points qui est ≤ 10 suivant son degré de polluosensibilité. Cette ponctualité va nous permettre de comparer le degré de pollution dans les différentes stations d'échantillonnage.

Après identification des macro-invertébrés benthiques jusqu'au niveau famille, on dresse la liste des groupes zoologiques existant dans la station. En cherchant la ponctuation attribuée aux différentes familles, nous allons pouvoir trouver la valeur de BMWP' et ceci en faisant la somme des points correspondant à chacune d'entre elles. Cette valeur va correspondre à une classe de qualité que l'on cherche (annexes 3 et 4).

La définition des classes de qualité est la suivante :

- Classe I (couleur bleu) : qualité excellente (absence de pollution) ;
- Classe II (couleur vert) : qualité bonne (pollution modéré) ;
- Classe III (couleur jaune) : qualité moyenne (pollution nette) ;
- Classe IV (couleur orange) : qualité médiocre (pollution importante) ;
- Classe V (couleur rouge) : qualité mauvaise (pollution excessive).

6-2-Autres métriques

6-2-1-Indice EPT

C'est le nombre total des familles de trois ordres Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (sauf Hydropsychidae) qui définit une richesse d'organismes benthiques considérée comme sensibles à une dégradation de la qualité d'habitats, la valeur de celle-ci augmente quand la qualité de l'eau et de l'habitat s'améliore (LENAT, 1988 ; PLAFKIN *et al.*, 1989).

Néanmoins, cet indice peut prêter à confusion car les macroinvertébrés sont sensibles au stress, aussi bien naturel qu'anthropique. Les différentes classes de qualité de l'eau en fonction de la richesse en nombre de famille EPT sont consignées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Relation richesse EPT et qualité de l'eau.

Richesse en nombre de familles EPT	Qualité de l'eau
>7	Non altérée
4-7	Faiblement altérée
1-3	Modérément altérée
0	Sévèrement altérée

Les cours d'eau de très bonne qualité biologique hébergent souvent une grande richesse des taxons EPT. Plusieurs espèces d'insectes aquatiques sont intolérantes à la pollution et donc ne se retrouvent pas dans les eaux polluées. La richesse EPT est largement utilisée pour évaluer les impacts anthropogéniques sur les écosystèmes aquatiques ; elle mesure la richesse des organismes sensibles à la pollution (PLAFKIN *et al.*, 1989).

6.2.2 Ratio EPT

Cet indice permet d'estimer la qualité d'habitat et de l'eau par l'importance relative (abondance des trois ordres majeures d'insectes aquatiques) ayant une faible tolérance à la pollution, et il est donné comme suit :

Ratio EPT = nombre d'individus EPT / nombre d'individus total.

(PLAFKIN *et al.*, 1989) distinguent trois classes d'abondance des taxons EPT :

- **% EPT ≥ 50%** : (bonnes conditions écologiques).
- **% EPT = 49.9-25%** : (conditions moyennes).
- **%EPT < 25%** : (mauvaises conditions).

6.2-3 Ratio EPT/ Chironomidae

Ce ratio réfère à une proportion du nombre de taxons sensibles (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères) sur le nombre de Chironomidae (tolérants).

Ainsi, le ratio EPT/Chironomidae évalue la balance de la communauté étant donné que les EPT sont plus sensibles alors que les Chironomidae sont plus tolérants aux stress environnementaux (PLAFKIN *et al.*, 1989). Deux classes sont distinguées :

- **Ratio EPT/ Chironomidae < 1** : la communauté est déséquilibrée, (le nombre de Chironomidae est supérieur à celui des EPT, ce qui indique un stress environnemental, étant donné que les Chironomidae ont tendance à augmenter en densité relative et dominer la communauté lorsqu'il y'a une forte pollution de métaux lourds et/ou matière organiques).

- **Ratio EPT/ Chironomidae > 1** : communauté équilibrée, (nombre des Chironomidae est inférieur à EPT, niveau bas de polluants ainsi que de matières organiques, et la concentration de l'oxygène dissous est élevée).

1. Analyse globale de la faune benthique

Les macroinvertébrés vivent habituellement à la surface ou dans les premiers centimètres des sédiments (TACHET et *al.*, 1980). Ils se répartissent d'une façon hétérogène. Leur distribution dépend des conditions environnementales (nature du substrat, vitesse du courant, couverture végétale).

La présente étude faunistique a permis de recenser dans le benthos un total de 11630 individus répartis en 16 groupes zoologiques, 57 familles et 66 genres (tableau 6). Sur les 66 taxa d'invertébrés benthiques inventoriés, 50 taxa (soit 75,75 %) sont des insectes et 16 taxa (soit 24,24 %) appartiennent aux autres classes ou embranchement: Achètes, Turbellariés, Oligochètes, Mollusques, Crustacés, Hyménoptères, Collembolles, Arachnides et Hydracariens.

Le groupe le mieux diversifié est celui des Diptères (12 familles) suivis par les Coléoptères (8 familles, 13 genres), les Trichoptères (7 familles, 9 genres), les Mollusques (6 familles, 6 genres) et les Hétéroptères (5 familles, 5 genres), les Plécoptères et les Ephéméroptères (3 familles, 4 genres chacune), les Odonates et les Oligochètes (3 familles, 3 genres chacune).

Enfin, les Crustacés, Collembolles, Hydracariens, Hyménoptères, Achètes, et Turbellariés sont représentés avec une 1 famille chacun.

Tableau 6: Nombre de familles et de genres par groupe zoologique dans les stations étudiées.

Groupe zoologique	Nombre de famille	Nombre de genre
Diptères	12	12
Coléoptères	8	13
Trichoptères	7	9
Mollusques	6	6
Hétéroptères	5	5
Ephéméroptères	3	4
Plécoptères	3	4
Odonates	3	3
Oligochètes	3	3
Achètes	1	1
Crustacés	1	1
Turbellarier	1	1
Collembolles	1	1
Hydracariens	1	1
Arachnides	1	1
Hyménoptères	1	1
Total	57	66

Nos résultats faunistiques sont relativement supérieurs à ceux obtenus par MOKRAOUI & MOKRANI (2022) au niveau des 7 stations d'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) échelonnées entre 200m et 1200m d'altitude avec 16172 individus appartenant à 14 groupes zoologiques, 47 familles et 57 genres.

Sur le plan numérique (figure7), les Diptères dominent largement le peuplement benthique avec 6472 individus (soit, 55,64%). En deuxième position se placent les Epheméroptères avec 2625 individus (25,57%), pris les Trichoptères qui totalisent 1177 individus (10,12%). Ils sont abondants dans toutes les stations et totalisent 88,33% de la faune récoltée (figure 7).

Les Oligochètes, les Mollusques, les Hydracariens, les Plécoptères, Coléoptères et les Achètes sont faiblement représentés, ils constituent respectivement 2,77% (soit 322 individus) ; 1,80% (soit 209 individus) ; 2,47% (soit 287 individus) ; 0,93% (soit 108 individus) 0,93 % (soit 108 individus) et 0,94(soit 109 individus) du benthos.

Les Odonates, les Hétéroptères, les Crustacées, les Hyménoptères, les Arachnides, les Collemboles et Turbellariés sont rares dans nos récoltes.

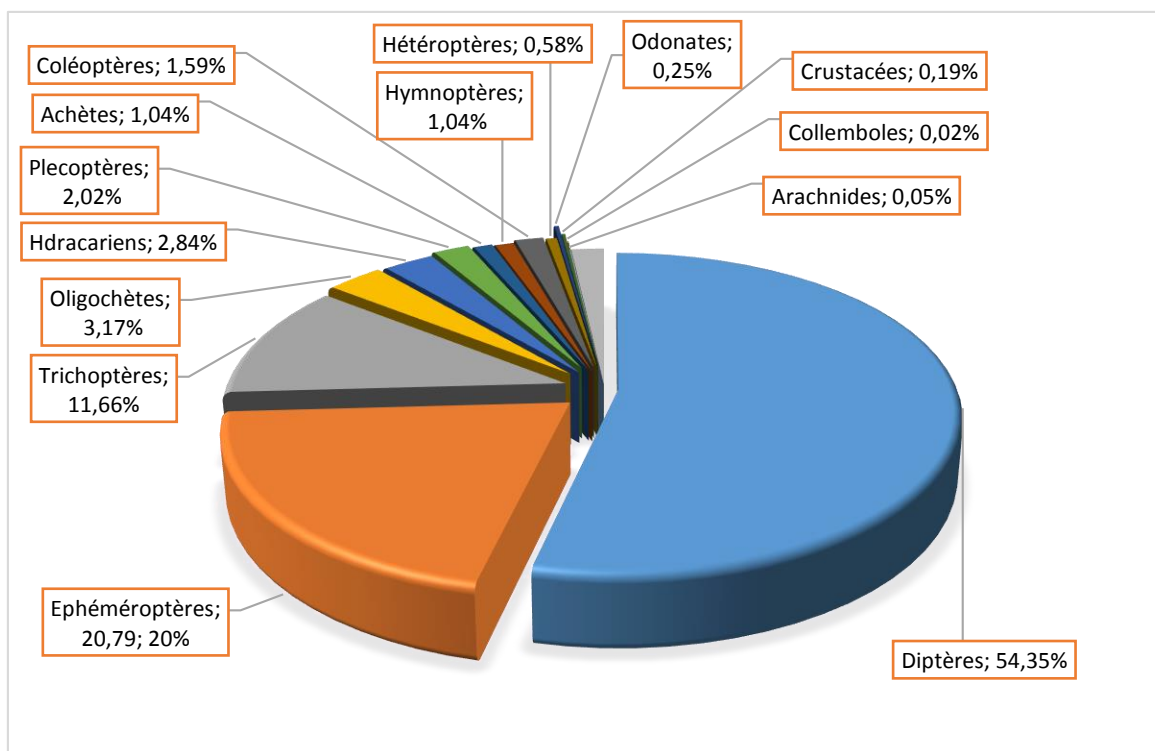


Figure 7 : Répartition globale de la faune benthique dans les stations d'étude.

Tableau 7 : Répartition de faune benthique dans les stations étudiées.

Groupe faunistique	code	AI1	AI2	AI3	AIf	HAL1	HAL2	KH	BH	Ab	AbR(%)	Occ	OccR(%)
Altitude		1300	800	500	520	480	380	220	200				
Oligochètes													
Naididae	Nai	3		80	70	16	26	64	50	309	2,65	7	87,5
Tubificidae	Tub				3					3	0,03	1	12,5
Lumbricidae	Lum			4	3			3		10	0,09	3	37,5
Total		3		84	76	16	26	67	50	322	2,77		
Mollusques													
Ancylidae <i>Ancylus</i>	Anc				5	13		47	123	188	1,61	4	50
Planorbidae <i>Planorbis</i>	Pla							3		3	0,03	1	12,5
Hydrobiidae <i>Lithoglyphus</i>	Lith	3		3				3		9	0,08	3	37,5
Corbiculidae <i>Corbicula</i>	Cor	3								3	0,03	1	12,5
Viviparidae <i>Viviparus</i>	Viv		3							3	0,03	1	12,5
Valvatidae <i>Valvata</i>	Val	3								3	0,03	1	12,5
Total		9	3	3	5	13		53	123	209	1,80		
Crustacés													
Potamonidae <i>Potamon</i>	Pot	3	3	3	3	3	3			18	0,15	6	75
Ephéméroptères													
Baetidae													
<i>Baetis</i>	Bae	4	35	485	60	85	21	114	265	1069	9,19	8	100
<i>Acentrella</i>	Ace	3	7	6	16	53		7	35	127	1,09	7	87,5
<i>Caenidae Caenis</i>	Caen		6	85	110	91	696	141	33	1162	9,99	7	87,5
<i>Heptageniidae Ecdyonurus</i>	Ecd						5	262		267	2,29	2	25
Total		7	48	576	186	229	722	524	333	2625	22,57		
Plécoptères													
Nemouridae													
<i>Protonemura</i>	Pro		52							52	0,45	1	12,5
<i>Nemoura</i>	Nem		3							3	0,03	1	12,5
<i>Perlidae Perla</i>	Per		50							50	0,43	1	12,5
<i>Capnidae Capnopsis</i>	Cap		3							3	0,03	1	12,5
Total			108							108	0,93		
Odonates													
<i>Colopterygidae Colopteryx</i>	Col		3	3	3	3				12	0,1	4	50
<i>Gomphidae Gomphus</i>	Gom		3		3			9	4	19	0,16	4	50
<i>Aeshnidae Anaciaeschna</i>	Ana			3		3				6	0,05	2	25
Total			6	6	6	6		9	4	37	0,31	5	62,5
Hétéroptères													
<i>Mesoveliidae Mesovelia</i>	Mes			3					3	6	0,05	2	25
<i>Veliidae Velia</i>	Vel		3	3			5	4		15	0,13	4	50
<i>Gerridae Gerris</i>	Ger				33			3		36	0,31	2	25
<i>Notonectidae Notonecta</i>	Not								3	3	0,03	1	12,5
<i>Hebridae Hebrus</i>	Heb		3							3	0,03	1	12,5
Total			6	6	33		5	7	6	63	0,54		
Coléoptères													
Dytiscidae													
<i>Dytiscus</i>	Dyt							4	25	29	0,25	2	25
<i>Laccophilus</i>	Loc								6	6	0,05	1	12,5
<i>Nebrioporus</i>	Neb								6	6	0,05	1	12,5
<i>Gyrinidae Gyrimus</i>	Gyr		3							3	0,03	1	12,5

Groupe faunistique	code	AI1	AI2	AI3	AIf	HAL1	HAL2	KH	BH	Ab	AbR(%)	oc	OcR (%)
Altitude		1300	800	500	520	480	380	220	200				
Elmidae													
<i>Normandia</i>	Nor	3				3				6	0,05	2	25
<i>Riolus</i>	Rio	3			3	3	3			12	0,1	4	50
Hydraenidae													
<i>Hydraena</i>	Hyd	3	3			4	3		3	16	0,14	5	62,5
<i>Limnebius</i>	Lim		3							3	0,03	1	12,5
<i>Helodidae Cyphon</i>	Cyp		3							3	0,03	1	12,5
<i>Staphylinidae Staphylinus</i>	Sta		3			3	3	3		12	0,1	4	50
Hydrophilidae													
<i>Hydrobius</i>	Hyd				3					3	0,03	1	12,5
<i>Berosus</i>	Ber	3			3					6	0,05	2	25
<i>Hydrochidae Hydrochus</i>	Hyd				3					3	0,03	1	12,5
Total		12	12	12	12	16	9	7	40	108	0,93		
Trichoptères													
<i>Rhyacophilidae Rhyacophila</i>	Rhy	3	3	31	13	7	9	6	3	75	0,64	8	100
Hydroptilidae													
<i>Stactobia</i>	Sta			3						3	0,03	2	12,5
<i>Allotrichia</i>	Alo		3	5	19					27	0,23	3	37,5
<i>Hydroptila</i>	Hyd	3	44					16	359	422	3,63	4	25
<i>Goeridae Sillonela</i>	Sil		11							11	0,03	1	12,5
<i>Philopotamidae Wormaldia</i>	Wor		3							3	0,03	1	12,5
<i>Brachycentridae Micrasema</i>	Mic	3	3							6	0,05	2	25
<i>Polycentropodidae Polycentropus</i>	Pol		3							3	0,03	1	12,5
<i>Hydropsychidae Hydropsyshe</i>	Hyd		84	3	46		59	55	380	627	5,39	6	75
Total		9	154	42	78	7	68	77	742	1177	10,12		
Diptères													
<i>Simuliidae</i>	Sim		16	774	619	3240	87	48	478	5262	45,24	7	87,5
<i>Chironomidae</i>	Chir	36	20	94	285	332	63	64	160	1054	9,06	8	100
<i>Psychodidae</i>	Psy		6							6	0,05	2	25
<i>Stratiomyidae</i>	Str		5							5	0,04	2	25
<i>Limoniidae</i>	Lim	3	10	3		3	3	3	3	28	0,24	7	87,5
<i>Tipulidae</i>	Tip		4				3	3	3	13	0,11	4	50
<i>Dixidae</i>	Dix	3	5							8	0,07	2	25
<i>Tabanidae</i>	Tob		3			3	4		3	13	0,11	4	50
<i>Ceratopogonidae</i>	Cer	3	4	14	3		15	12		51	0,45	6	75
<i>Culicidae</i>	Cul				4					4	0,03	1	12,5
<i>Anthomyidae</i>	Anth								25	25	0,21	1	12,5
<i>Empididae</i>	Emp								3	3	0,03	1	12,5
Total		45	73	885	911	3578	175	130	675	6472	55,64		
Achetes													
<i>Glossiphonidae Helobdella</i>	Hel				75	3	27			105	0,9	3	37,5
Turbellaries													
<i>Dugesidae Dugesia</i>	Dug							4		4	0,03	1	12,5
Total					75	3	27	4		109	0,94		
Arachnides	Ara	3				3				6	0,05	2	25
Hydracariens	Hyd	4		85	6	10	21	60	101	287	2,47	7	87,5
Hyménoptères	Hym	18	3	16	8	16	10	7	4	83	0,71	8	100
Collemboles	Col			3			3			6	0,05	2	25
Totaux		113	416	1709	1400	3900	1069	945	2078	11630			
Richesse taxonomique		21	34	22	25	21	21	25	24				

Ab : Abondance des taxons / **Ab R** : Abondance relative (%) / **Occ** : Occurrence **Occ R** : Occurrence relative (%)

1.1. Abondance stationnelle

L'abondance des macroinvertébrés varie d'une station à une autre, elle fluctue entre un minimum de 113 individus pour la station AI1 à 1300 m d'altitude (soit 10,90%) et un maximum de 3900 individus pour la station HAL1 à 480 m d'altitude (soit 40,91%) (figure8).

La station HAL1 qui dénote l'abondance la plus élevée est majoritairement représentée par les Diptères qui totalisent à eux seuls 3578 individus, soit 90,74% du peuplement stationnel dont 90,55% sont des Simuliidae.

Les stations AI3 (alt. 520m), Aif (alt. 500m), HAL2 (alt. 380m) et BH (alt. 200m) présentent des abondances élevées comprises entre 1069 individus et 2078 individus. Ces stations sont affectées par différentes formes de pollution d'où la prolifération des Diptères Simuliidae et Chironomidae.

Pour les autres stations, l'abondance stationnelle varie entre 416 individus (AI2) et 945 individus (BH). Cette dernière est essentiellement représentée par les Trichoptères Hydropsychidae et Hydroptilidae (35%), les Diptères (32,48%) et les Ephéméroptères (16%). La plupart des taxons peuplant cette station sont thermophiles, potamophiles et pollu-resistants (*Hydropsyche*, Simuliidae, *Baetis*).

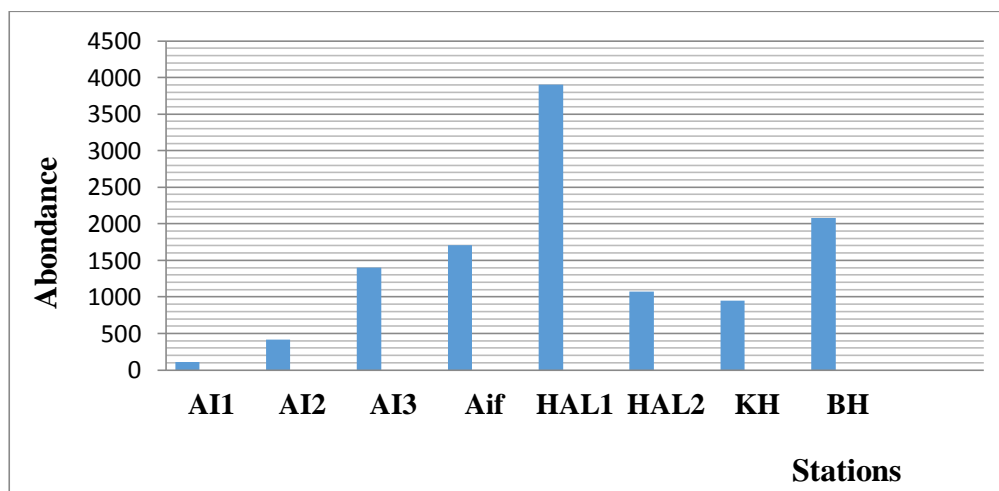


Figure 8 : Abondance de la faune globale dans les stations d'étude.

1.2. Richesse taxonomique

La richesse taxonomique représente le nombre de taxons présents dans un prélèvement, elle reflète l'état de santé écologique du milieu.

Les stations étudiées offrent une grande diversité d'organismes aquatiques. La lecture de la figure 9 montre que la richesse taxonomique varie d'une station à une autre. Elle fluctue entre un minimum de 21 taxa (stations AI1, HAL1, HAL2) et un maximum de 34 taxa (station AI2).

En effet, la station AI2, torrent de montagne situé à 800m d'altitude, héberge une faune riche représentée pour la plupart par des taxons sténotopes, sténothermes d'eau froide, rhéophiles et polluo-sensibles : Plécoptères, Coléoptères (*Gyrinus*, *Luminebius*, *Cyphon*) et Trichoptères. Cette station est caractérisée par une pente élevée, un substrat grossier à dominance de bloc et gros galets, un courant rapide, un recouvrement important, température de l'eau qui ne dépasse pas 10 °C et l'action anthropique y est très négligeable.

La richesse taxonomique réduite de la station AI2 (800 m) est due soit :

- * aux conditions extrêmes telles que la pente élevée, fond érodé et la faune qui subsiste dans ce milieu est bien adaptée.

- * aux émergences précoces des espèces dans ce ruisseau de source d'altitude.

Dans les stations de moyenne montagne (AI3, Aif, HAL1 et HAL2), la richesse taxonomique est comprise entre 21 et 25 taxa. L'hétérogénéité du substrat permet l'installation d'une faune assez diversifiée en dépit des perturbations anthropiques.

En aval, la plupart des taxons recensés (KH : 25 taxa, BH : 24 taxa) tolèrent les élévations de température de l'eau l'importance de la matière organique issue des différents rejets d'origine anthropiques sont thermophiles, potamophiles et polluo-résistants.

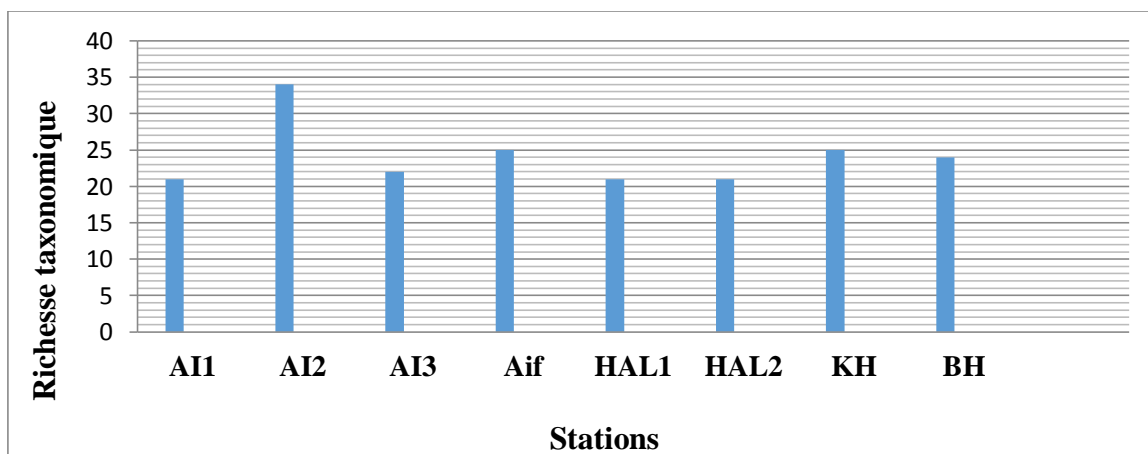


Figure 9 : Richesse taxonomique dans les stations d'étude.

1.3. Occurrence et abondance relatives des taxons

Les figures 10 et 11 visualisent graphiquement l'abondance et l'occurrence relatives des taxons récoltés dans les 8 stations. Ils peuvent être classés en 3 grands groupes :

Taxons constants : ce sont des populations denses et à large valence écologique avec $\text{Occ R} \geq 50\%$. Ils sont eurythermes, eurytopes et colonisent tous les habitats ou presque, on retrouve : les Trichoptères (*Rhyacophilidae*, *Rhyacophila*), les Ephéméroptères (*Baetidae*, *Acentrella*, *Caenidae*, *Caenis*), Hyménoptères, *Naididae*, *Simuliidae*, *Acentrella*, *Caenis*, *Hydraena*, *Staphylinidae*, *Limoniidae*, *Ceratopogonidae*, *Tabanidae*, *Tipulidae*, *Hydracariens*, *Hydropsychidae*.

Taxons accessoires : ou taxons peu abondants dont les fréquences d'occurrence sont comprises entre 25 et 50%. Ce sont en général des éléments à populations peu dense, sténotherme et moins eurytherme tels que les Collemboles, *Glossiphonidae* (*Helobdella*), Diptères (*Dixidae*, *Tabanidae*), Trichoptères (*Allotrichia*, *Hydroptila*, *Micrasema*), Coléoptères (*Normanidia*, *Berosus*), Hétéroptères (*Mesovelina*, *Gerris*), Odonates (*Gomphus*, *Anaciaeschna*), Mollusques (*Ancylus*, *Lithoglyphus*), Oligochètes (*Lumbricidae*).

Taxons rares : ou taxons accidentels, à la fois peu abondants et très peu fréquents inférieure à 5% : ce sont des éléments très localisés. Ils sont repérés dans une ou deux stations. Ce sont en général les taxons de biotopes bien spécialisés : ruisseaux de sources, biotopes rhéophiles de montagnes : on retrouve dans cette catégorie les Diptères (*Stratiomyidae*, *Tipulidae*, *Culicidae*), Trichoptères (*Stactobia*, *Goeridae*, *Philopotamonidae*, *Polycentropodidae*), Coléoptères (*Loccophilus*, *Nebrioporus*, *Gyrinidae*, *Limnebius*, *Hydrobius*, *Hydrochus*), Hétéroptères (*Notonecta*, *Hebrus*), Plécoptères (*Nemouridae*, *Perlidae*, *Capnidae*), Ephéméroptères (*Ecdyonurus*), Oligochètes (*Tubificidae*).

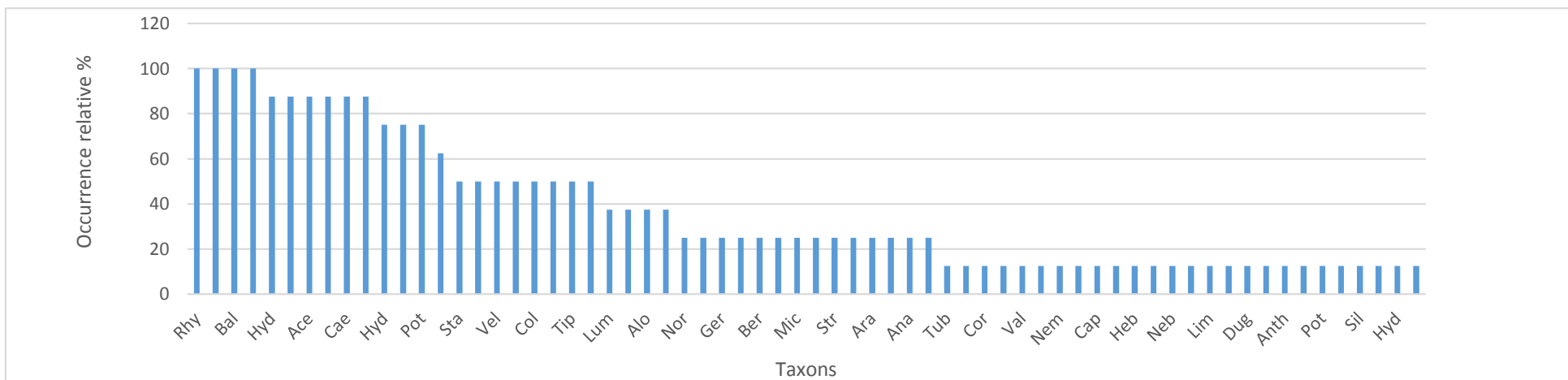


Figure 10 : Occurrence relative (%) des taxons récoltés

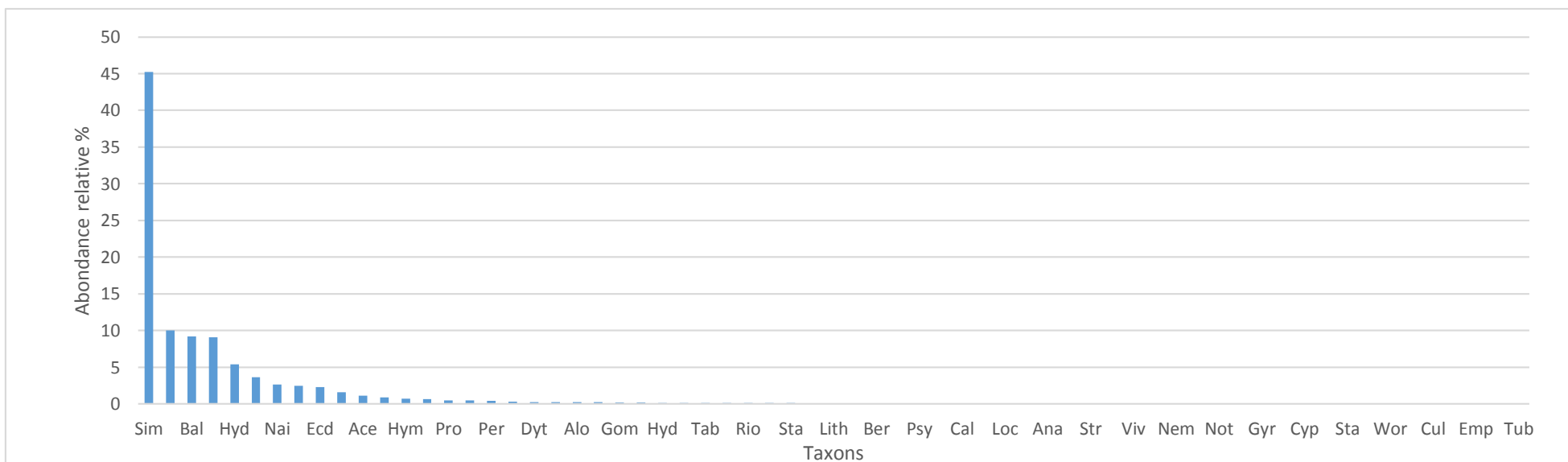


Figure 11 : Abondance relative (%) des taxons récoltés.

2. Analyses quantitative et qualitative de la faune benthique

2.1. Les Diptères

Les larves de cet ordre d'insectes se distinguent aisément des larves d'insectes holométaboles aquatiques par l'absence de pattes thoraciques. Il peut y avoir des pseudopodes mais ceux-ci ne sont jamais articulés (TACHET et *al.*, 1980).

Les Diptères se caractérisent par leur grande diversité tant de plan écologique que biologique ; une large valence altitudinale et une grande capacité de coloniser divers biotopes pollués ou non pollués. Au total, 6472 individus appartenant à 12 familles ont été dénombrés dans l'ensemble des stations étudiées. Ils représentent 55.64% de la faune totale (figure 12).

Ils sont abondants dans la plupart des stations mais leur répartition est très hétérogène. Les familles les mieux représentées sont les Simuliidae et Chironomidae, elles constituent ensemble 86,60% des Diptères.

La famille des Simuliidae est la plus abondante avec 5262 individus soit 81,30% des Diptères récoltés et constituent 45,24% de la faune totale.

La famille des Chironomidae occupe la seconde place avec 1054 individus, soit 16,28% des Diptères récoltés et 9,06% de la faune totale. En effet, d'après AIT MOULOU (1987), la famille des Chironomidae se caractérise par sa grande diversité écologique. Ils ont la capacité de coloniser des milieux divers. Ils peuvent être relativement abondants dans les zones d'eau calme riche en matière organique.

Les autres familles totalisent 56 individus et ne constituent que 1,34% de la faune totale : Limoniidae 28 individus (0,43%) ; Tipulidae 13 individus (0,20%) ; Psychodidae 6 individus (0,09%) ; Dixidae 8 individus (0,12%) ; Stratiomyidae 5 individus (0,07%) ; et Culicidae 4 individus (0,06%) ; Tabanidae 13 individus (0,20%) ; Ceratopogonidae 51 individus (0,78%), Anthomyidae 24 individus (0,38 %) et Empididae 3 individus (0,04).

L'abondance des Diptères atteint son maximum au niveau de la station HAL1 (figure 13) située à 480 m d'altitude avec 3578 individus dont 90,55 % sont représentés par les Simuliidae.

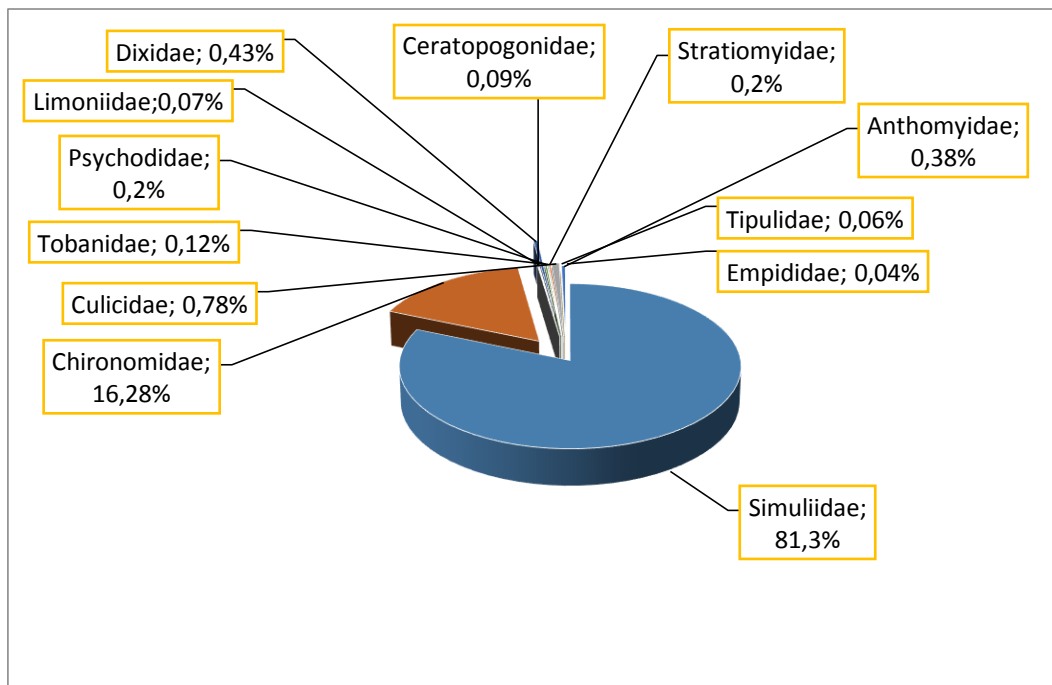


Figure 12 : Abondance des Diptères récoltés

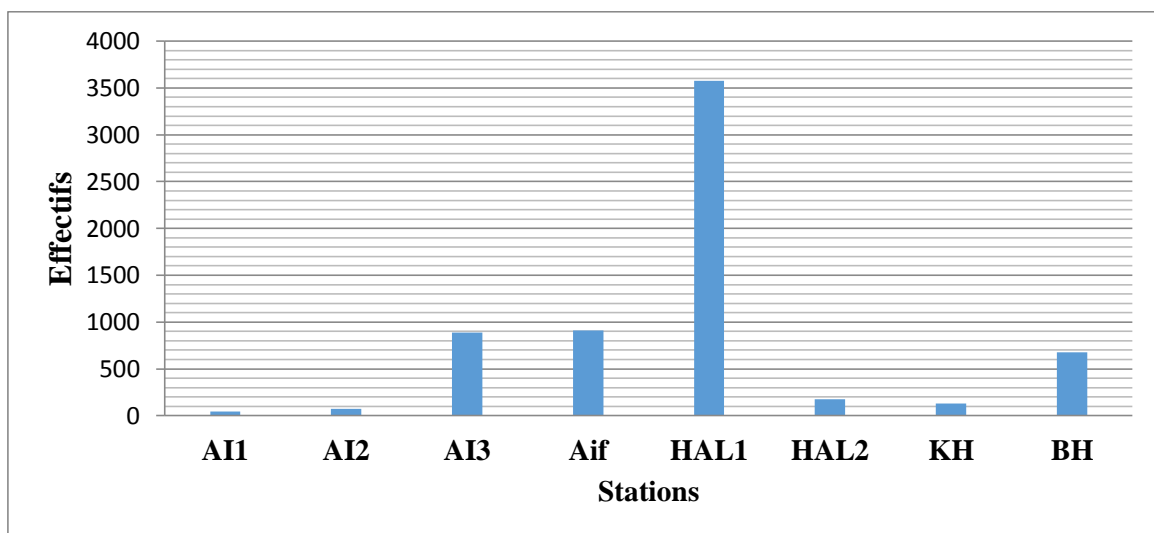


Figure 13 : Répartition des Diptères dans les stations étudiées.

2.2. Les Ephéméroptères

Selon THOMAS (1981;1980), les Ephéméroptères forment un groupe peu diversifié mais d'une importance numérique élevée. Leurs larves sont abondantes dans les eaux courantes. Elles occupent souvent le premier rang en biomasse des insectes aquatiques le plus important quantitativement dans la plupart des cours d'eau et à toutes altitudes.

Ils colonisent pour la plupart, les habitats les plus diversifiés à courant rapide à moyen et à température relativement élevée. Mais ils sont moins abondants dans les zones supérieures et ceci est dû aux conditions contraignantes du milieu (LOUNACI, 2005).

Dans ce travail, les Ephéméroptères sont représentés par 2625 individus (soit 22,57 % de la faune totale) répartis en trois familles et quatre genres : Baetidae (*Baetis*, *Acentrella*), Caenidae (*Caenis*), et Heptageniidae (*Ecdyonurus*) (figure 14).

Les Baetidae présentent une large valence écologique. Ils colonisent tous les milieux étudiés de l'amont jusqu'à l'aval. Selon BENMOUSSA *et al.* (2014), les éléments de cette famille tolèrent la pollution et les températures élevées.

La famille des Baetidae est la plus abondante et la plus fréquente dans les cours d'eau étudiés. D'après THOMAS (1981), les éléments de ce groupe se comportent comme des espèces pionnières qui colonisent un milieu déserté par des espèces fragiles. Elle représente 1196 individus soit 45,56% des éphéméroptères, c'est la famille la plus diversifiée, elle compte deux genres :

- ✓ ***Baetis*** : c'est le genre le plus abondant et plus fréquent avec 1069 individus (soit 40,72% des Ephéméroptères récoltés), il est rencontré dans toutes les stations étudiées à toute altitude. Selon VERNEAUX (1973), les *Baetis* sont résistants à la pollution, le développement de leurs populations est favorisé par les dépôts organiques fins à base des mousses ou algues.
- ✓ ***Acentrella*** : ce genre totalise 127 individus, il est présent dans la plupart des stations échantillonnées (soit 4,83% des Ephéméroptères récoltés).

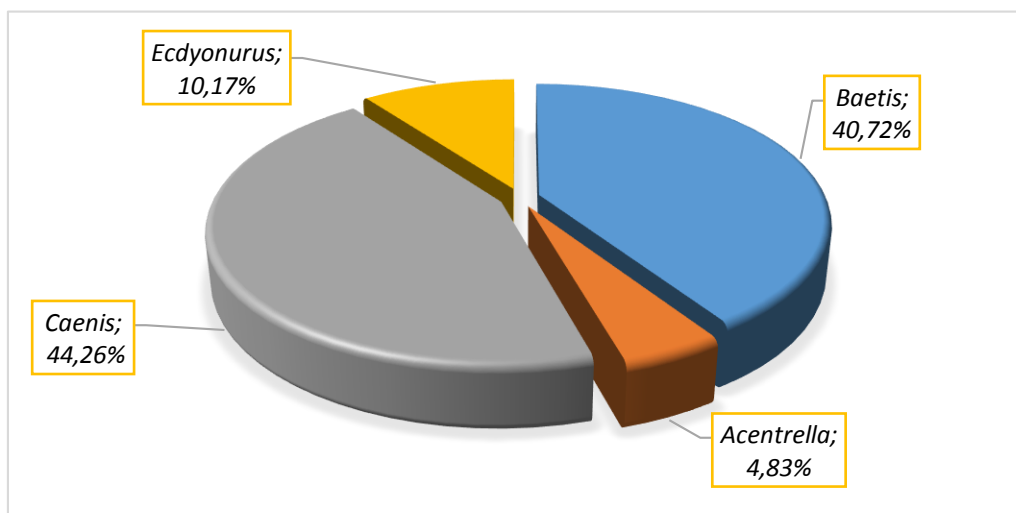


Figure 14: Abondance des Éphéméroptères étudiés.

Les éléments appartenant à la famille des Caenidae sont thermophiles et à spectre écologique assez large. Leur forme fouisseuse et leur tolérance à la présence de matière

organique favorise leur développement sur des sédiments déposés servant d'habitat LOUNACI (2005). Avec 1162 individus, ils représentent 44,26% des Ephéméroptères récoltés et 75% de la faune totale. Ils sont fréquents mais peu abondants.

L'effectif le plus élevé est noté à la station HAL2 à 380 m d'altitude avec 696 individus. En effet, les éléments de ce genre sont eurythermes et colonisent les cours moyen et inférieur (LOUNACI-DAOUDI, 1996).

La famille des Heptageniidae (*Ecdyonurus*) compte 267 individus récoltés uniquement dans les stations HAL2 et KH (respectivement 380 m à 220m d'altitude). En effet, LOUNACI (2005) qualifient d'organismes rhéophiles et polluo-sensibles qui remontent vers les zones d'altitudes (zones de sources), fuyant les températures élevées et les perturbations anthropiques des milieux aval.

La répartition des Ephéméroptères dans les stations étudiées (figure 15) met en évidence leur présence le long du cours d'eau étudiés. Les stations HAL2 avec 722 individus, Aif avec 576 individus sont les plus abondants en Ephéméroptères. Les autres stations présentent une abondance comprise entre 227 (HAL 1) et 7 individus (AI1).

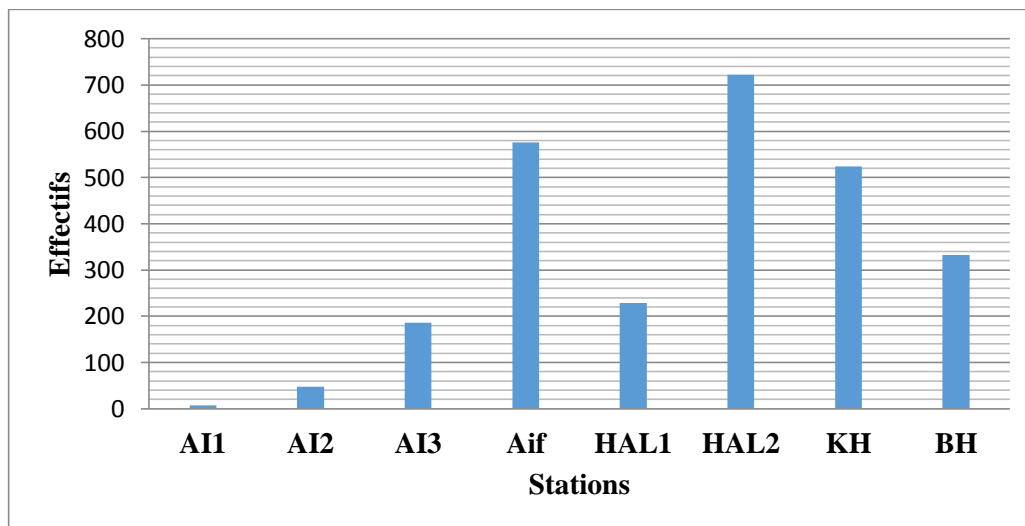


Figure 15: Répartition des Éphéméroptères dans les stations d'étude.

2.3. Les Plécoptères

Selon MEBARKI (2001), les Plécoptères sont des organismes polluo-sensibles qui ne se développent pas dans les milieux affectés par une quelconque perturbation. Ce sont des bio-indicateurs, très utilisés dans la méthode d'analyse de la qualité des eaux courantes. Les Plécoptères constituent un groupe d'insectes hémimétaboles à larves exclusivement aquatique (TACHET et al., 2010).

Cette étude a mis en évidence l'exclusivité des Plécoptères dans le torrent de montagne à 800m d'altitude (AI2) avec la présence de 108 individus répartis en 3 familles et 4 genres : Nemouridae (*Protonemura*, *Nemura*), Perlidae (*Perla*) et Capniidae (*Capnopsis*) (figure 16).

La station AI2 semble être l'habitat préféré de ce groupe d'insectes. Ce tronçon amont du réseau hydrographique étudié est exempt de pollution, se caractérise par un substrat grossier, une température de l'eau assez basse 10°C, un recouvrement important, un courant modéré et une végétation aquatique riche en mousses (figure17).

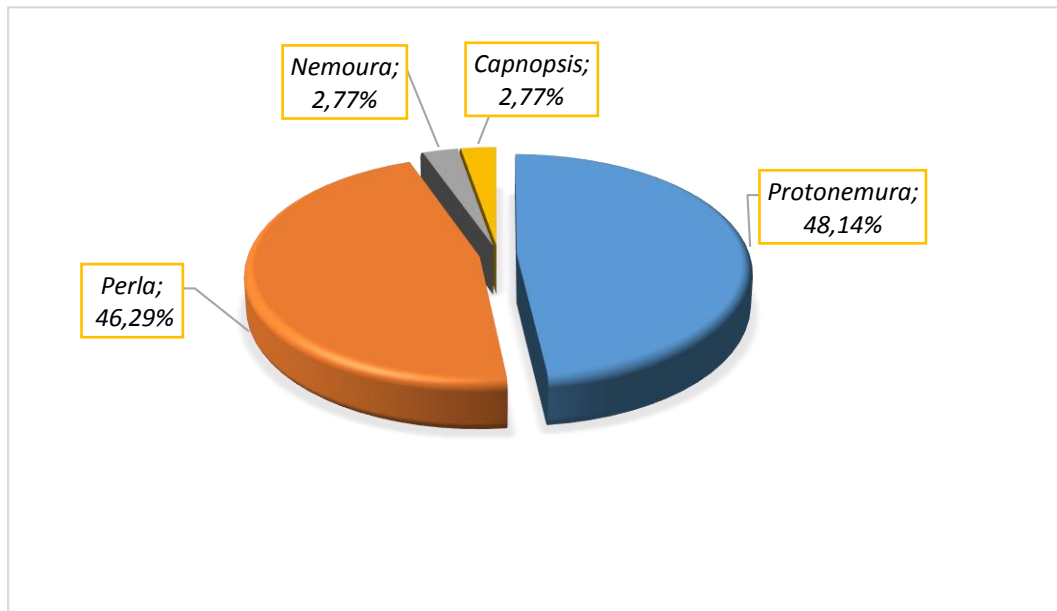


Figure 16: Abondance des Plécoptères récoltés.

En effet, les Plécoptères sont qualifiés de rhéophiles, sténothermes d'eau froide et polluo-sensibles colonisant de préférence les cours d'eau froids de montagne avec une concentration élevée en oxygène (CONSIGLIO, 1963 ; LOUNACI, 2005 ; HAOUCHINE, 2011).

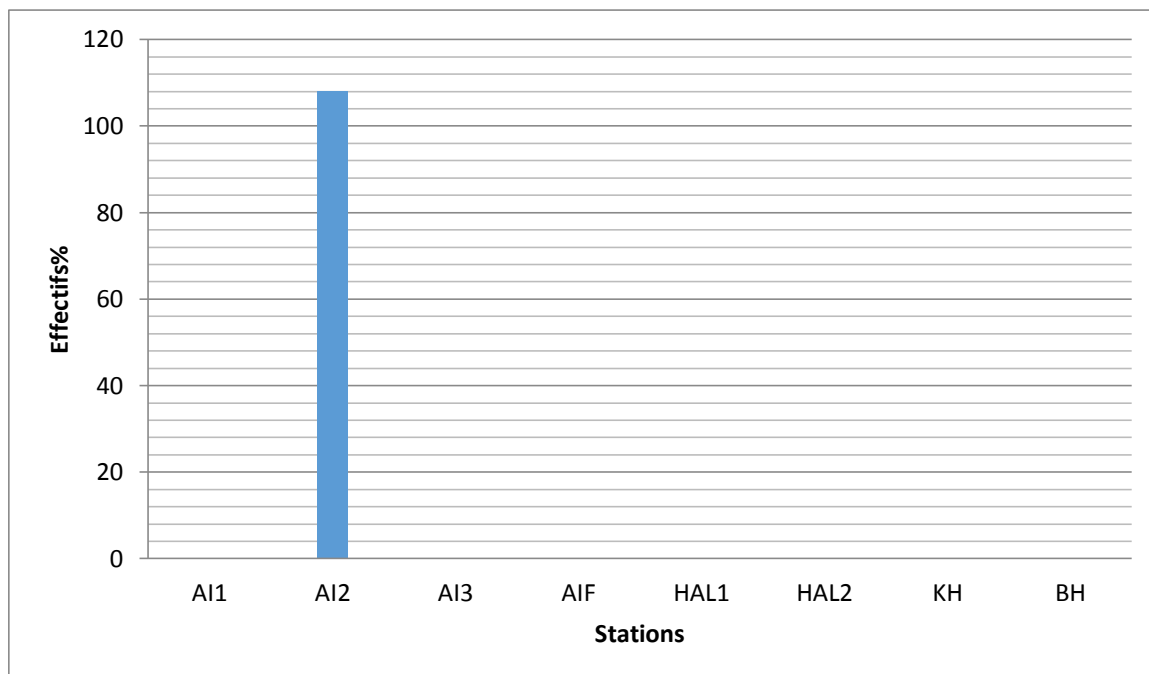


Figure 17 : Répartition Plécoptères dans les stations étudiées.

2.4. Les Trichoptères

Selon TACHET et *al.* (2006), sont des espèces holométaboles dont les larves et les nymphes sont aquatiques.

Dans les stations étudiées, cet ordre est représenté par 7 familles et 9 genres d'inégale abondance. Il est relativement peu fréquent et peu abondant par rapport aux Epheméroptères. Nous avons récolté 1177 individus, soit 10.12 % de la faune totale.

La famille des Hydropsychidae (*Hydropsyche*) est dominante et totalise 627 individus (soit, 53,27 % du total des Trichoptères). Elle est suivie par la famille Hydroptilidae (*Stactobia*, *Hydroptila*, *Allotrichia*) avec 452 individu (soit 38,40 %) et à un degré moindre les Rhyacophilidae (*Rhyacophila*) avec 75 individus (6,37%). Les autres familles à savoir: les Goeridae (*Sillonela*), les Brachycentridae (*Micrasema*), les Philopotamidae (*Wormaldia*) et les Polycentropodidae (*Polycentropus*) sont rares (figure 18).

La station BH située à 200m d'altitude enregistre l'abondance la plus élevée (figure 19), avec 742 individus dont 359 individus sont représentés par les Hydroptilidae (*Hydroptila*, soit 48.38%) et 380 individus par les Hydropsychidae (*Hydropsyche*, soit 40.97%). GIUDICELLI et *al.* (1985) lient l'abondance des Hydroptilidae dans les cours d'eau méditerranéens au développement algal. En effet, la station BH enregistre la température de l'eau la plus élevée avec 25°C et riche en algues filamenteuses.

MOISAN *et al.* (2006) signalent que la famille des Hydropsychidae (*Hydropsyche*) a cependant une tolérance à la pollution.

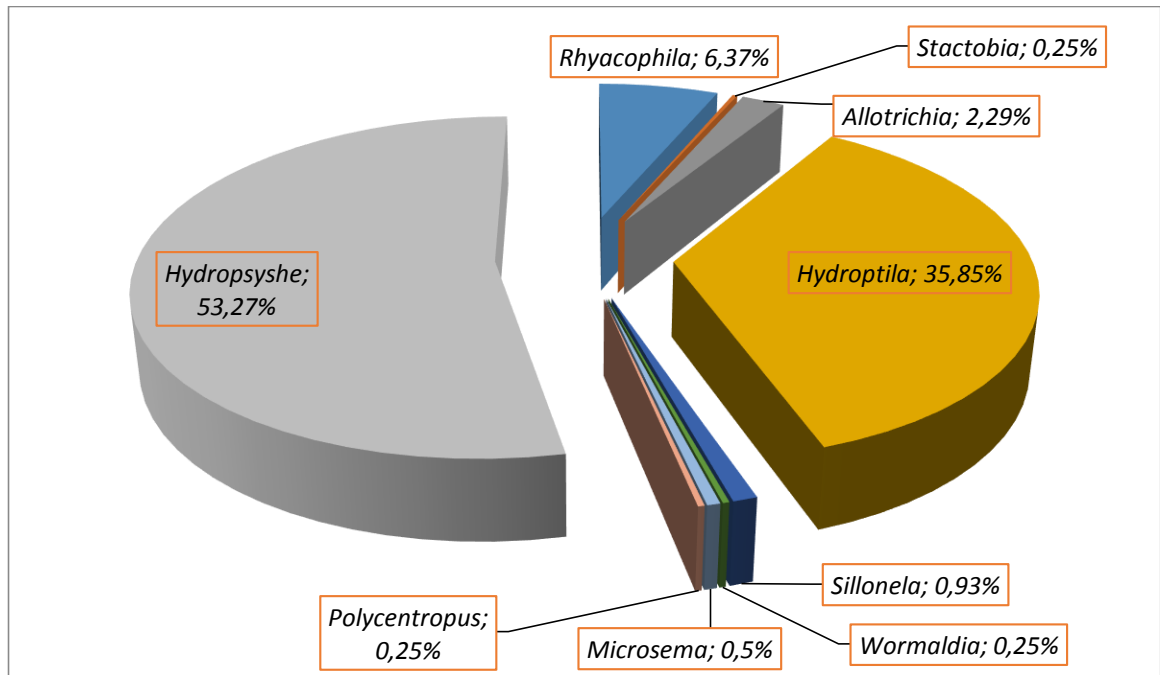


Figure 18 : Abondance des Trichoptères dans les stations étudiées.

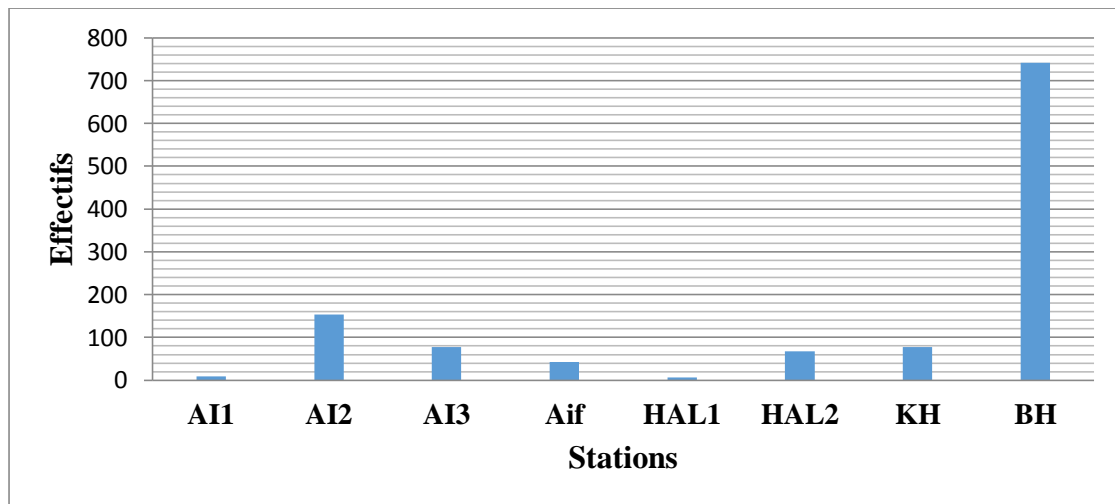


Figure 19 : Répartitions des Trichoptères dans les stations étudiées.

2.5. Les Hétéroptères

Les Hétéroptères aquatiques sont avant tout des organismes d'eau stagnante. En eau courante, ils colonisent les zones lénitiques ou les biotopes abrités du courant. La nature des rives (cailloux, vase, sable et végétation) joue un rôle important dans la biologie et l'écologie des éléments de ce groupe d'insectes (DETHIER, 1985-1986).

Les Héteroptères sont faiblement représentés avec 63 individus, soit 0,54% de la faune benthique totale. Ils appartiennent à cinq familles et à cinq genres (figure 20) : Gerridae (*Gerris*) avec 36 individus (57,14), Veliidae (*Velia*) avec 15 individus (23,80%), Mesoveliidae (*Mesovelia*) avec 6 individus (9,52%), Notonectidae (*Notonecta*) et Hebridae (*Hebrus*) avec 3 individus chacune (4,76%) (figure 20).

Selon POISSON (1957), les Héteroptères peuplent divers biotopes des milieux aquatiques : marécages, mares, ruisseaux et rivières. Ils s'observent surtout sur les rives des cours d'eau.

Sur le plan quantitatif, la station AIF dénote l'effectif le plus élevé avec 33 individus appartenant exclusivement à la famille des Gerridae (*Gerris*) (figure 21).

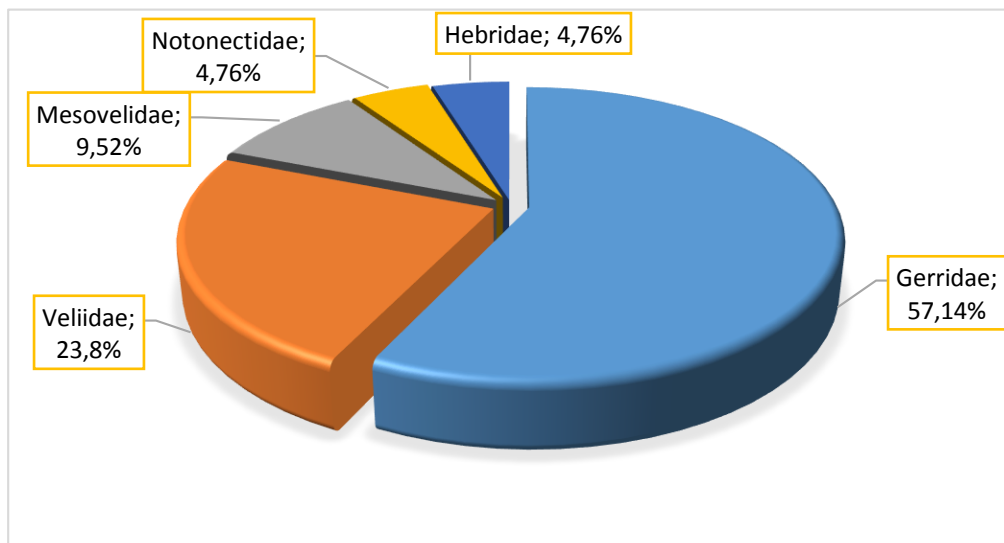


Figure 20 : Abondance des Héteroptères dans les stations étudiées.

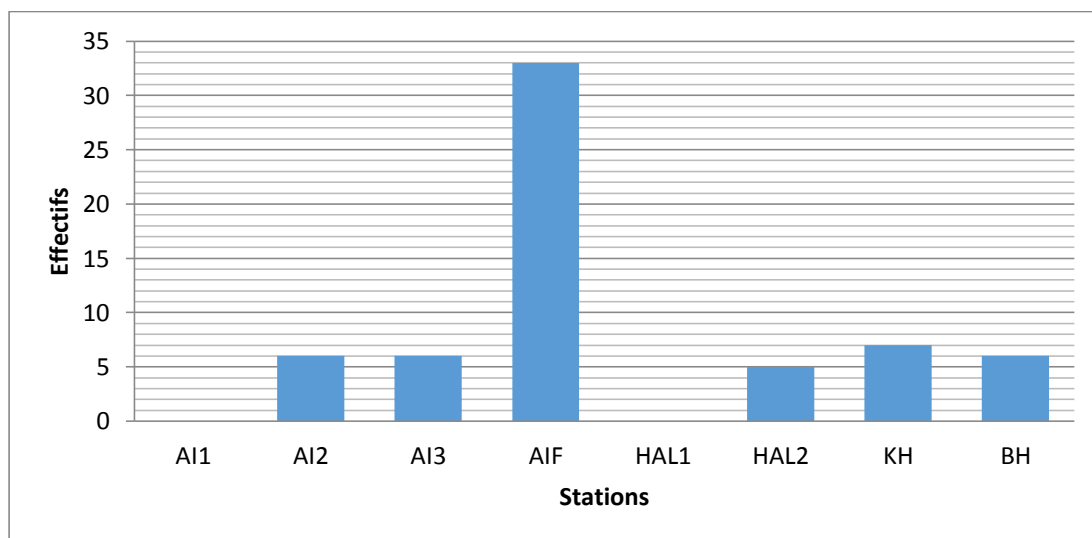


Figure 21 : Répartitions des Héétéoptères dans les stations étudiées.

2.6. Les Coléoptères

Les Coléoptères constituent un groupe très diversifié et écologiquement très hétérogène pouvant s'adapter à tout type de biotopes. Ils sont parfois difficiles à appréhender car ils possèdent des phases aquatiques alternant avec des phases terrestres. Certaines familles possèdent quelques représentants dont seule la phase larvaire est aquatique (Helodidae, Sphaeridiidae) ou seule la phase adulte est aquatique (Hydraenidae) alors que d'autres sont strictement aquatiques (Dryopidae, Elmidae, Hydrochidae) (BERTRAND, 1972 ; BERTHELEMY, 1979).

Dans les stations étudiées, les Coléoptères comptent 108 individus, soit 0,93% de la faune globale collectée. Ils constituent l'ordre le plus diversifié avec 7 familles réparties en 13 genres (figure 22).

La famille Dytiscidae est la plus abondante avec 35 individus (soit, 32,40% des Coléoptères récoltés), elle est représentée par 3 genres : *Dytiscus* 25 individus (24,03%), *Loccophilus* 4 individus (5,76%) et *Nebrioporus* 6 individus (5,76%).

Elle est suivie par la famille Hydraenidae avec 19 individus (soit 18,26%) et est représentée par 2 genres : *Hydraena* 16 individus (14,81%) et *Limnebius* 3 individus (2,77%). Elmidae avec 18 individus (soit 16,66%) et est représentée par 2 genres : *Normanidia* 6 individus (soit 5,55%) et *Riolus* 12 individus (soit 11,11%).

La famille des Staphylinidae est représentées par un seul genre : *Staphylinus* avec 12 individus soit 11,11%. Il est présent dans les stations AI2, HAL1, HAL2 et KH.

La famille des Hydrophilidae avec 9 individus est représentée par 2 genres : *Hydrobius* 3 individus (soit 2,77%) et *Berosus* 6 individus (soit 5,55%). Les autres familles sont très peu abondantes.

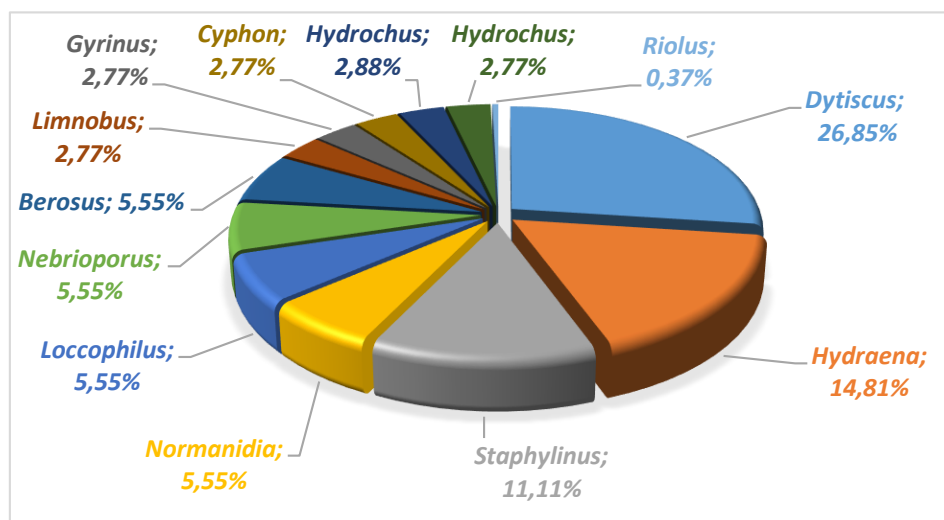
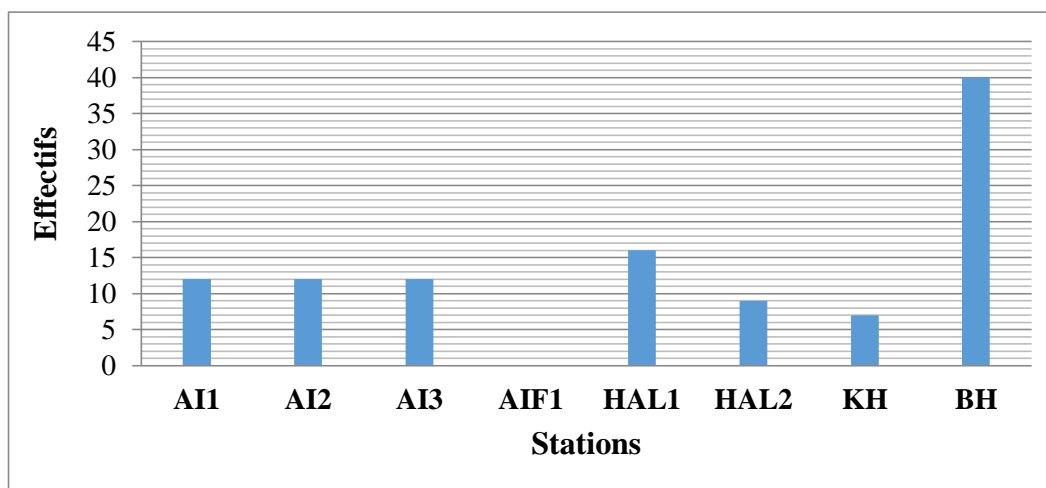


Figure 22 : Abondance des Coléoptères récoltés.

La figure 23 met en évidence l'importance sur le plan numérique des Coléoptères dans les stations BH avec 40 individus dont 62,5 % appartient à la famille des Dytiscidae (*Dytiscus*). En effet, ce genre manifeste une nette inclination pour les sections inférieures des cours d'eau (MEBARKI, 2017).

**Figure 23 :** Répartitions des Coléoptères dans les stations étudiées.

2.7. Les Mollusques

Selon LEGENDRE et *al.* (1984), les mollusques constituent un des grands embranchements du règne animal, ils présentent des degrés variables de susceptibilités aux changements des conditions du milieu.

Dans nos récoltes, 209 individus (soit 1,79 % de la faune totale) appartenant à 6 familles et 6 genres ont été récoltés : Ancyliidae (*Ancylus*), Planorbidae (*Planorbis*), Hydrobiidae (*Lithoglyphus*), Corbiculidae (*Corbicula*), Viviparidae (*Viviparus*) et Valvatidae (*Valvata*) (figure 25).

Le genre *Ancylus* est le plus abondant. Ils comptent 188 individus (soit, 89,95% des Mollusques). Les autres familles ont une faible importance numérique.

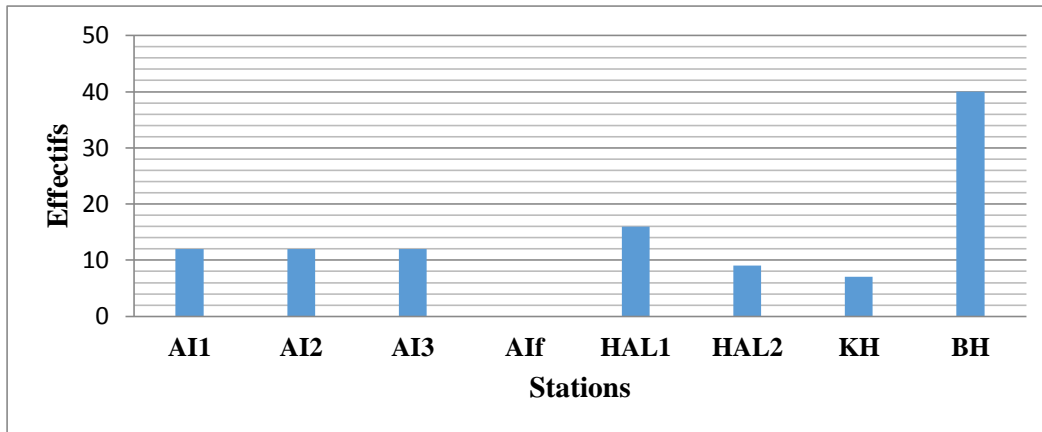


Figure 24: Répartition des Mollusques dans les stations étudiées.

Leur répartition longitudinale est très hétérogène. Leur développement semble plus important dans les zones amont des cours d'eau. Ce fait peut être attribué au développement des formes torrenticoles adaptées aux courants les plus forts, tels que : *Ancylus* (figure 24).

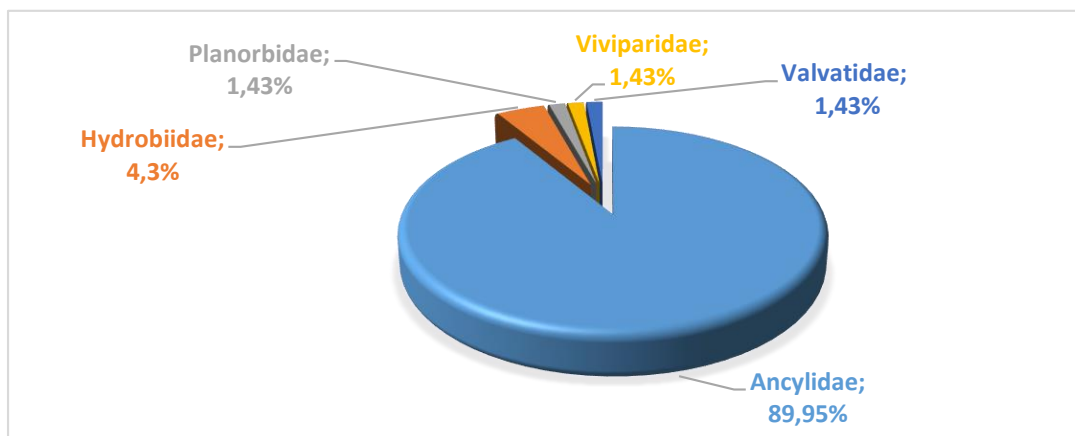


Figure 25 : Abondance des Mollusques récoltés.

2.8. Les Oligochètes

Le peuplement des Oligochètes fréquente tous les types de biotopes, depuis les ruisseaux d'altitude jusqu'au cours d'eau de plaine. Ils sont surtout représentés dans les sections les plus proches des pollutions.

Dans les stations étudiées, les éléments de ce groupe sont représentés par 322 individus, soit 2,76 % de la faune totale. Ils appartiennent à trois familles : les Naididae (309 individus), les Lumbricidae (10 individus) et Tubificidae (3 individus) (figure 26).

Les Oligochètes sont abondants dans les stations les plus affectées par la pollution notamment AI3, AIf (moyenne montagne) et KH et BH (basse altitude).

Les Oligochètes abondent les portions des cours d'eau à fond meuble (sable, limons, détritiques organiques) riches en végétations aquatiques. En effet, l'augmentation massive de ces populations dans les eaux riches en matières organiques a été souvent mentionnée (ECHAUBARD & NEVEU, 1975 ; TOURENQ, 1975). De plus, LAFONT (1983) signale que les régimes alimentaires des Oligochètes sont variés. Ils se composent d'algues, de détritiques organiques et de bactéries.

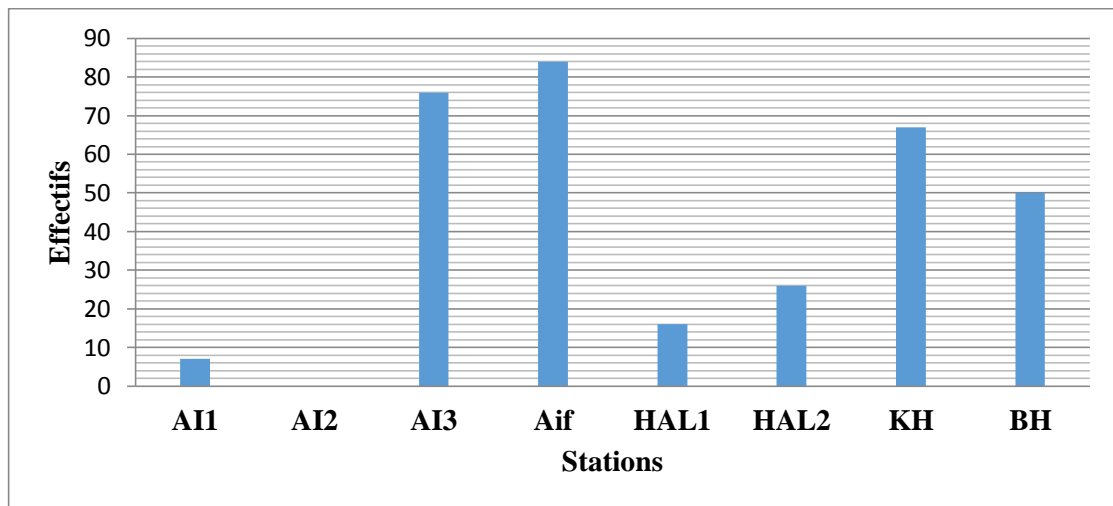


Figure 26 : Répartition des Oligochètes dans les stations étudiées.

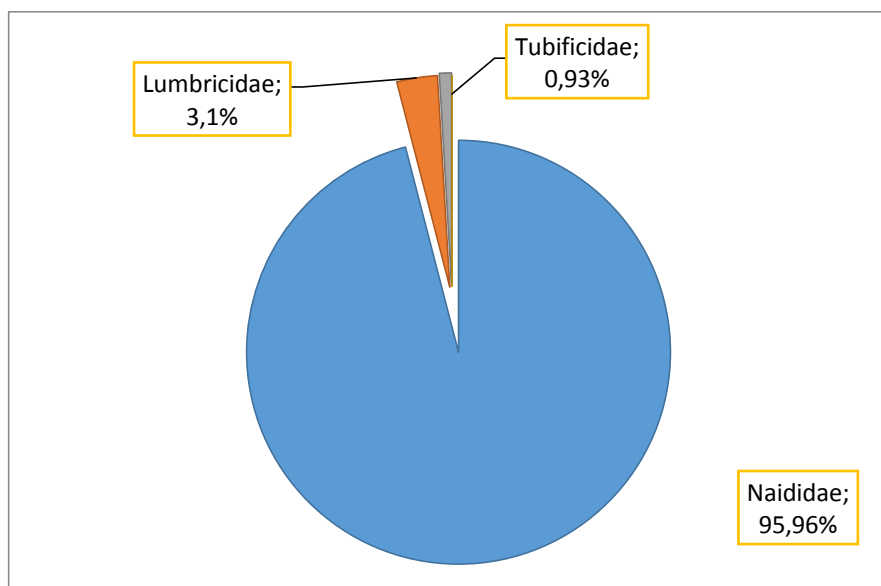


Figure 27: Abondance des Oligochètes récoltés.

2.9. Les Achètes

Les Achètes comptent 105 individus appartenant à la famille Glossiphonidae et le genre *Helobdella* récoltés dans trois stations échelonnées entre 220 à 520m d'altitude.

2.10. Les Odonates

Les Odonates, (libellules) forment un ensemble assez homogène quant à leur morphologie, leur cycle de développement et leur écologie. Le caractère le plus étonnant est l'appartenance de toutes les espèces à deux mondes radicalement déférent : le milieu aquatique et aérien ce changement de mode de vie implique d'importantes transformations physiologiques « déploiement des ailles » (CORBET, 1980).

Cet Ordre est représenté par 3 familles et 3 genres : **Gomphidae** (*Gomphus*), **Colopterygidae** (*Colopteryx*) et **Aeshnidae** *Anaciaeschna* (figure 28).

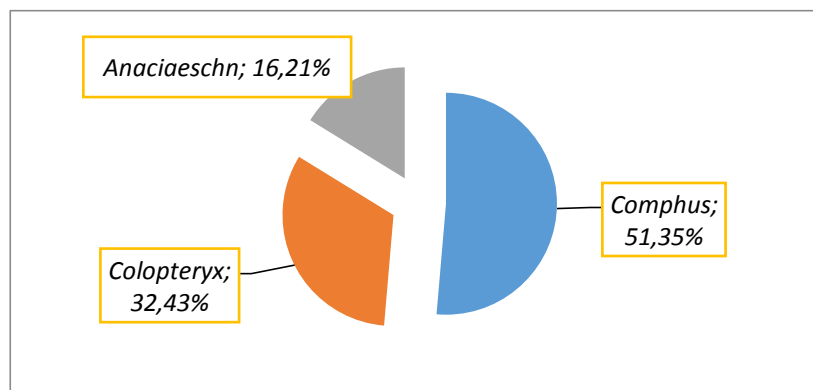


Figure 28 : Abondance des Odonates dans les stations étudiées.

L'abondance stationnelle des Odonates (figure 29) met en évidence leur importance dans la station KH (220 m d'altitude).

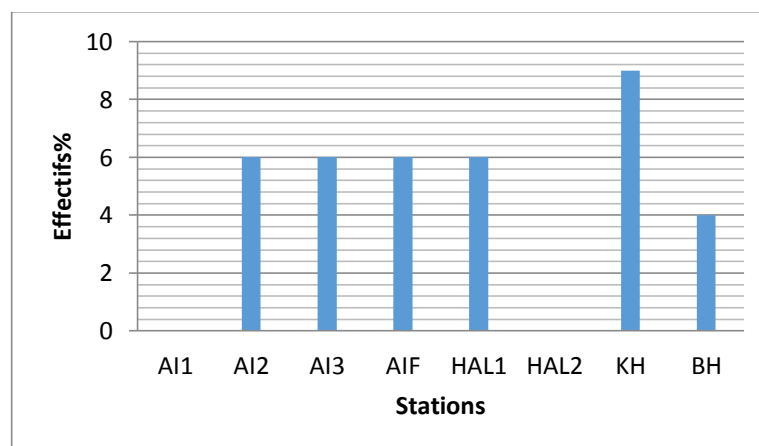


Figure 29 : Répartitions des Odonates dans les stations étudiées.

2.11. Les autres groupes zoologiques

- **Les Hydracariens** comptent 287 individus, soit 2,46%, de la faune totale. Leur développement semble important dans les habitats caractérisés par un substrat à dominance de galets et un écoulement de l'eau rapide à moyen. Le maximum est noté dans les stations AIf (520m) avec 85 individus et BH (200 m) avec 101 individus, leur répartition reste hétérogène.
- **Les Hyménoptères** totalisent 83 individus (soit 0,71% de la faune totale), leur répartition est inégale dans tous les stations étudiées.
- **Les Crustacés** récoltés (18 individus) appartiennent à la famille des Potamonidae et au genre *Potamon*.
- **Les Arachnides, les Collemboles et les Turbellariés** sont très rares dans nos prélèvements.

3. Etude de la structure du peuplement benthique

Dans les études écologiques, la diversité biologique apparaît comme un concept direct pouvant être évalué d'une manière rapide et facilement compréhensible. Les mesures de cette diversité constituent de bons indicateurs de la santé des écosystèmes.

L'indice de Shannon permet d'évaluer la diversité faunistique d'un milieu donné. Il consiste à mesurer la richesse spécifique, mais aussi de la proportion représentée par chaque taxon au sein de la communauté. Il est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité.

Les indices de diversité Shannon (H') et d'équitabilité (E) calculés pour les stations étudiées sont consignés dans le tableau 8 et illustrés par la figure 30. Ils fluctuent d'une station à l'autre entre 1,04 et 4,14 pour H' et entre 0,24 et 0,94 pour E .

Tableau 8 : Indices de diversité H' et E des stations étudiées

station	AI1	AI2	AI3	AIf	HAL1	HAL2	KH	BH
S	10	10	12	11	12	11	11	10
H'	2,19	2,2	1,16	1,64	0,49	1,29	2,07	2,05
H' max	3,33	3,33	3,56	3,46	3,56	3,46	3,46	3,33
E'	0,65	0,66	0,46	0,47	0,13	0,37	0,59	0,61

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations alticoles AI1 avec ($H'=2,19$ et $E=0,65$) et la station AI2 avec ($H'=2,2$ et $E=0,65$). Ces stations proches de la source et exemptes de pollution, présentent un substrat très grossier, un courant rapide, une température de l'eau basse et un recouvrement important. Par conséquent, ce secteur héberge

une faune diversifiée composée essentiellement de taxons rhéophiles, sténothermes d'eau froide et polluo-sensibles.

Tandis que pour les stations de moyenne montagne et piémont (AI3, AIf, HAL1 et HAL2), les indices sont relativement plus faibles et varient entre 0,49 et 1,66 pour H' et 0,13 et 0,47 pour E . Ces secteurs sont caractérisés par une pollution (décharge sauvage, rejet d'ordures ménagères sur les rives et réseaux d'assainissement des villages avoisinants), ce qui diminue la capacité d'accueil du milieu dont subsistent uniquement les formes tolérantes à la pollution.

La station HAL1 (alt. 480m), la plus affectée par les perturbations anthropiques (en plus de la confluence des stations AIF et AI3 perturbées), est un exemple typique du déséquilibre du peuplement avec la valeur de $E=0.13$, ce qui est dû à la dominance des Diptères Simuliidae avec 3240 individus, soit 83,07% du peuplement. En effet, THIENNEMAN (1954) signale que plus un peuplement est équilibré (pas de taxons largement dominant), plus il est stable et proche du climax et qu'à l'inverse, toute pullulation est le signe d'un déséquilibre dû à une cause naturelle ou anthropique.

Une éventuelle réduction des impacts anthropiques est observée dans les stations de basses altitudes à savoir KH (alt.220m) et BH (alt. 200m), puisqu'une remontée biologique est observée par rapport aux stations de HAL 1 et HAL2, et est confirmée par les valeurs de H' respectives de 2,07 et 2,05 pour H' et de 0,59 et 0,61 pour E . Les taxons présents dans ce secteur sont soit eurythermes ou pour la plupart thermophiles, potamophiles et polluo-résistants.

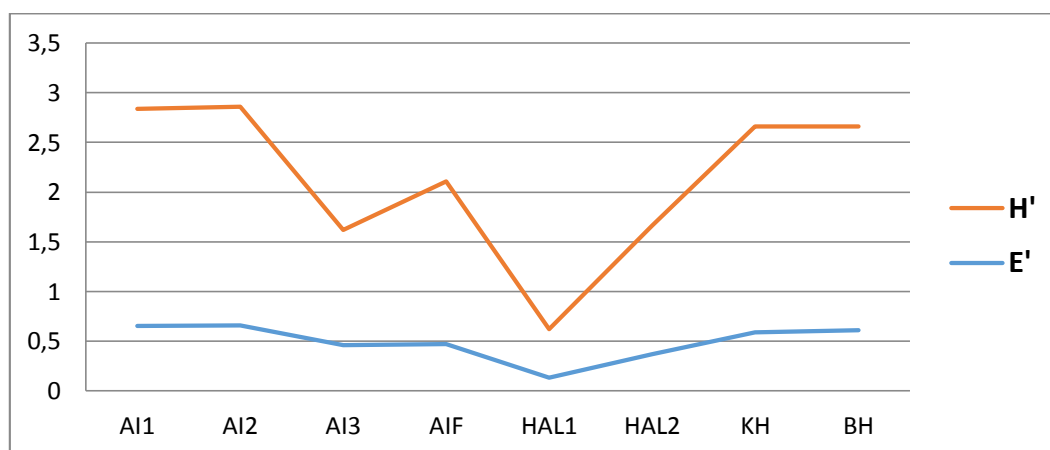


Figure 30: Evolution des indices de H' et E dans les stations d'étude.

4-Structure mésologique

Dans le cadre de ce travail, 11 descripteurs environnementaux sont pris en compte pour caractériser chacune des 8 stations étudiées (tableau 9).

Tableau 9 : Caractéristiques mésologiques des stations étudiées.

Alt : altitude (m), Dis : distance à la source (km), Pen : pente (%), Lar : largeur du cours d'eau (m), Pro : profondeur moyenne de la lame d'eau (cm), Vit : vitesse du courant selon l'échelle de BERG (cm/s), Tem : Température en (°C), GG : Gros galets et galet (%), SL : sables et limons (%), MO : matières organiques (%), R : Recouvrement (%).

Stations	AI1	AI2	AI3	AIF	HAL1	HAL2	KH	BH
Alt (m)	1300	800	500	520	490	380	220	200
Dis (km)	0,2	2	7	15	8	11	20	23
Pen(%)	30	15	9	10	7	3	2	1
Lar (m)	0,8	2	3,5	3	5	6	7	9
Pro (cm)	10	20	20	20	25	25	30	40
Vit (cm/s)	33,33	26,66	74,37	50	95,48	27,72	74,29	55,27
T (°C)	8	10	12	13	16	20	22	25
G/G (%)	85	80	65	55	55	50	30	30
S/L (%)	15	20	25	20	30	40	50	50
MO (%)	0	0	10	25	15	10	20	20
R (%)	95	90	90	80	40	60	20	0

L'analyse des corrélations entre les différents paramètres pris en compte (tableau 12) a montré que la plupart des variables sont inter-corrélées:

- Altitude, pente, substrat grossier et recouvrement variables parfaitement linéaires liées par une relation de plus en plus croissante ;
- Distance à la source, largeur du lit mineur, la profondeur moyenne du lit, températures de l'eau, matière organique et le substrat fin, variables liées par une relation décroissante.

Leurs coefficients de corrélations sont hautement significatifs ($r > 0,7$) et indiquent que ces paramètres sont fortement corrélés. Quant à la variable vitesse du courant son niveau de liaison est assez faible et ne présente pas de linéarité avec les autres paramètres.

Tableau 10: Matrice des corrélations entre variables environnementales (N =11, P < 0,05)

	Alt	D/S	Pte	Lar	Pro	Vit	T°	GG/G	M.O	S/L	R
Alt	1,00										
D/S	-0,85	1,00									
Pte	0,99	-0,79	1,00								
Lar	-0,88	0,87	-0,87	1,00							
Pro	-0,87	0,86	-0,86	0,96	1,00						
Vit	-0,45	0,31	-0,41	0,35	0,32	1,00					
T(°C)	-0,86	0,89	-0,85	0,99	0,93	0,27	1,00				
GG/G	0,92	-0,85	0,91	-0,85	-0,77	-0,45	-0,86	1,00			
M.O	-0,76	0,87	-0,70	0,63	0,62	0,51	0,64	-0,85	1,00		
S/L	-0,75	0,50	-0,81	0,77	0,64	0,20	0,78	-0,79	0,34	1,00	
R	0,75	-0,84	0,73	-0,94	-0,92	-0,43	-0,93	0,74	-0,62	-0,60	1,00

Pour connaître l'importance relative des variables mésologiques, une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée et a fait apparaître clairement, dans l'espace des deux facteurs significatifs F1 (axe1) et F2 (axe 2) :

- Les relations entre les variables d'une part,
- La distribution des stations compte tenu de l'ensemble des variables environnementales d'autre part.

Ces deux axes concentrent une information totale de 89,70 %, soit 80,45 % sur l'axe 1 et 9,25 % sur l'axe 2.

Le cercle de corrélation obtenu par l'ACP (figure 31), montre que les variables se répartissent en deux groupes :

- Les variables matière organique, distance à la source, profondeur, largeur du lit, température de l'eau, et substrat fin sont liées entre elles et avec l'axe 1 (en position positive), et voient leurs valeurs croître progressivement de l'amont vers l'aval.
- L'ensemble des variables substrat grossier, altitude, pente, recouvrement sont fortement corrélées entre elles et avec l'axe 1 (en position négative), et voient leurs valeurs décroître progressivement de l'amont vers l'aval.
- La variable vitesse du courant n'est pas corrélée. C'est la variable qui contribue le plus à la détermination de l'axe 2 (F2 : 9,25)

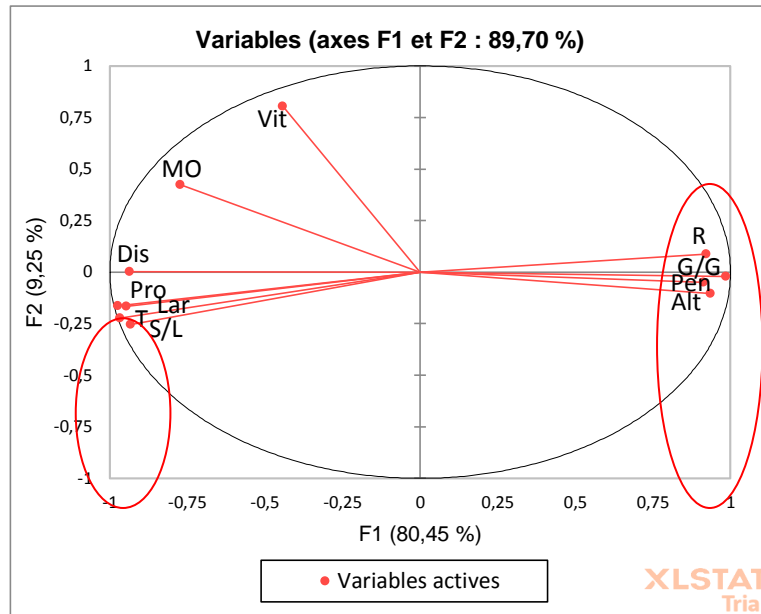


Figure 31: ACP : Représentation de la distribution des variables environnementales

La représentation des stations dans l'espace, des même facteurs significatifs (F1: 80,45% et F2 :9,25 %), fait apparaître sur l'axe F1 l'opposition entre les stations les plus en amont représentées par le ruisseau de source (AI1) et le torrent de montagne (AI2) en position positive et les stations de piémont et de plaine (basse altitude) en position négative sur le même axe (figure 32).

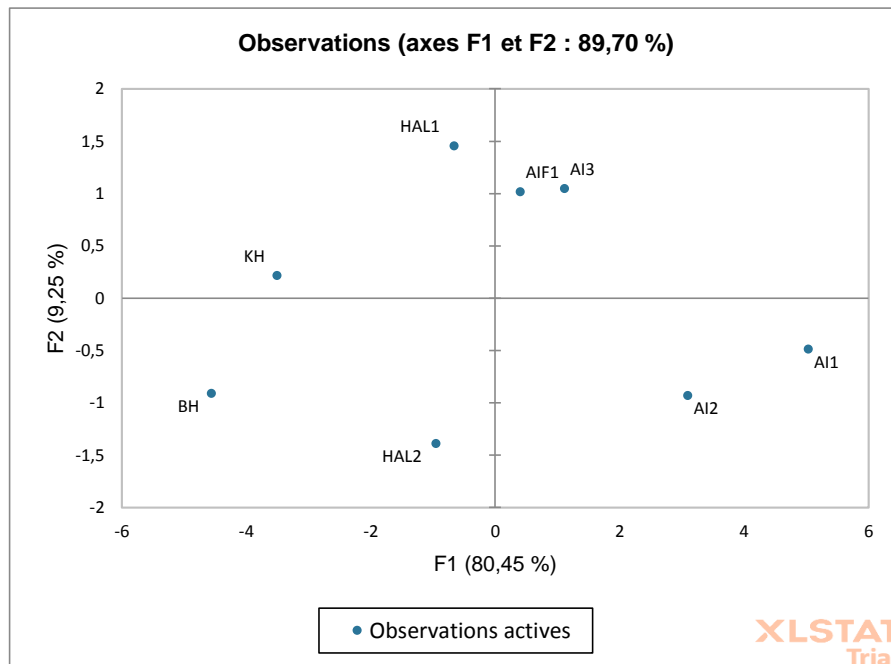


Figure 32 : Distribution spatiale des stations d'étude dans le plan factoriel F1-F2

5- Evaluation de la qualité biologique de l'eau

L'évaluation de la qualité biologique des eaux courantes peut être effectuée par plusieurs méthodes d'approche (biochimique, toxicologique, biocénotique...).

Les diagnostics réalisées par les méthodes biologiques sont fondées sur le suivi de la qualité hydrobiologique. Cette dernière, est définie comme la surveillance d'un écosystème aquatique en utilisant la réponse des organismes vivants et leurs exigences particulières par rapport aux différents facteurs du milieu afin de déterminer l'équilibre ou le déséquilibre de cet environnement.

Les organismes utilisés sont appelés indicateurs biologiques ou bio-indicateurs. BLANDIN (1986) in GENIN et *al.* (2003), définit l'indicateur biologique comme « une population ou un ensemble de population, qui par ses caractéristiques qualitatives ou quantitatives, témoigne de l'état d'un système écologique, qui par des variations de ses caractéristiques, permet de détecter d'éventuelles modifications du milieu ».

5-1. Résultats obtenus à partir de l'BMWP'

Dans le tableau 11, sont résumés les résultats des analyses hydro-biologiques (diversité taxonomique, altitude, qualité de l'eau et valeur de l'BMWP') représentés graphiquement sur la figure 33.

Tableau 11: Qualité hydrobiologique des stations étudiées BMWP'.

Station	AI1	AI2	AI3	AIf	HAL1	HAL2	KH	BH
Alt (m)	1300	800	500	520	480	380	220	200
Nombre de taxon	21	34	25	22	21	21	25	24
Classe de qualité	II	I	II	II	II	II	III	III
Qualité de l'eau	Passable	bonne	passable	passable	passable	passable	douteuse	douteuse
Score	79	138	78	74	66	62	38	55
couleur	vert	bleu	vert	vert	vert	vert	jaune	jaune

5.1.1 Discussion

A la lecture du tableau 11, nous constatons que :

- la station AI2 présente une qualité de l'eau qui est bonne et le score est également élevé (138), classe de qualité I avec une variété faunistique de 34 confirmant que l'hydrosystème est propre et non pollué. La présence exceptionnelle des Plécoptères et des Trichoptères Goeridae, Philopotamidae, Brachycentridae et Polycentropodidae, taxons les plus polluo-sensibles, indique une qualité de l'eau et du milieu tout à fait correcte.
- Les stations AI1, AI3, AIf, HAL1 et HAL2 présentent une qualité de l'eau considérée comme passable BMWP' avec des scores compris entre 62 et 79, classe de qualité II, avec une variété faunistique entre 21 et 25, ce qui explique que ces stations sont relativement touchées par une légère pollution. La chute de l'indice EPT est due à la disparition des taxons polluo-sensibles et leur remplacement par d'autres taxa plus résistants à la pollution, thermophiles, potamophiles ou tout simplement par une faune à large valence écologique.
- Quant aux deux stations KH et BH, la qualité de l'eau est douteuse avec respectivement un BMWP' de 38 et 55, une classe de qualité III, l'eau est polluée et une faible variété faunistique (entre 21 et 25 taxons). Cette qualité est liée à la présence d'un peuplement déséquilibré composé principalement de taxons indiquant un milieu altéré.

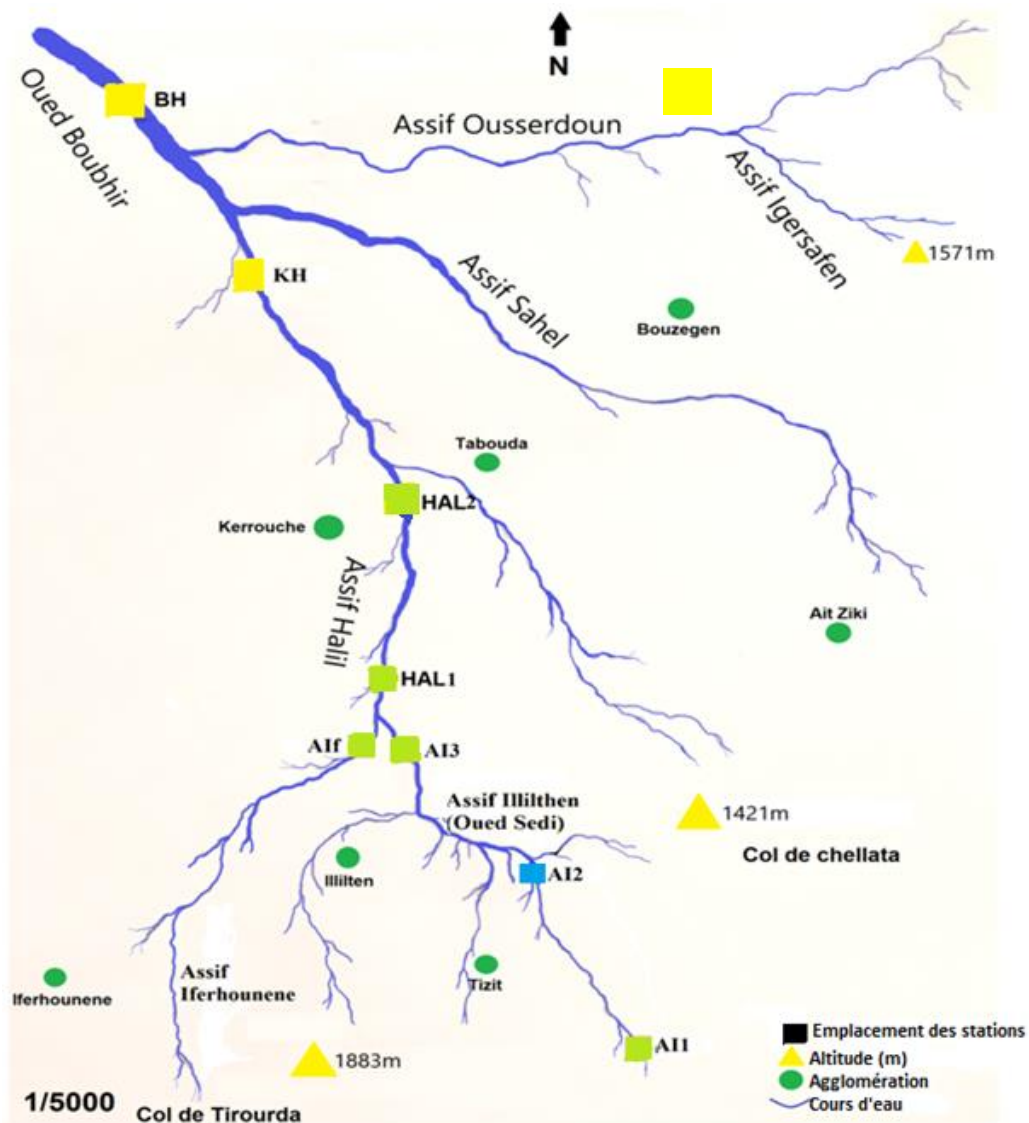


Figure 33: La qualité hydro-biologique des cours d'eau étudiés (méthode BMWP').

5-2- Autres métriques

5-2-1- Résultats obtenus à partir de l'indice EPT

L'indice EPT n'est pas une méthode standardisée mais elle est très utilisée par les professionnels car elle présente l'avantage de mener des contrôles rapides dans la bio-évaluation (MEBARKI, 2017).

Les résultats de l'application de l'indice EPT dans les stations étudiées sont consignés dans le tableau 14.

Tableau 12 : Relation richesse en EPT et qualité de l'eau

Stations	Nombre de famille EPT	Richesse en EPT	Qualité de l'eau
AI1	4	4-7	Faiblement altéré
AI2	12	>7	Non altéré
AI3	5	4-7	Faiblement altéré
AIf	5	4-7	Faiblement altéré
HAL1	3	1-3	Modérément altéré
HAL2	4	4-7	Faiblement altéré
KH	5	4-7	Faiblement altéré
BH	5	4-7	Faiblement altéré

D'après le tableau 12, on peut déduire que le torrent de montagne AI2 (800 m d'altitude) a un nombre de famille en EPT égale à 12, par conséquent, la richesse est >7 et la qualité d'eau est qualifiée de non altérée.

En effet, cette station ne subit pas (ou très faiblement) d'impacts atrophiques, ce qui permet l'installation d'une faune polluo-sensible, rhéophile et sténotherme d'eau froide : les Plécoptères, les Trichoptères (*Wormaldia sp*, *Micrasema sp*, *Polycentropus kingi*, *Sillonella aurata*, *Hydropsyche fezana* et *Hydropsyche obscura*).

Les stations AI1, AI3, AIf, HAL2, KH et BH présentent un nombre de famille en EPT compris entre 4 et 5 ainsi qu'une richesse en EPT comprise entre 4 et 7. Par conséquent, la qualité de l'eau est faiblement altérée, ce qui est due à la disparition des taxa-sensibles suite aux perturbations anthropiques mais les Ephéméroptères sont présents et assez diversifiés.

La station HAL1 quant à elle, présente un nombre de famille en EPT égale à 3 avec une qualité de l'eau modérément altérée. Cette station soumise aux impacts anthropiques qui sont néfastes (rejets urbains, réseaux d'assainissement de plusieurs villages y compris le pompage de l'eau pour l'irrigation). Les Plécoptères ont disparu, ils sont représentés par les Baetidae (*Baetis* et *Caenis*) et les Trichoptères par l'unique taxon eurytherme Rhyacophilidae (*Rhyacophila*) : taxa connus pour leur tolérance à la pollution de matières organiques.

5-2-2- Ratio EPT

L'analyse du ratio EPT nous permet de déduire 3 groupes concernant distincts (tableau 15):

Les stations AI2, HAL2 et KH dénotent un ratio en EPT (%) respectivement de 54,32 %, 68,44% et 57,77%. Ces valeurs appartiennent à la classe ratio EPT ≥ 50 % ce qui correspond aux bonnes conditions écologiques.

Une baisse du ratio EPT est notée au niveau des stations AI3 (36,04) et BH (33,44) les conditions du milieu sont moyennes. Cette petite régression par rapport au groupe précédent n'est qu'un reflet des conditions mésologiques très particulières (pente élevée, fond érodé...).

Les autres stations AI1, AIf et HAL1 qui subissent différents agressions anthropiques (décharge sauvage sur les rives, réseau d'assainissement des villages, pompage de l'eau pour l'irrigation, pâturage, utilisation d'engrais et pesticides pour l'agriculture) présentent un ratio EPT < 25 %. Par conséquent, les conditions écologiques sont mauvaises.

Tableau 13 : Valeur du nombre d'individus EPT et valeur du Ratio EPT

	Nombre d'individus EPT	Faune globale	Ration EPT	Condition de milieu
AI1	16	113	14,15	Mauvaises condition
AI2	226	416	54,32	Bonne condition écologique
AIf	218	1400	15,57	Mauvaises conditions
AI3	615	1706	36,04	Conditions moyennes
HAL1	236	3900	6,05	Mauvaises moyennes
HAL2	731	1069	68,44	Bonne conditions
KH	546	945	57,77	Bonne conditions
BH	695	2078	33,44	Conditions moyennes

5.2.3. Ratio du nombre d'individus EPT/Nombre d'individus Chironomidae

Cet indice nous permet de constater que les stations alticoles ne sont pas trop impactées. En effet, nous avons une prédominance des groupes polluo-sensibles, tandis que les stations de moyenne montagne et de piémont sont plus touchées par la pollution d'où la dominance des taxons tolérants (polluo-resistants).

Le rapport EPT/Chironomidae est faible (<1) dans la AI1, AIf et HAL1 avec des valeurs respectives (0,44 ; 0,76 et 0,71). Ces dernières sont caractérisées par l'abondance des Chironomidae, cela est dû aux conditions environnementales détériorées dans ces stations qui subissent beaucoup de pollution de différentes origines.

Par contre, le rapport est élevé (>1) dans les stations AI2, AI3, HAL2, KH et BH ce qui reflète des bonnes conditions de ces milieux loin des activités perturbatrices avec des communautés équilibrées (tableau 14).

Tableau 14 : Valeur de EPT/ nombre d'individus Chironomidae

	EPT	Chironomidae	EPT/C	L'état de la faune
AI1	16	36	0,44	Communauté déséquilibré
AI2	226	20	11,3	Communauté équilibre
AIF	218	285	0,76	Communauté déséquilibré
AI3	615	94	6,54	Communauté équilibre
HAL1	236	332	0,71	Communauté déséquilibré
HAL2	731	63	11,6	Communauté équilibre
KH	546	64	8,53	Communauté équilibre
BH	695	160	4,34	Communauté équilibre

L'application des différents indices d'évaluation de la qualité de l'eau et du milieu (EPT, ratio EPT et ratio EPT /C) montre qu'en général, les stations alticoles (1300m et 800m) présentent une richesse plus élevée en EPT, un ratio EPT $> 50\%$ ainsi qu'un ratio EPT/C >1 .

Cet ensemble de résultat traduit une qualité de l'eau non altérée, un milieu présentant de bonne condition écologique permettant l'installation d'une communauté équilibrée.

Par contre, dans la plupart des stations affectées par la pollution, les communautés sont déséquilibrées et les conditions écologiques sont mauvaises, ce qui se traduit par une richesse en EPT < 7 , le ratio EPT $< 25\%$ et EPT/C < 1 qui sont faibles.

L'objectif de notre travail est d'effectuer un inventaire général de la faune benthique de l'assif Hallil et de l'oued Boubhir (s.s) et d'évaluer la qualité de l'eau par les voies biologiques.

La campagne de prélèvement effectuée le 06 mai 2023 dans 8 stations situées entre 200 m et 1300 m d'altitude a permis la récolte de 11630 individus répartis en 16 groupes zoologiques, 57 familles et 66 genres. Sur les 66 taxa d'invertébrés benthiques inventoriés, 50 taxa (soit 75,75 %) sont des insectes et 17 taxa (soit 24,24 %) appartiennent aux autres classes : Achètes, Turbelariers, Oligochètes, Mollusques, Crustacés, Hyménoptères, Collembolés, Arachnides et Hydracariens.

L'abondance des microinvertébrés varie d'une station à une autre, elle fluctue entre un minimum de 113 individus pour la station AI1 à 1300 m d'altitude (soit 10,90%) et un maximum de 3900 individus pour la station HAL1 à 410 m d'altitude (soit 40,91%).

La richesse taxonomique fluctue entre un minimum de 21 taxa aux stations AI1, HAL1, HAL2 et un maximum de 34 taxa à la station AI2. Le torrent de montagne AI2 (800 m) présente une richesse taxonomique élevée avec 34 taxa composée essentiellement de taxons rhéophiles et sténothermes d'eau froide. Les stations de moyenne montagne et de basse altitude sont relativement moins diversifiées et avec une richesse taxonomique comprise entre 21 et 25 taxons. Les perturbations anthropiques qui s'exercent surtout en aval ont induit la disparition des taxons les plus sensibles à la pollution avec la prolifération des taxons tolérants la présence de la matière organique.

Sur le plan quantitatif, les Diptères, les Epheméroptères et les Trichoptères sont largement dominants. Ils représentent 88,33% de la faune récoltée. Les autres groupes zoologiques (les Oligochètes, les Mollusques, les Hydracariens, les Plécoptères, Coléoptères, les Planaires Les Odonates, les Hétéroptères, les Crustacées, les Hyménoptères, les Arachnides et les Collembolés) ne constituent qu'une faible proportion de la faune totale récoltée.

Sur le plan qualitatif, les Diptères sont les mieux diversifiés avec 12 familles suivis par les Coléoptères (8 familles), les Trichoptères (7 familles), les Mollusques (6 familles), les Hétéroptères (5 familles), les Plécoptères, les Epheméroptères, les Odonates et les Oligochètes (3 familles chacun) et les Planaires (2 familles).

Les indices de diversité Shannon (H') et l'équitabilité montrent une fluctuation de diversité dans les stations étudiées avec des valeurs qui varient de 0,49 à 2,2 pour l'indice de H' et de 0,13 à 0,66 pour l'indice E. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les stations AI2 et AI1 qui présentent un peuplement bien diversifié et bien équilibré. Les stations AI3 et HAL1 enregistrent des valeurs plus faibles que les précédentes, ce qui est due aux différentes agressions anthropiques, le peuplement dans ces stations est déséquilibré et à dominance des taxons polluo-résistants.

L'analyse des corrélations entre les différents paramètres pris en compte a montré que la plupart des variables sont inter-corrélées. Les résultats de l'analyse en composante principale (ACP) ont confirmé l'influence significative de variables telles que l'altitude, la pente, le substrat et le recouvrement sur la distribution spatiale des stations.

Les valeurs élevées des différents indices (BMWP', EPT, ratio EPT et ratio EPT/C) pour l'évaluation biologique de la qualité de l'eau met en évidence la particularité écologique du torrent de montagne (AI2, alt. 800) et confirme la grande capacité d'accueil de cet hydrosystème. L'absence de perturbations anthropiques conjugué aux différents paramètres mésologiques particuliers (substrat grossier, température de l'eau basse, recouvrement important...etc), favorisent l'installation d'une faune rhéophile, sténotherme d'eau froide et surtout polluo-sensible (Plécoptères, Trichoptères sauf Hydropsychidae).

Inversement, les stations soumises aux différentes perturbations anthropiques (secteurs moyen et aval) enregistrent des valeurs faibles des différents indices appliqués témoignant ainsi de la dégradation des conditions de vie. En effet, les taxons sensibles ont disparu au détriment d'une faune banale, eurytherme et polluo-résistante.

Enfin, il est essentiel d'effectuer des campagnes de sensibilisation des populations à la vulnérabilité des habitats des sources et ruisseaux de montagnes. Ces zones sont considérées comme refuges pour de nombreuses espèces exigeantes et surtout bio indicatrices.

- ABDESSELAM M. 1995.** Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranéen : exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie, Algérie). Thèse de Doctorat, Université Franche Compté : 233 pp.
- AÏT MOULOUD S. 1987.** Essais de recherche sur la dérive des macroinvertébrés dans l'oued Aïssi : Faunistique, Ecologique et Biogéographique. Thèse de Magister. Université des Sciences et de la Technologie. Houari Boumedienne : 119p.
- AÏT MOULOUD S. 1988.** Essais de recherches sur la dérive des macro-invertébrés dans l'oued Aïssi : faunistique, écologie et biogéographie. Thèse de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Institut des Sciences de la Nature, d'Alger, Algérie, 118pp.
- BAGNOULS F. & GAUSSEN H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc.Hist. Toulouse, 88, 193-239.
- BEN MOUSSA A., CHAHLAOUI A., ROUR E. et CHAHBOUNE M., 2014.** Diversité taxonomique du macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued Khoumane. Moula Idriss Zerhoun, Maroc. J. Mater. Environ. Sci. 5 (1) (2014) 183-198.
- BERTRAND H. 1972.** Larves et nymphes des Coléoptères aquatiques du globe. F. Paillard, Imp. Paris : 804 p.
- BERTHELÉMY C. 1979.** Elmidae de la région paléarctique occidentale: systématique et répartition (Coleoptera, Dryopidea). *Ann. Limnol.*, 15 (1) : 103 p.
- BOUAZIZ L & MAHMOUDIA K ; 2021.** Etude faunistique des macroinvertébrés benthiques et état de santé écologique de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s). Mémoire de Magister, U.M.M.T.O : 7p.
- CHAUMONT M et PAQUINC. ,1971.** Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500.000 avec notice explicative. Bull. soc. Hist. Nat. Afr. Nord : 24p.
- DAJOZ R. 1985.** Précis d'éco. Eco. fondamentale et appliquée. 5ème édition. Gauthier Villard. Paris : 505 p.
- DERRIDJ A. 1990.** Etude des populations de *cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Docteurs- sciences, Université Paul Sabatier, Toulouse : 288p.
- DJAMAI S., 2020.** Variations spatiales des Macro-invertébrés benthiques dans le lac Tonga (El-Kala- Wilaya El-Tarf). Thèse de Doctorat, Université Mohamed Boudiaf – M'sila : 84p.
- DUDGEAN D., ARTHINGTON A.H., GESSNER M.O., KAWABATA Z.I., KNOWLER D.J., LÉVÊQUE C., NAIMAN R.J., PRIEUR-RICHARD A.H., SOTO D., STIASSNY M.L.J. & SULLIVAN C.A. 2006.** Freshwater biodiversity:

importance, threats, status and conservation challenges. *Biological review* 81, 163-182.
Duggen S., Hoernle K., Bogaard P.V., Rüpke L. & Phipps Morgan J. 2003. Deep roots of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 422: 602-606.

-ECHAUBARD M., & NEVEU A. 1975. Perturbations qualitatives et quantitatives de la faune benthique d'un ruisseau à truites, la Couse Pavin (PUY- DE-DOME), dues aux pollutions agricoles et urbaines. *Lab. De Zoologie, Bio. animal et écologique. INA-INRA* : 24 p.

-EVRARD M. & POWELL A. 2002. Rivers as living systems. *Aq. Cons. Mar. Freshwat. Ecosyst.*, 12 : 329 – 337.

-FLANDRIN J., 1952. La chaine du Djurdjura : monographies régionales. XIX congres géologiques internationales, Algérie 1ère série. 19 : p 49

-FAURIE C., FERRA C. & MEDORI P. 1980. *Ecologie.* Edition. Baillière. Paris : 168p.

-HAOUCHINE S., 2011. Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie.

-LAMINE S., 2021. Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Epheméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Hydraenidae et Elmidae des cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura. Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou : 248 pp.

-LAVANDIER P. 1979. *Ecologie d'un torrent Pyrénée de haute montagne : l'Estaragne.* Thèse de doctorat d'Etat. Université Paul Sabatier, Toulouse : 532 pp.

LENAT D. 1988. Water quality assessment of streams using a qualitative collection method for benthic macroinvertebrates *Journal of the North American Benthological Society* 7 (3), 222-233 pp.

-LÉVÊQUE C., BALIAN E.V. & MARRTENS K. 2005. An assesment of animal species diversity in continental waters. *Hydrobiologia*, 542: 39-67 pp.

-LOUNACI A. 1987. Recherches hydrobiologiques sur les peuplements d'invertébrés benthiques du bassin de l'Oued Aissi (Grande Kabylie). Thèse Magister, U.S.T.H.B., 133 p.

LOUNACI A. 2005. Recherches sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de Doctorat d'état en biologie. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou : 208 pp.

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

- MAHFOUFI N & SAIB C ; 2022.** La biodiversités des odonates du sous-bassin versant de l'oued Boubhir dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire de Magister, U.M.M.T.O : 37p.
- MEBARKI M. 2001.** Recherche hydrobiologique de trois réseaux hydrographique de Kabylie (Parc National de Djurdjura, Oued Sébaou, Oued Boghni) : Faunistique, Eco. et biogéo. des macroinvertébrés benthiques. Thèse magister. 24-28.
- MEBARKI M. 2017.**Bio-éco. et biogeo. des macroinvertébrés benthiques de quelque cours d'eau du Nord de l'Algérie et distribution spatiale des peuplements. Thèse Doct., U.S.T.H.B: 231p.
- MEDDOUR R. 2010.** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et pré-forestiers de la Kabylie Djurdjurienne. Thèse d'État en Sciences Agronomiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou : 397 pp.
- MOUBAYED J., AIT-MOULOUD S. & LOUNACI A 1992.** Les Chironomides (Diptera) d'Algérie. I. Bassin de l'oued Aissi (Grande Kabylie). Nachr Bl. Bayer. Ento., 41 (1) : 21-29.
- PLAFKIN J.L., BARBOUR M.T.,POTER K.D.,GROSS,S.K.& HUGHES,R.M.1989.** Rapid Bioassensment protocols for use in streams and rivers : benthics macroinvertebrates and fish. U.S.Environmental protection Agency 444/4-89- 001. Office of water Regulation and Standards, Washington DC, USA, 160 p.
- POISSON R. 1957.** Hétéroptères aquatiques. In P. Lechevalier (Ed.), Faune de France, C.N.R.S. (Paris), 61 : 264 p.
- QUEZEL P., 1956.** Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Encyclopédie Biogéographique et Ecologique, 10. Lechevalier éd., 463p. Paris.
- RAMADE F. 2003.** Element d'écologie: Ecologie fondamentale. 3ème edition. Dunod. Paris: 190p.
- RAYMOND D. 1976.** Evaluation sédimentaire et tectonique du Nord-Ouest de la Grande Kabylie au cours du cycle alpin. Thèse de Doctorat en Sciences, Paris : 154 pp.
- REVENGA C. & KURA Y. 2003.** Status and Trends of Biodiversity of Inland Water Ecosyst. Secretariat of the convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series N° 11, 120 p.
- RICHOUX PH., 1982.** Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Coléoptères aquatiques. Genres : adultes et larves. Association française de limnologie ; extrait du bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon 51e année, n° 4,8 et 9. 56p
- RIVOSECCHI L., 1984.** Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne Italiane. DITTERI (Dipteria). Consiglio nazionale delle ricerche. 176p
- RODIER J., 1996.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème Edition. Dunod. 1383 p.

- SELTZER P., 1946.** Le climat de l'algérien, carte H.T institut. Terre et Phys du glob. Univ. Alger.219P.
- SIKHI S., 2022.** Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Trichoptères des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de doctorat, U.M.M.T.O : 24p.
- TACHET H., BOURNAUD M. & RICHOUX PH., 1980.** Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces (Systématique élémentaire et aperçu écologique) université de Lyon I. Associations Française le Limnologie : 150p.v.
- THIEBAULT J., 1952.** Socle métamorphique en grande Kabylie : monographie régionale.XIX ème congrès géologique international, Algérie, 1 ère série (4) : 43p.
- THOMAS A.G.B. 1981.** Travaux sur la taxonomie, la bio. et l'éco. d'insectes torrenticoles du Sud-Ouest de la France (Ephéméroptères et Diptères : Dixidae, Cecidomiidae, Rhagionidae et Athericidae), avec quelques exemples de perturbations par l'homme. Thèse Doct, Univ. Paul Sabatier, Toulouse: 330 p.
- YAKOUB B., 1985.**Contribution à l'étude hydrogéographique de la Kabylie occidentale (Algérie). Thèse Magister. Univ Pierre et Marie Curie, Paris VI : 215p.
- YAKOUB B., 1996.** Le problème de l'eau en grand Kabylie. Le bassin versant de Sébaou et la wilaya de Tizi-Ouzou. Edition Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou: 210p.
- YAKOUB B., 2005.** L'eau dans le bassin versant du Sébaou et la wilaya de Tizi-Ouzou. Evaluation, contraintes et recommandations. Thèse doctorat d'état en sciences de l'eau. UMMTO. 268p.

Annexe 1 : Précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (Azazga, Tizi-Ouzou et Boubhir) pour la période 1995-2014.

	sep	oct	nov	dec	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aout
Azazga	48,7	82	141	181	177,7	105	101	136	65,3	9,2	3,1	3,1
Tizi- ouzou	40,5	67	132	150	154	89,3	76,1	92	57,7	8,8	3,8	3,8
Boubhir	47	75	118,2	158	144,9	83	92,7	121	65,3	9,1	5,2	5,2

Annexes 2 : Valeurs mensuelles des températures de Tizi-ouzou (2010, 2021).

	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	déc
TM°C	16,1	16,8 3	16,0 4	24,7 6	26,8 5	31,5 4	36,0 6	35,5 9	31,6 2	27,6 4	21,4 6	17,0 2
Tm°C	7	7,2	9,09	11,5 6	14,0 3	17,7 5	21,3 8	22,2	19,2 6	15,4 9	12,2 2	8,14
Tmoy°C	10,8 8	11,4 8	13,6	16,5	20,4 8	24,3 4	29,1	28,5 2	24,7 3	20,8 6	15,1 6	10,8 5

TM°C : température maximales ; **Tm°C** : température minimales ; **Tmoy°C** : température moyennes.

Annexe 03 : Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune (Norme NFT 90-350 mars 2004).

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Taxons	Σ GI	>50	49	44	40	36	32	28	24	20	16	12	9	6	3
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebidae	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
Hydroptilidae Heptageniidae Potamitarcidae Potamanthidae	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyidae Rhyacophilidae	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
Limnephilidae* Hydropsychidae* Ephemerellidae* Aphelocheiridae*	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae* Caenidae* Elmidae* Gammaridae* Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae* Asellidae* Achètes Oligochètes*	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Annexe 04 : Scores des familles des macroinvertébrés « indice BMWP' ».

Familles	Scores
E : Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae P : Taeniopterygidae, Leuctidae, Capniidae, Chloroperlidae, Perlodidae T : Phryganeidae, Molannidae, Baraeidae, Odontoceridae, Georidae T : Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomidae D : Athericidae, Belephariceridae H : Aphelocheiridae	10
O : Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshenidae O : Corduliidae, Libellidae T : Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossomatidae C : Astacidae	8
E : Ephemerellidae, Prosopistomatidae P : Nemouridae T : Rhyacophilidae, Coenargiidae	7
M : Noteridae, Viviparidae, Ancylidae, Thiariadem, Unionidae T : Hydroptilidae C : Gammaridae, Atyidae, Corophiidae O : Platyenemedidae, Coenagriidae	6
E : Oligoneuriidae, Polymitracyidae C : Dryopidae, Elimdae, Helophoridae, Hydrichidae, Clambidae T : Hydropsychidae D : Tipulidae, Simuliidae TR : Plaanaridae, Dugesiidae, Dendrocoelidae	5
E : Baetidae, Caenidae C : Hoclplidae, Cuculionidae, Chryiosomelidae D : Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae D : Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limpnidae, Psuchodidae, Sciomyzidae, Rhagionidae N : Sialidae HR : Psicolidae A : Hydracaina	4
H : Mesoveliidae, Veliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Neucoridae, Pleidae H : Notonectidae, Corixidae C : Helodidae, Hydrphilidae, Hygobiidae, Dyticidae, Gyrinidae M : Valavatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae HR : Glossiphonidae, Hirudidae, Erpobdelidae C : Assellidae, Ostracodae	3
D : Chironomidae, Culcidae, Thaumaleidae, Ephyridae	2
O : Oligochaeta (Toutes les familles) D : Syrphidae	1

Résumé

Huit stations lotiques, de l'assif Hallil et de l'oued Boubhir (s.s), ont été prospectées entre 200 et 1300 m d'altitude et les prélèvements benthiques ont été faits à l'aide du filet Surber (0,25 m²).

Le présent travail a permis de recenser un total de 11630 individus appartenant à 16 groupes zoologiques, 57 familles et 66 genres.

L'abondance des microinvertébrés fluctue entre un minimum de 113 individus pour la station AI1 à 1300 m d'altitude et un maximum de 3900 individus pour la station HAL1 à 410 m d'altitude. La richesse taxonomique varie entre un minimum de 21 taxa aux stations AI1, HAL1, HAL2 et un maximum de 34 taxa à la station AI2.

Sur le plan quantitatif, les Diptères, les Epheméroptères et les Trichoptères sont largement dominants. Sur le plan qualitatif, les Diptères sont les mieux diversifiés avec 12 familles.

Les indices de diversité Shannon (H') et l'équitabilité montrent une fluctuation de diversité dans les stations étudiées avec des valeurs qui varient de 0,49 à 2,2 pour l'indice de H' et de 0,13 à 0,66 pour l'indice E.

L'évaluation biologique de la qualité de l'eau et du milieu par les différents indices BMWP', EPT, ratio EPT et ratio EPT/C, montre que le secteur amont est bien équilibré avec des valeurs des indices élevés témoignant de la grande capacité d'accueil du milieu. Contrairement au secteurs moyen et inférieur affectés par les différentes agressions anthropiques dénotant des valeurs inférieures des indices biologiques.

Mots clés : assif Hallil, oued Boubhir (s.s), macroinvertébrés benthiques, qualité de l'eau.