

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Département : Ecologie et environnement



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences de la Nature
et de la vie
Spécialité : Ecologie Animale

Thème

**Macro-invertébrés benthiques et état de santé
biologique, physico-chimique et bactériologique
de quelques cours d'eau du sous bassin versant
de l'Oued Boubhir**

Réalisé par :

M^{elle} IMARAZENE Celia

Soutenue devant les jurys :

Présidente : Mme TALBI-KHAMMES N.	MAA	à	l'UMMTO
Promotrice : Mme SEKHI S.	MCB	à	l'UMMTO
Co-promoteur : Mr. HADDADI N.	Ingénieur au laboratoire SEAAL	à	TAKSEBT
Examinatrice : Mme HAOUCHINE S.	MAA	à	l'UMMTO

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à toutes les personnes qui, par leur soutien, leurs conseils ou leur expertise ont contribué à la réalisation de ce travail.

Mes sincères remerciements à Monsieur **LOUNACI A.**, professeur à l'UMMTO de nous avoir accueillis dans le laboratoire d'hydrobiologie.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à madame **SEKHI S.**, Maitre de Conférences à l'université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou d'avoir accepté de m'encadrer tout au long de ce projet et pour son aide et les connaissances qu'elle m'a transmises. Ses conseils avisés, sa disponibilité et son enthousiasme m'ont permis de mener à bien ce travail avec succès.

J'adresse mes sincères remerciements à :

* **Mr HADDADI N.**, ingénieur au laboratoire de la station de traitement des eaux du barrage de Taksebt, pour son encadrement tout au long de mon stage. Son expertise en traitement des eaux, sa disponibilité et ses encouragements ont été déterminants pour la réussite de mon travail. Grâce à lui, j'ai pu acquérir une expérience significative.

***Mme TALBI-KHAMMES N.**, maitre-assistant A à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de présider le jury.

***Mme HAOUCHINE S.**, maitre-assistant A à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou d'avoir consacré son temps afin d'examiner ce modeste travail.

***Mme KECHEMIR H.**, doctorante à L'UMMTO pour l'aide qu'elle m'a apportée au laboratoire et pour ses conseils et ses encouragements.

***Mme MALLIL K.**, maitre-assistant A à l'Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou pour ses encouragements, ses précieux conseils et sa bienveillance.

***Mr. BAIKECHE L.** doctorant à l'UMMTO pour sa disponibilité et son aide.

- J'exprime ma profonde gratitude à **Madame CHIKHI A.**, responsable du laboratoire de la station de traitement des eaux du barrage de Taksebt pour sa bienveillance et son encouragement.

Mes remerciements les plus distingués sont adressés particulièrement à **Mr SADI OUFELLA M.A.** de Tizit et son ami **Mr BOUZIDENE B.** de Zoubga pour leur aide précieuse sur le terrain et surtout pour leur gentillesse.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À ma famille, à mes chers parents qui m'ont toujours soutenue et encouragée, à mon cher petit frère et à mes chères deux sœurs qui ont toujours été là pour moi. C'est grâce à eux que j'ai pu mener à bien ce projet.

À tous mes amis qui m'ont aidée de loin ou de près, en particulier Farid et Ali.

À ceux qui m'aiment et que j'aime.

SOMMAIRE

Listes des abréviations

Listes figures et des tableaux

Introduction.....01

Chapitre I : Sites d'étude

1. Situation géographique de la région d'étude05

2. Cadre géologique de la région d'étude06

3. Climatologie07

3.1. Précipitations07

3.2. Températures09

4. Description du réseau hydrographique et stations d'étude10

4.1 Assif Hallil et ses tributaires 11

4.2 Assif Illilthen 11

4.3 Assif Tirourda..... 11

4.4 Assif Iferhounene 11

4.5 Assif Hallil (s.s)..... 11

4.6 Oued Boubhir 11

5. Caractéristiques physiques des stations étudiées14

5.1 La pente..... 14

5.2 Le débit 14

5.3 L'écoulement et la vitesse du courant 14

5.4 Le substrat 15

5.5 La température de l'eau 15

6. Perturbations anthropiques16

7. Couvert végétal17

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Matériels et méthodes de l'étude biologique.....20

1.1. Prélèvement des échantillons benthiques.....20

1.2. Conservation des échantillons benthiques20

1.3. Lavage, le tri et la détermination20

2. Méthodes d'analyse de la faune benthique21

2.1 Indices écologiques de composition et de structure des peuplements21

2.2 Richesse taxonomique (spécifique)21

2.3 Abondance relative des espèces (la dominance)21

2.4 Occurrence relative des espèces22

2.5 Indice de diversité de Shannon (1949)22

2.6 Indices biologiques23

3. Matériels et méthodes de l'analyse physico-chimique25

3.1 Echantillonnage de l'eau25

3.2 Matériels utilisés	26
4. Paramètre organoleptique.....	26
4.1 La couleur	26
5. Paramètres physico chimiques	26
5.1 La turbidité	26
5.2 L'oxygène dissous	27
5.3 Le pH	27
5.4 La conductivité électrique	27
5.5 Matières en suspension (MES).....	28
5.6 Les résidus secs	28
5.7 Paramètres de pollutions	28
5.8 L'ammonium (NH_4^+)	28
5.9 Les nitrates (NO_3^-).....	28
5.10 Les nitrites (NO_2^-).....	28
5.11 Ortho phosphates (PO_4^{3-}).....	29
5.12 Matières organiques.....	29
6. Matériels et méthodes de l'analyse bactériologique	29
6.1 Echantillonnage de l'eau.....	29
6.2 Matériels utilisés.....	30
6.3 Paramètres bactériologiques	30
6.4 Coliformes totaux	30
6.5 Streptocoque	30
6.6 Escherichia – coli.....	30

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Paramètres mésologiques	32
1.1 La pente	32
1.2 La température de l'eau	32
1.3 L'écoulement et la vitesse du courant	32
1.4 Le substrat.....	33
2. Evaluation physico-chimique de la qualité de l'eau	34
2.1 Paramètre organoleptique	34
2.1.1 La couleur	34
2.2 Paramètres physico-chimiques	35
2.2.1 La turbidité	35
2.2.2 Le pH	36
2.2.3 La dureté (TH).....	36
2.2.4 La conductivité électrique	36
2.2.5 L'oxygène dissous	37
2.2.6 La matière organique	37
2.3 Paramètres de pollution	38

2.3.1 L'Ammonium, les Nitrites et les Nitrates	38
2.3.2 Les Orthophosphates	39
3. Evaluation bactériologique de la qualité de l'eau	40
3.1 Coliformes totaux	41
3.2 Escherichia – coli	41
3.3 Streptocoques fécaux.....	41
4. Résultats faunistiques	41
4.1 Analyse globale de la faune benthique	41
4.2 Abondance stationnelle	45
4.3 Richesse taxonomique	46
4.4 Abondance et occurrence des taxons	47
5. Analyses quantitative et qualitative de la faune benthique	48
5.1 Les Ephéméroptères	48
5.2 Les Diptères	49
5.3 Les Plécoptères	50
5.4 Les Coléoptères	51
5.5 Les Trichoptères	52
5.6 Les Hétéroptères	53
5.7 Les Odonates	53
5.8 Les Vers	54
5.9 Autres groupes zoologiques	54
6. Etude de la diversité.....	55
6.1 Indices de diversité de Shannon et Equitabilité	55
6.2 Evaluation de la qualité hydrobiologique de l'eau (IBGN).....	56
7. Discussion générale.....	59
Conclusion	61
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius

E-coli: Escherichia coli.

ISO: International Organization for Standardization

MO : Matière Organique.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

O.N.M.T.O : Office National de Météorologie Tizi-Ouzou.

SEAAAL : Société d'Eau et D'assainissement d'Alger.

AI : Altitude

MES : Matière en suspension.

RS : Résidus secs.

UV : Ultraviolet.

UFC : Unité formant colonie.

GG/G : Gros Galets/Galets,

S/L : Sables/Limons,

pH : Potentiel Hydrogène.

ms/cm : Micro Siemens par Centimètre.

ml : Millilitre.

mg/l : Milligramme par Litre.

µm : Micro Mètre.

µg/l : Microgramme par Litre.

m : Mètre

Liste des figures

Figure1 : Situation géographique de la région d'étude (Lounaci, 2005)	05
Figure2 : Schéma géologique de la Kabylie (Dagorne & Mahrouf, 1984)	07
Figure3 : Précipitations moyennes mensuelles(mm) dans les localités de référence (Période 2000-2013).....	08
Figure4 : Températures moyennes de l'air (°C) (maximales et minimales) à Tizi Ouzou pour la période 2012-2020 (source : O.N.M de Tizi Ouzou).....	09
Figure5 : Réseau hydrographique étudié emplacement des stations	10
Figure6 : Représentation photographique des stations d'étude.	12
Figure 7 : Les variations de la couleur de l'eau des stations d'étude.....	35
Figure 8 : Les variations de la turbidité des eaux dans les stations d'étude	35
Figure 9 : Les valeurs de pH des stations d'étude	36
Figure 10 : Les valeurs de la conductivité électrique des stations étudiées.....	37
Figure 11 : Les valeurs d'O ₂ dissous dans les stations d'étude.....	37
Figure 12 : Les concentrations de la matière organique dans les stations d'étude.	38
Figure 13 : La concentration d'ammonium, des nitrites et des nitrates dans les stations d'étude.....	39
Figure 14 : Les concentrations des Orthophosphates dans les stations d'étude.	39
Figure 15 : Répartition globale de la faune benthique dans les stations d'étude.....	42
Figure 16 : Abondance stationnelle de faune globale dans les stations d'étude	45
Figure 17 : Richesse taxonomique de faune globale dans les stations d'étude	45
Figure 18 : Abondance relative (%) des taxons récoltés.	46
Figure 19 : Occurrence relative (%) des taxons récoltés.	47
Figure 20 : Abondance des Ephéméroptères récoltés.	48
Figure 21 : Abondance des Diptères récoltés.	49
Figure 22 : Abondance des Plécoptères récoltés.	50
Figure 23 : Abondance des Coléoptères récoltés	51
Figure 24 : Abondance des Trichoptères récoltés	52
Figure 25 : Abondance des Héteroptères récoltés.	52
Figure 26 : Abondance des Odonates récoltés	53
Figure 27 : Abondance des Vers récoltés	53
Figure 28 : La diversité taxonomique des stations étudiées.	57
Figure 29 : Les valeurs de l'IBGN	57
Figure 30 : le groupe indicateur de l'IBGN	57
Figure 31 : Les altitudes des stations étudiées.	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques mésologiques des stations étudiées	13
Tableau 2 : Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique du macrofaune (Norme NFT 90-350 mars 2004).	24
Tableau 3 : Les différentes classes de la qualité de l'eau selon l'IBGN.	25
Tableau 4 : Altitudes et pentes des stations étudiées	32
Tableau 5 : Températures moyennes ponctuelles de l'eau enregistrées aux stations d'étude .	32
Tableau 6 : Altitude, largeur du lit et vitesse du courant mesurée aux stations d'étude.	33
Tableau 7 : Nature du substrat (minéral et végétal) dans les stations étudiées.....	34
Tableau 8 : Résultats des paramètres physico-chimiques des stations d'étude.	34
Tableau 9 : Résultats de l'analyse bactérienne des stations d'étude.....	40
Tableau 10 : Nombre de familles et de genres par groupe zoologique dans les stations d'étude	42
Tableau 11 : Répartition de la faune benthique dans les stations étudiées.....	44

Introduction générale

L'eau est un élément essentiel à toute forme de vie, est un régulateur climatique essentiel et une ressource vitale pour les activités humaines. Sa vulnérabilité aux pollutions et aux changements climatiques en fait une ressource fragile, nécessitant une gestion intégrée et durable pour garantir un avenir durable à l'humanité

La préservation de la qualité de l'eau est un enjeu majeur pour la gestion majeure de l'environnement mais également pour celle de la biodiversité. En effet, les écosystèmes aquatiques revêtent une grande importance car ces milieux constituent une ressource vulnérable en raison des pressions anthropiques fortes et croissantes qui s'exercent (Agropolis, 2007 ; Sanogo & Kabre, 2014 ; Sanogo et *al.*, 2014).

L'évaluation de la qualité des eaux de surface repose généralement sur l'analyse de paramètres physico-chimiques et biologiques, notamment la présence d'organismes indicateurs (De Villiers et *al.*, 2005).

Les pollutions d'origine diverse altèrent les caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau, affectant ainsi la composition et l'abondance des communautés de macroinvertébrés. Ces derniers, sensibles aux variations environnementales, sont utilisés comme bio-indicateurs pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques (Fossati et *al.*, 2001).

Ainsi, l'état biologique et écologique des communautés résidentes d'un écosystème est le reflet de l'ensemble des caractéristiques (biologique, physico-chimiques et bactériologiques) du milieu, autant passées que présentes (Karr et *al.*, 1986 ; Ohio Epa, 1987).

L'étude de la faune, les macroinvertébrés benthiques, couplée à des analyses écologiques, répartition spatiale et structure des populations, biogéographiques et physico-chimiques, l'évaluation et la surveillance de la qualité des eaux, est indispensable pour comprendre la dynamique des écosystèmes aquatiques, naturels ou aménagés. Ces études permettent d'évaluer l'état de santé écologique de ces milieux et de mettre en place des stratégies de gestion adaptées.

Pour référence, des travaux aussi nombreux que variés s'y rapportent aux cours d'eau de Kabylie dans les domaines relatifs à l'écologie et à la faunistique des macroinvertébrés benthiques : 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), Mokrani & Mokraoui (2022), et Sekhi (2022), Boudjema & Boudali (2023), Boufelah & Rezoug (2023).

Cette étude vise à caractériser les communautés de macroinvertébrés benthiques de quelques cours d'eau du sous bassin versant de l'oued Boubhir afin d'évaluer l'état écologique de ces milieux aquatiques. Nous procéderons à des inventaires faunistiques détaillés, à une analyse de la répartition spatiale des taxons en fonction des habitats et à une évaluation de la qualité de l'eau par le biais d'indices biologiques (IBGN) et de paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre la dynamique des populations de macroinvertébrés et d'identifier les facteurs environnementaux influençant leur distribution.

L'ensemble de ce travail se scinde en trois chapitres :

- Le premier chapitre résume les caractéristiques générales de la région d'étude : géographie, géologie, climatologie et perturbations anthropiques ainsi que la description des sites d'étude ;
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des méthodes et techniques mises en œuvre pour la réalisation de ce travail qui répondent à la problématique annoncée ;
- Le troisième chapitre traite les différents résultats obtenus avec leurs discussions : état de santé de l'hydrosystème (voies biologique, physico-chimique et bactériologique) et analyse détaillée des macroinvertébrés benthiques récoltés.

Sites d'étude

2. Cadre géologique de la région d'étude

La géologie d'une région influence de manière significative le cycle de l'eau en régulant l'infiltration et le stockage de l'eau. Par ailleurs, elle contrôle les processus d'érosion et de transport des sédiments, modelant ainsi les paysages.

La Kabylie du Djurdjura a été l'objet de nombreuses études géologiques depuis les années 1950. Des chercheurs comme Flandrin, Thiebault et Raymond ont notamment contribué à éclairer la stratigraphie, la tectonique et l'orogénèse de cette région. (Flandrin, 1952 ; Thiebault, 1952 ; Raymond, 1976 ; Gelard, 1979 ; Yakoub, 1996 ; Dagorne & Mahrour, 1984).

La région de Tizi-Ouzou (la Kabylie du Djurdjura) a été façonnée par l'orogénèse alpine périméditerranéenne de la chaîne littorale d'Afrique du Nord, un événement géologique majeur qui s'est déroulé principalement. Elle constitue l'une des zones internes de la chaîne des Maghrébides (Durand-Delga, 1980).

Les unités morfo structurelles rencontrées en Kabylie se résument (figure 2):

- **À la dorsale du Djurdjura :** Elle est constituée essentiellement de terrains calcaires, d'âges Liasique et Eocène qui favorisent le phénomène de karstification et le développement d'importants aquifères. Le Djurdjura est une chaîne de montagne récente, elle se dresse comme une barrière entre les formations du socle métamorphiques au Nord et celle du Crétacé tellien au Sud.
- **Au socle kabyle :** Il est constitué de formations cristallophylliennes d'origines métamorphique et magmatique (Phyllades, Schistes, Gneiss et marbres). Il favorise les écoulements superficiels des eaux vers les principaux affluents de l'oued Sébaou.
- **Au Miocène :** Il est constitué principalement de marnes et d'argiles, soit au contact du socle Kabyle, soit à celui de la formation du quaternaire (Yakoub, 1985). Il est de nature imperméable, ce qui favorise les écoulements et la bonne circulation des eaux vers les oueds.
- **Au Quaternaire :** Il se compose d'un matériel hétérogène : grossier en amont (galets, graviers, sables) et fin en aval (sables fins, vase et limons) et peut former des nappes alluviales à la suite des importantes accumulations.

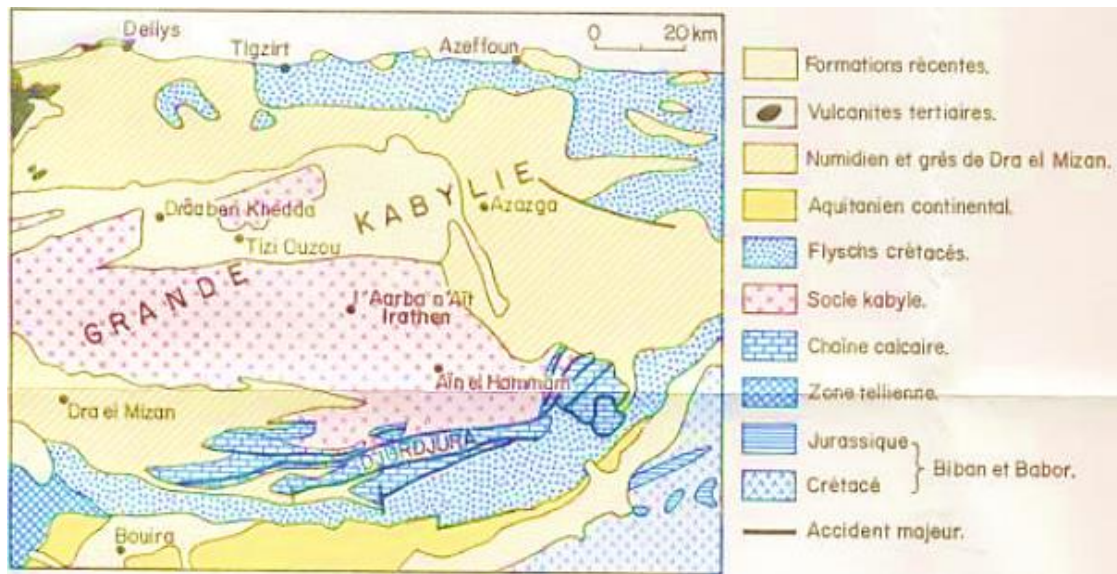


Figure 2 : Schéma géologique de la Kabylie (Dagorne & Mahrour, 1984).

3. Climatologie

Le climat dans sa définition générale est un ensemble de conditions atmosphériques ou de phénomènes météorologiques qui caractérisent principalement l'atmosphère et qui rendent le milieu de la surface terrestre plus au moins habitable. D'après Benabadji (1991), toute étude écologique nécessite une étude approfondie du climat (température, précipitations, humidité, pression atmosphérique...etc).

Le climat général de l'Algérie est de type méditerranéen (Seltzer, 1946) c'est un climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropical avec un été chaud et très sec, tempéré en bordure de la mer, seulement l'hiver est très frais et plus humide (Emberger, 1955 ; Estlenne & Godard, 1970).

Le climat de la Kabylie est de type méditerranéen. Il est caractérisé par la sècheresse de la saison estivale et des hivers relativement humides avec des précipitations torrentielles (Abdesselam, 1995).

3.1 Précipitations

La pluviométrie est un facteur très important qui est déterminée par sa durée de chute et son intensité. Elle est caractérisée par une répartition inégale d'un point à un autre et d'une saison à une autre.

En Algérie, la pluviométrie est sous l'influence des facteurs géologiques : l'altitude, la latitude, la longitude et l'exposition. Elle est conditionnée par la direction des axes montagneux par rapport à la mer est aux vents humides. En effet, la pluviosité augmente avec l'altitude, mais

elle est plus élevée sur le versant exposé aux vents humides. Elle augmente d'Ouest en Est et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers le Sud (Cote, 1974 ; Kadik, 1987).

Les études sur le climat de l'Algérie montrent que la Kabylie du Djurdjura est parmi l'une des régions les plus arrosées, environ 10% de sa superficie se trouve au-dessus de 800 m d'altitude. Dans cette région les potentialités en eau de surface sont relativement importantes. Elles sont attribuées au rôle joué par le massif montagneux du Djurdjura. Ce dernier, par son orientation Est-Ouest constitue une barrière naturelle aux vents humides provenant du Nord-Ouest donnant naissance à des précipitations assez élevées.

Nous avons été contraints d'utiliser les données pluviométriques des stations de références (Ait aicha, Ath-Ouabane, Boubhir et Tizi-Ouzou) disponibles pour la période 2000-2013 (SEKHI, 2022). Les données ont été fournies par l'ANRH de Tizi-Ouzou et sont consignées dans les annexes 1.

La lecture de la figure 3 montre que les précipitations moyennes mensuelles présentent le même profil pluviométrique :

*Le maximum pluviométrique est enregistré en décembre et janvier pour l'ensemble des stations, il varie de 154mm à 210,9mm ;

*Le minimal pluviométrique est enregistré en juillet, avec des valeurs comprises entre 3,8mm et 8,3mm, les précipitations reprennent après en septembre.

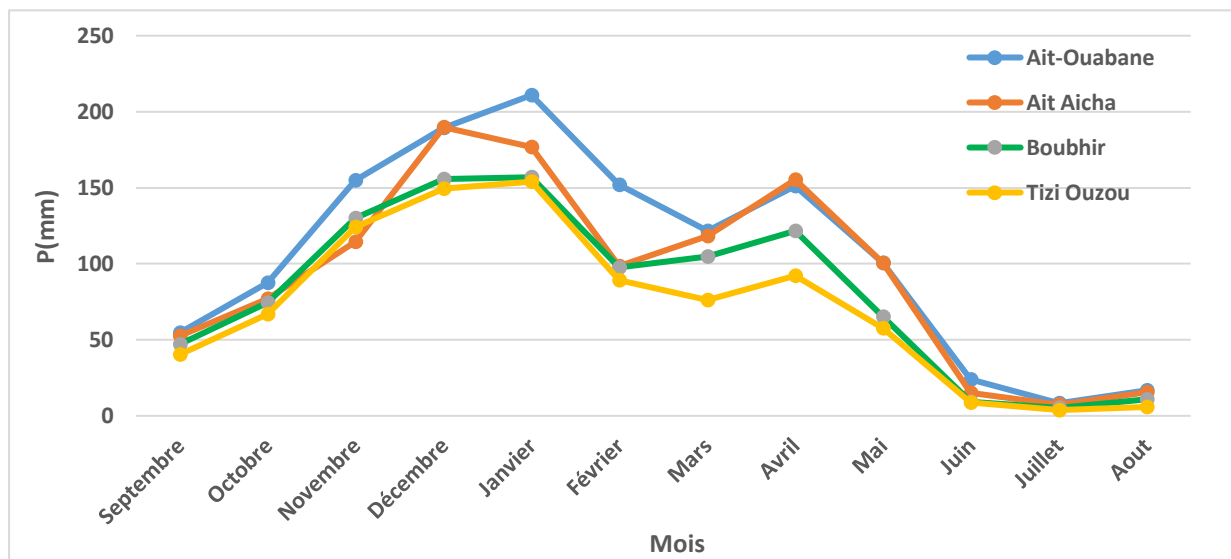


Figure 3 : Précipitations moyennes mensuelles(mm) dans les localités de référence (Période 2000-2013).

3.2 Température

La température de l'air est un facteur écologique important, elle influence sur tous les organismes vivants (espèces végétales et animales, champignons et micro-organismes) et conditionne leurs repartions (Dajoz, 2006 ; Faurie et *al.*, 2003).

Elle influence toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques (Beaudry & Henry, 1984). Elle détermine les grandes régions climatiques terrestres, régule la vitesse des réactions cellulaires et intervient sur l'évaporation des plans d'eau et la transpiration des êtres vivants en conditionnant la répartition de la totalité des espèces dans la biosphère (Ramade, 1984).

Nous avons la possibilité d'utiliser uniquement les données de l'Office National de Météorologie (ONM) de Tizi-Ouzou pour la période allant de 2012 à 2020 (annexe 2).

Les moyennes annuelles des températures de l'air à Tizi-Ouzou sont variables d'une année à l'autre (annexe 2).

Les températures moyennes annuelles varient d'une année à une autre. La moyenne interannuelle enregistrée à Tizi-Ouzou est de l'ordre de 19,16°C.

La lecture de la figure 4 montre que les mois les plus chauds sont juillet et août, où les températures moyennes enregistrées sont respectivement de 28,24°C et 28,32°C, avec des maximales de 36,08°C et 35,11°C.

Les mois de janvier et février sont les mois les plus froids avec des températures moyennes de 10,64°C et 10,84°C, et un minimum de 6,72°C

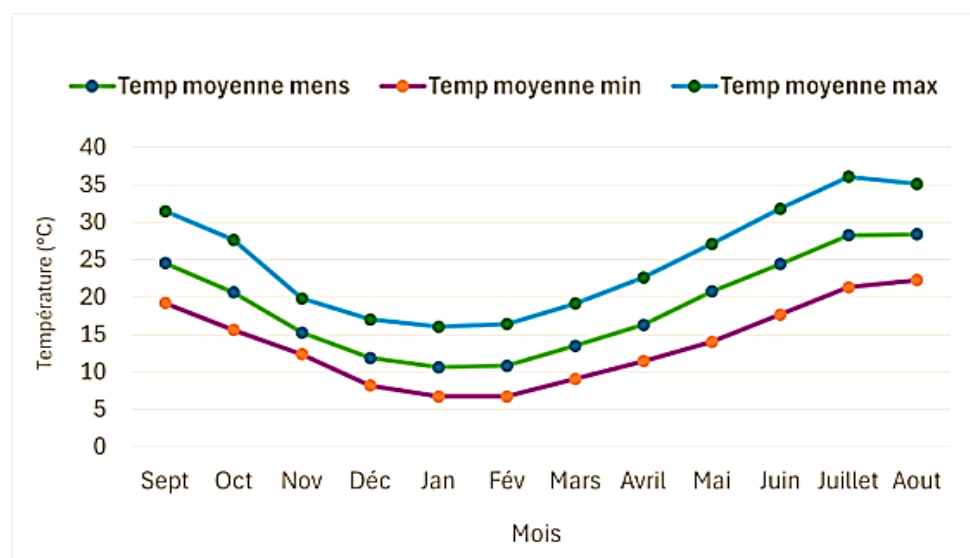


Figure 4 : Températures moyennes de l'air (°C) (maximales et minimales) à Tizi-Ouzou pour la période 2012-2020 (source : O.N.M de Tizi-Ouzou).

4. Description du réseau hydrographique et stations d'étude

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) et la partie orientale du Djurdjura (col de Chellata et col de Tirourda).

Ce travail est consacré à l'étude de quelques affluents du sous bassin versant de l'oued Boubhir.

Parmi les stations prospectées, 7 ont été retenues en tenant compte particulièrement de certains paramètres tels que l'altitude, la pente, le recouvrement, la diversité des biotopes, l'amont et l'aval des agglomérations, ce choix est conditionné aussi par l'accessibilité aux stations et la sécurité (tableau 1). La campagne d'échantillonnage a été réalisée le 8 juin 2024 et les stations retenues se répartissent comme suit (figure 5) :

- 2 stations sur assif Illilthen : AI, TGH
- 2 stations sur assif Tirourda : TR, ZB
- 1 station sur assif Iferhounene: IF
- 1 station sur assif Hallil (s.s) : KH
- 1 station sur l'oued Boubhir : BH

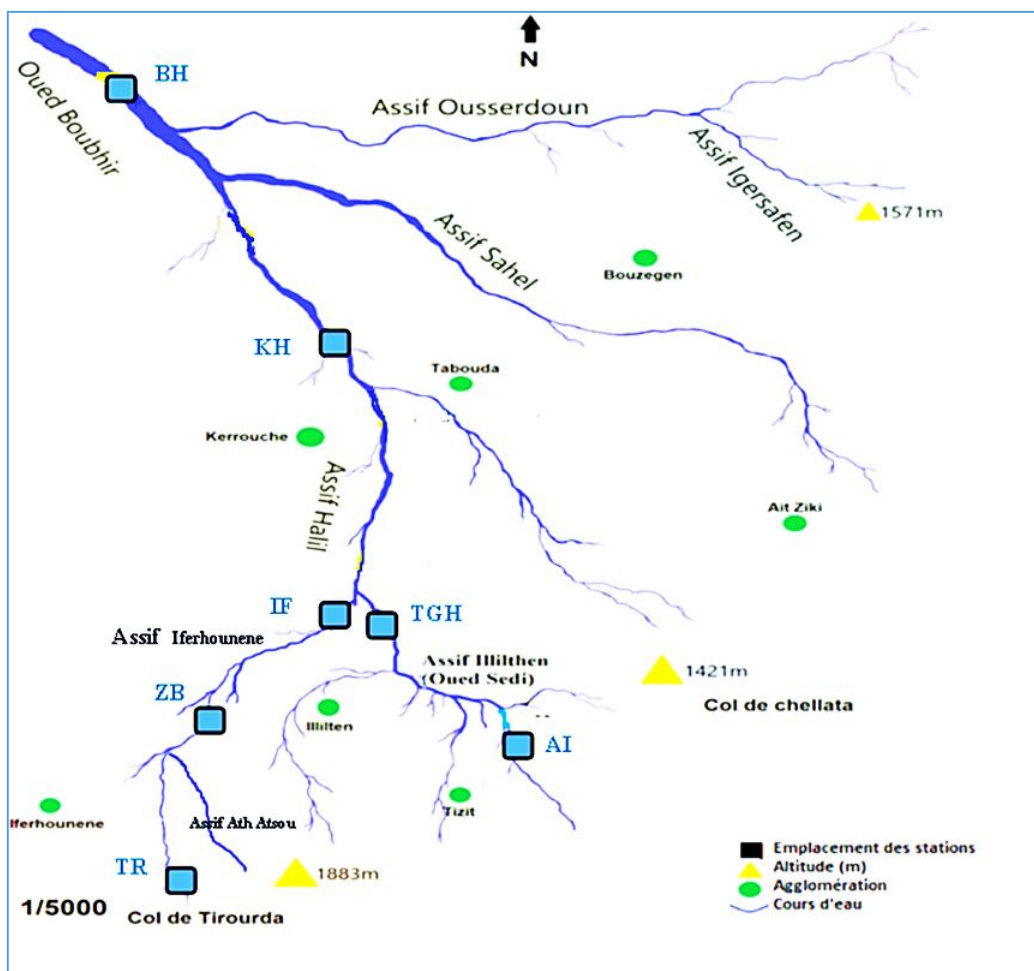


Figure 5 : Réseau hydrographique étudié emplacement des stations

4.1 Assif Hallil et ses tributaires

4.2 Assif Illilthen

Principal affluent de l'Assif Hallil prend sa source à une altitude de 1500 mètres dans la région d'Azrou n Thor (Ath Adellah). Alimenté par les précipitations et la fonte des neiges provenant des sommets environnants tels que le col de Chellata et Agni Guzal (le village de Tizit), ce cours d'eau présente une pente moyenne de 15% sur son parcours général orienté sud-nord.

Deux stations de mesure sont retenues sur ce cours d'eau : AI et TGH (figure 6A et B).

4.3 Assif Tirourda

C'est le type même du cours d'eau de montagne. C'est un petit torrent qui, en période de hautes eaux, cascade sur un parcours de près de 5 km dans les creux de montagne. Il prend sa source dans le Djebel Tirourda à 1400 m d'altitude. Doté d'une pente moyenne de l'ordre de 10 %, il coule en orientation Sud-Nord entre 1400 et 900 m d'altitude avant de se jeter dans l'oued Boubhir.

Deux stations sont retenues sur ce cours d'eau : TR et ZB (figure 6 C et D).

4.4 Assif Iferhounene

Il résulte de la confluence de nombreux petits ruisseaux et de l'assif Tirourda, alimenté principalement par la fonte des neiges et par des sources abondantes, il présente un fort débit et une pente moyenne de 15%. S'écoulant en direction du sud vers le nord, il rejoint l'assif Hallil.

Une seule station est retenue sur ce cours d'eau : If (figure 6 E).

4.5 Assif Hallil (s.s)

C'est un cours d'eau qui est né de la confluence des assifs Illilthen et Iferhounene, entre les cols de Chellata et de Tirourda. Ce cours d'eau de montagne est alimenté par de multiples sources, par les précipitations et la fonte des neiges, il s'écoule sur une distance de 19 kilomètres, depuis une altitude de 1300 mètres jusqu'à 220 mètres, avec une pente moyenne de 10%. Son orientation générale est sud-nord. Il se jette finalement dans l'oued Boubhir.

Une station est retenue sur ce cours d'eau : KH (figure 6 F).

4.6 Oued Boubhir

C'est le principal affluent de l'oued Sébaou. Il résulte de la confluence de quatre cours d'eau : l'assif Hallil, l'assif El Khemis, l'assif Sahel et l'assif Ousserdoun, qui drainent les versants du Djurdjura, notamment les régions des cols de Tirourda et de Chellata. Avec une pente moyenne de 2%, il présente un profil longitudinal relativement faible. Son lit majeur, pouvant atteindre 50 mètres de largeur par endroits.

Une seule station de mesure est retenue sur ce cours d'eau : BH (figure 6 G).



Station AI



Station TGH



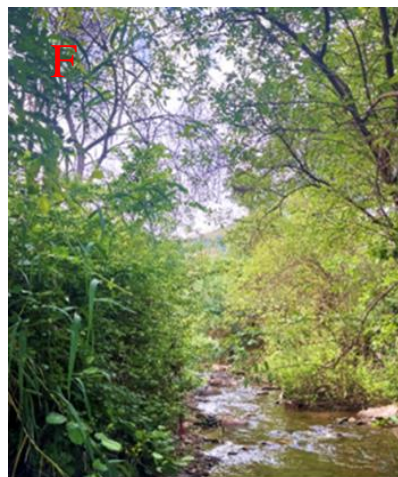
Station TR



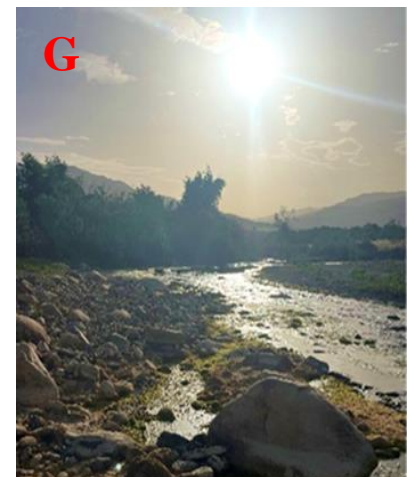
Station ZB



Station IF



Station KH



Station BH

Figure 6 : Représentation photographique des stations d'étude (de A à G).

Tableau 1 : Caractéristiques mésologiques des stations étudiées.

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH
Altitudes(m)	1120	860	530	820	520	380	200
Localisation	A 200 m en aval de la source au lieu-dit « Agni Guzal » Sud-Est du village Tizit	A 1 km en aval de la source après confluence Tirrounda et Ait Aissou	A 150 m en aval du village Bouidel et 150m avant confluence avec assif Illilthen	A 1,5 km en aval du village Tizit	A 100 m en aval de village Taghzout et a 150 m avant confluence avec assif Iferhounene	A 30 m en amont du pont Kerrouche	A 100 m en amont du pont de Boubhir
Pente (%)	20	19	10	15	9	3	1
Profondeur (cm)	12	16	16	20	16	14,5	26
Distance à la source(km)	6	30	15	1	7	12	23
Température (°C)	10	12	14	11	15	18	22
Vitesse du courant	Moyenne	Rapide	Moyenne	Rapide	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Largeur du lit (m)	1	2	3	2	3	3	6
Recouvrement (%)	86	90	80	100	80	60	0
Végétations bordantes	Strates arborées, arbustives et herbacées	Strates arborées, herbacées et arbustives	Strates arborées et, herbacées	Strates arborées, arbustives et herbacées	Strates arborées, herbacées et arbustives	Strates arborées et arbustives	Strates herbacées et arborescentes
Végétations aquatique	Mousses	Mousses, un peu d'algues, macrophytes	Algues filamenteuses	Mousses et algues	Mousses et algues	Mousses et algues	Prolifération d'algues filamenteuses et présence de macrophytes
Substrat	Blocs ,sable, gravier et débris végétaux	Gros galets, débris végétaux	Sable, limons, gros galets et débris végétaux	Blocs, sable, gros galets, débris et végétaux	Galets, sable, limons et matière organique	Sable, limon, débris végétaux et matière organique	Blocs, galet, vase, sable et matière organique.
Influences anthropiques	Absence de pollution	Légers déchets ménagers	Rejets des eaux usées	Agriculture modeste, captage d'eau modestement	Réseau d'assainissement, déchets ménagers, quelques rejets sur les rives	Pompage d'eau (irrigation), rejets d'ordures ménagers, élevage, réseau d'assainissement	Déchets ménagers, pompage d'eau (irrigation),

5. Caractéristiques physiques des stations étudiées

La distribution spatiale des invertébrés benthiques ainsi que l'assemblage des communautés sont sous l'influence directe des descripteurs physiques de l'habitat tel que l'altitude, la pente, le débit, de substrat, la vitesse du courant, la température de l'eau... etc. (Hynes, 1970 ; Angelier et al., 1985 ; Wholl et al., 1995 ; Thierney et al., 1998 et Mathuriau, 2002).

5.1 La pente

La pente est un paramètre écologique important qui dépend de l'altitude. Elle intervient dans la détermination de la vitesse du courant et de la taille des éléments du substrat, la profondeur et la largeur du cours d'eau, ainsi que dans la répartition de la faune benthique.

On observe des variations dans la pente en tenant compte la longueur des cours d'eau et la différence d'altitude entre les ruisseaux et les secteurs de moyenne montagne.

5.2 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).

Abdesselam (1995), signale qu'en Kabylie, le débit le plus important de l'année provient de la fonte des neiges au printemps, complétés par des précipitations souvent abondantes à cette période de l'année.

En montagne, au-dessus de 1000 mètres d'altitude, le régime hydrologique des cours d'eau est caractérisé par une alternance entre une période pluvionivale de décembre à mi-avril et une période pluviale de mi-avril à début juin. Les fortes précipitations, notamment lors des crues accélèrent considérablement le transport de sédiments et de substances dissoutes, ainsi, beaucoup d'organismes sont emporté, entraînant des modifications significatives de la composition chimique des eaux. (Lounaci, 2005)

5.3 L'écoulement et la vitesse du courant

L'écoulement de l'eau a importance primordiale, il est considéré comme un facteur abiotique primordial, influence fortement la répartition et la dynamique des communautés aquatiques. Son profil de vitesse spécifique façonne le substrat, créant une mosaïque d'habitats qui conditionnent la distribution des espèces. Les courants exercent également une pression sélective sur les organismes, affectant leurs comportements et leurs métabolismes (Lévêque, 1996).

L'écoulement connu également par la vitesse du courant est un paramètre spécifique des eaux lotiques. La vitesse du courant varie d'une station à une autre. Elle dépend des précipitations, de la pente, de la largeur du lit, de la profondeur de la lame d'eau, de l'apport des affluents et de la taille du substrat.

Les mesures de vitesse sont effectuées en surface du cours axial à l'aide d'un flotteur lâché en dérive sur une distance connue. Le temps mis par le flotteur à parcourir cette distance est donné par un chronomètre et permet de calculer la vitesse.

Elles sont classées selon l'échelle de Berg (1948) :

- Vitesse très lente : ≤ 10 cm/s
- Vitesse lente : 10 à 25 cm/s
- Vitesse moyenne : 25 à 50 cm/s
- Vitesse rapide : 50 à 100 cm/s
- Vitesse très rapide : ≥ 100 cm/s

5.4 Le substrat

Le substrat façonne une grande partie de l'habitat des espèces aquatiques : fonds sableux, dépôts de débris végétaux, zones rocailleuses, rochers...etc. De nombreux organismes d'eau courantes présentent une adaptation très spécifique et ne colonisent que les habitats dont les conditions leurs sont favorables. En effet, le substrat constitue le support vital des invertébrés benthiques auquel il est intimement associé pendant une partie de leur vie (Sekhi, 2010).

La plupart des macro-invertébrés sont spécifiques pour un type bien précis de micro-habitat. Ainsi, la diversité de la communauté reflète la diversité des substrats.

Tous les substrats les plus instables sont les moins colonisés car ils dépendent de la force d'écoulement, de la pente et du débit. Les mousses et les végétaux sont des supports très favorables car ils servent également de nourriture et d'abris.

La distribution des stations en fonction de l'altitude et de la nature du substrat montre une hétérogénéité du substrat au sein de tous les étages altitudinaux.

5.5 La température de l'eau

La température de l'eau est l'un des facteurs écologiques les plus importants. Elle intervient dans la composition faunistique des cours d'eau. Elle varie régulièrement d'amont en aval et joue un rôle important dans la solubilité des gaz et dans la dissociation des sels (Rodier, 1996).

Elle conditionne la diversité et la répartition faunistique dans les cours d'eau, en intervenant dans le développement et dans le cycle biologique et reproducteur des êtres vivants. (ANGELIER, 2000).

Chaque station du réseau hydrographique a son propre régime thermique spécifique déterminé par la combinaison de plusieurs facteurs environnementaux : l'altitude, la distance à la source, l'ensoleillement qui dépend de la densité du couvert végétal et de la largeur du lit des cours d'eau.

6. Perturbations anthropiques

La pollution est une dégradation du milieu naturel par des substances chimiques, des déchets industriels ou ménagers, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau et perturbe ainsi le milieu aquatique.

Les activités humaines, notamment l'industrie, l'urbanisation et l'agriculture, sont les principaux responsables de la pollution des milieux aquatiques continentaux, de façon volontaire ou accidentelle. Comme le souligne ANGELIER (2000), ces rejets polluants provoquent des déséquilibres écologiques majeurs, mettant en péril la biodiversité aquatique.

En Kabylie du Djurdjura, cette pollution a pris une ampleur inquiétante engendrant un impact certain sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, tel est le cas de l'oued Sébaou considéré comme le plus affecté. Dans le réseau hydrographique étudié, l'impact anthropique varie d'une zone à l'autre.

Dans la partie amont des cours d'eau, la pollution est essentiellement d'origine domestique, causée par l'élevage et le pompage de l'eau pour l'irrigation, mais elle reste négligeable.

Dans le secteur moyen et de basse altitude du réseau hydrographique étudié, les atteintes au milieu dues à l'homme sont plus intenses et la pollution présente différentes origines :

- Origine urbaine

Dans notre zone d'étude, les cours d'eau reçoivent des charges organiques issue des activités domestique de plusieurs agglomérations situées en bordure (Iferrhounene, Imsouhal, Illilthen et Illoula Oumalou...etc.) et les décharges publiques qui sont constituées de dépôts de déchets abondants et anarchiques.

Les périodes estivales accentuent considérablement la pollution des cours d'eau due à l'absence de systèmes efficaces de collecte et de traitement des eaux usées. Les températures élevées, associées à des débits réduits limitent la capacité d'auto-épuration des milieux aquatiques. Les cours d'eau transformés en égouts à ciel ouvert deviennent des foyers de pollution mettant en danger la faune et la flore aquatiques, ainsi que la santé publique.

L'enfouissement des déchets engendre la production de lixiviat résultant de la fermentation anaérobie des déchets. Ils peuvent être à l'origine de l'altération des eaux superficielles par ruissellement et des eaux souterraines par infiltration.

- Origine agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines.

Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux, notamment des nitrates engendrant un déséquilibre de la faune et la flore

aquatique, aussi la présence de serre avicoles sur les rives des cours d'eau affecte la qualité de l'eau de ce dernier.

Le pompage de l'eau pour l'irrigation est à l'origine de la détérioration des conditions de vie du milieu, conduisant ainsi à des changements profonds de la faune et flore aquatiques. D'autre part, il constitue une menace sur le plan sanitaire et limitant la potabilité des eaux des nappes traditionnellement utilisées comme source d'eau potable.

- La pollution par la margine

Malgré la petite période de fonctionnement des huileries dans l'année, elles constituent une source de pollution. Le rejet à l'état brut de la margine dans le milieu naturel cause des nuisances et des risques de pollutions considérables. Ainsi, la forte acidité de ce genre de rejet détruit la microflore bactérienne du sol et provoque son imperméabilisation. Le déversement des margines dans des oueds constitue un risque majeur de pollution des nappes souterraines (Boudjema, 2010).

7. Couvert végétal

Le couvert végétal est un facteur écologique important qui influe sur les écoulements superficiels, près des cours d'eau, les végétaux constituent une importante ressource en matière organique consommable par certaines catégories d'animaux aquatiques et ils empêchent le réchauffement excessif des eaux en été, et jouent ainsi un rôle important dans la répartition de la faune benthique (Lounaci, 2005).

La végétation affecte le ruissellement, l'évapotranspiration, la rétention d'eau et intervient contre l'érosion hydrique, plus la végétation est dense plus la résistance à l'écoulement est grande. La végétation est très hétérogène en Kabylie, elle varie en fonction de certains paramètres tels que l'exposition des versants, l'altitude, la nature du sol et le relief.

Selon Messaoudene et *al.* (2007), l'hétérogénéité topographique et l'action anthropique ont imprimé au paysage végétal un caractère très morcelé, distinguent, en fonction de l'altitude, les associations végétales suivantes :

❖ **Aux hautes altitudes (supérieur à 1100 m) :** les sommets sont presque dénudés ou couverts à quelques endroits par des pelouses écorchées à xérophytes épineux et rampants : genets (*Genista* sp.), du cèdre épars (*Cedrus atlantica*), le Diss appelé ampélodesmos de Mauritanie (*Ampelodesmos mauritanicus*), azarolier (*Crataegus azarolus*)

❖ **Aux altitudes inférieures à 1100 m :** la végétation est constituée de chêne vert (*Quercus ilex*), de frêne (*Fraxinus* sp.) et de quelques pieds d'érables (*Acer* sp.).

- ❖ **Entre 600 m et 800 m d'altitude** : on rencontre l'olivier (*Olea europea*), l'arbousier (*Arbutus unedo*), Orme champêtre (*Ulmus minor*).
- ❖ **Entre 300 m et 500 m d'altitude** : la strate arborée y domine, elle est composée essentiellement de l'olivier (*Olea europea*).
- ❖ **En plaines** : les formations végétales sont principalement des verges (orangers, pommiers, poiriers, figuiers...), qui contribuent à la dégradation de ces formations végétales naturelles dans la vallée du Sébaou et les cultures maraîchères

La végétation aquatique est constituée principalement par des algues (Oedogonae, Spirogyra, Zygnema, Ulothrix), des Bryophytes et des macrophytes surtout en aval et par des mousses dans les parties supérieures des cours d'eau.

Chapitre II

Matériels et méthodes

La partie pratique d'un travail est une étape clé du processus de recherche, reliant prélèvements, analyses et interprétation des résultats, la qualité des prélèvements et du protocole suivi est essentielle pour garantir des résultats fiables et représentatifs de la conclusion finale.

Afin d'atteindre les objectifs tracés dans cette étude, les prélèvements de la faune benthique ainsi que ceux de l'eau ont été réalisés à l'intérieur de la station. Cette dernière est définie comme étant le tronçon de cours d'eau dont la longueur est sensiblement égale à dix fois la largeur du lit mouillé au moment du prélèvement (Genin *et al.*, 2003).

Les échantillons (des macro-invertébrés benthiques) sont collectés et analysés pour évaluer la santé des écosystèmes aquatiques. Le traitement et l'analyse de ces organismes sont effectués au laboratoire " Écosystèmes Aquatiques Continentaux " de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Parallèlement, des échantillons d'eau provenant des mêmes sites font l'objet d'analyses physico-chimiques et bactériologiques au laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau de Taksebt (SEAAL).

Afin d'obtenir une vision globale de la faune benthique présentée par station, on effectue huit prélèvements par station en recherchant la représentativité maximale par l'échantillonnage de tous les types des micro-habitats présents (principe de l'IBGN).

Lorsqu'une station ne présente pas huit micro-habitats différents, le nombre de prélèvements est complété à huit en échantillonnant le ou les substrats dominants dans une classe de vitesse différente de celle déjà effectuée. Le cumul des échantillons prélevés sur plusieurs habitats, fournit l'image de la communauté macro-benthique d'une station.

1. Matériels et méthodes de l'étude biologique

1.1 Prélèvement des échantillons benthiques

Les macro-invertébrés benthiques sont récoltés à l'aide d'un filet de type Surber de vide de mailles de 275 μ m et muni d'un cadre carré avec une base de 0,05 m². Il est placé sur le fond du lit, son ouverture face au courant dans des zones peu profondes (inférieure à 40 cm). Le substrat se trouvant dans la surface d'échantillonnage est lavé, récupérant ainsi les larves, les nymphes et les adultes dans le filet. La faune interstitielle est récupérée par raclage du fond, le courant entraîne ainsi les organismes dans le filet. Les formes solidairement fixées sont détachées à l'aide d'une pince (annexe 4).

1.2 Conservation des échantillons benthiques

Les échantillons réalisés sont conservés dans des sachets en plastique et fixés à l'aide du formol à 10%. Les sachets sont munis d'une étiquette portant la date de prélèvement et l'identifiant de la station.

1.3 Lavage, le tri et la détermination

Au laboratoire, les échantillons sont lavés et débarrassés de la vase, débris végétaux et graviers à l'aide d'une série de tamis à mailles décroissantes allant de 5 à 0,2 mm. Le contenu de chaque tamis est ensuite versé dans une bassine remplie d'eau puis transvasé dans des béchers de 250 ml permettant de concentrer les macro-invertébrés et de faciliter leur identification et leur comptage.

Le matériel biologique identifié est conservé dans des piluliers en verre remplis d'alcool à 70% puis étiquetés en précisant le nom de la station, la date du prélèvement et le taxon identifié (annexe 5).

Un pré-tri et une détermination jusqu'à la famille ou au genre sont effectués sous une loupe binoculaire par fraction successive dans des boîtes de pétrie à fond cadrés en s'appuyant sur les clés des déterminations de Tachet et *al.* (1980, 2000) ; Richoux (1982) et Rivosecchi (1984).

2. Méthodes d'analyse de la faune benthique

2.1 Indices écologiques de composition et de structure des peuplements

Ce sont des indices de diversité mathématique qui offrent un aperçu précieux de la structure et de la richesse d'un peuplement. Ils permettent d'évaluer rapidement la variété des espèces présentes en s'appuyant sur des mesures telles que la richesse spécifique (nombre d'espèces), l'abondance relative (proportion d'individus par espèce) et la fréquence d'occurrence des espèces. Ces indices s'avèrent essentiels pour comprendre la dynamique et la santé des écosystèmes.

2.2 Richesse taxonomique (spécifique)

C'est la première étape qui évalue la structure générale de peuplement et indique que plus il y a des taxons distincts, plus la diversité est grande donc c'est une étape de base pour l'étude des communautés.

Selon Boulunier et *al.* (1998) et Ramade (2003), la richesse taxonomique c'est le nombre total des taxons présents dans chaque prélèvement à un moment donné.

2.3 Abondance relative des espèces (la dominance)

L'abondance est un paramètre important pour la description d'un peuplement. Il présente le nombre d'individus de taxons (*i*) présent par unité de surface ou du volume (Ramade, 2003). Il est variable aussi bien dans l'espace que dans le temps.

L'abondance relative d'une espèce se calcule selon la formule suivante :

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

$N(i)$: est le nombre d'individus de l'espèce (i)
 N : est le nombre total d'individus de toutes les espèces
 On qualifie les espèces selon leurs valeurs F (%) :

$F \geq 50\%$: taxons constants
 $25 < F < 50\%$: taxons accessoires
 $F \leq 25\%$: taxons accidentels

2.4 Occurrence relative des espèces

Selon Dajoz (1985), l'occurrence est le rapport exprimé en pourcentage, entre le nombre de relevés (P_i) où l'on trouve l'espèce (i) et le nombre total de relevés réalisés (P) dans une même station. L'occurrence relative des espèces se calcule selon la formule suivante :

$$C (\%) = P_i * 100 / P$$

P_i : nombre de prélèvement où l'espèce (i) est présente
 P : nombre total de prélèvement

Selon Dajoz (1985), en fonction de la valeur de C (%), les espèces sont qualifiées comme suit:

$C > 80\%$: espèce constante
 $25\% < C < 50\%$: espèce accessoire
 $C < 25\%$: espèce accidentelle

2.5 Indice de diversité de Shannon (1949)

L'indice de Shannon indique la diversité d'un milieu en fonction de la proportion des espèces rares et abondantes, plus l'indice est élevé, plus la diversité est grande (espèces rares abondantes, espèces dominantes rares).

Il est parfaitement adapté aux études comparatives des peuplements, il offre une évaluation impartiale de la diversité, indépendamment de la taille de l'échantillon en considérant à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces, il permet de caractériser avec précision l'équilibre des communautés au sein d'un écosystème.

La formule mathématique de l'indice de Shannon est la suivante :

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

D'où : $p_i = n_i / N$: l'abondance relative de l'espèce (i) (effectif (i)/ effectif global)

H' : indice de diversité de Shannon

p_i : proportion d'individus de l'espèce (i) par rapport au nombre total d'individus (N)

$\ln(p_i)$: logarithme népérien de p_i

\sum : symbole de sommation indiquant qu'il faut sommer les valeurs de $p_i * \ln(p_i)$ pour toutes les espèces(i) présentes

L'indice de Shannon est interprété comme suit :

H' = 0 : indique une diversité minimale avec une seule espèce présente (mono-dominance).

H' tend vers l'infini : indique une diversité maximale avec un grand nombre d'espèces présentes et une abondance relative similaire pour chacune d'entre elles.

2.6 Indices biologiques

Dans le cadre de la surveillance de la qualité des cours d'eau et des lacs, plusieurs indices biologiques ont été développés pour synthétiser les informations fournies par les macro-invertébrés benthiques. Parmi les plus utilisés, on retrouve les quatre indices présentés précédemment :

- **L'IB** : Indice Biotique (Verneaux & Tuffery, 1967)
- **L'IQBG** : Indice de qualité Biologique (Verneaux et al., 1976)
- **L'IBG** : Indice Biologique Globale (Verneaux et al., 1982)
- **L'IBGN** : Indice Biologique Globale Normalisé (NFT 90-350)

Pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau étudiés dans le cadre de ce travail, nous avons retenu la méthode IBGN.

L'IBGN permet de suivre l'évolution de la qualité biologique d'un site à la fois sur le long terme et à différentes échelles spatiales, notamment en comparant les zones amont et aval afin d'évaluer les effets des perturbations sur le milieu.

Il est établi à partir d'un tableau d'analyse comportant en ligne les classes de variété taxonomique et en colonne les groupes faunistiques indicateurs classés par ordre décroissant de sensibilité aux pollutions (tableau 2).

La variété taxonomique (Σt) : représente la richesse spécifique d'un site, en comptabilisant le nombre total de taxons (groupes taxonomiques) identifiés, indépendamment de l'abondance relative de chaque taxon.

Le groupe indicateur (GI) : est déterminé en parcourant les colonnes d'un tableau de haut en bas (de GI=1 à GI=9) jusqu'à identifier la première présence significative d'un taxon répertorié dans la colonne correspondante du tableau, la valeur obtenue reflète la qualité écologique de l'eau en se basant sur la présence de taxons spécifiques sensibles.

On déduit l'IBGN du tableau à partir de son ordonné (GI) et de son abscisse (Σt).

Tableau 2 : Valeur de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique du 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 indicateurs	Σt	>50	49 45	44 41	40 37	36 33	32 29	28 25	24 21	20 17	16 13	12 10	9 7	6 4	3 1
	GI														
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontocéridae Philopotamidae	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	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 Polymitarcidae 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 (1) Ephemerellidae (1) Hydropsychidae Aphelocheiridae	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Beatidae (1) Caenidae (1) Elmidae (1) Gammaridae (1) Mollusques	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae (1) Asellidae (1) Achète Oligochètes(1)	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

L'Association Française de Normalisation (AFNOR) a établi un système de classification par couleur pour évaluer la qualité hydrobiologique globale des plans d'eau. Ce système comprend cinq niveaux distincts permettant une représentation cartographique claire et visuelle des résultats (tableau 3).

La définition des classes de qualité par couleur est la suivante :

- **Classe 1A (couleur bleu)** : excellente qualité hydrobiologique (absence de pollution)
- **Classe 1B (couleur verte)** : bonne qualité hydrobiologique (pollution modérée)
- **Classe 2 (couleur jaune)** : qualité hydrobiologique moyenne (pollution nette)
- **Classe 3 (couleur orange)** : qualité hydrobiologique médiocre (pollution importante)
- **Hors classe (couleur rouge)** : qualité hydrobiologique mauvaise (pollution excessive)

Tableau 3 : Les différentes classes de la qualité de l'eau selon l'IBGN.

Valeur de l'IBGN	≥17	16-13	12-9	8-5	≤ 4
Classe de la qualité	1A	1B	2	3	HC
Couleur correspondante	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité hydrobiologique	Excellente	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
Pollution	Absente	Modérée	Nette	Importante	Excessive

3. Matériels et méthodes de l'analyse physico-chimique

3.1 Echantillonnage de l'eau

Pour un échantillon d'eau représentatif de la qualité d'un cours d'eau, le prélèvement doit être effectué dans la veine principale d'écoulement, à distance des berges et des obstacles présents dans le lit, se positionner en face du courant dans des bouteilles en plastique neuves préalablement rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser.

Il faut remplir les bouteilles complètement sans toucher le fond ou les parois du cours d'eau puis leurs mettre des étiquettes prenant le nom de la station et la date du prélèvement) et les conserver immédiatement dans des glacières à température basse (annexe 6).

Il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible afin d'éviter toute modification des paramètres de l'eau.

Afin de préserver l'intégrité de l'échantillon et d'éviter la remise en suspension des sédiments, l'opérateur doit s'abstenir de perturber la zone de prélèvement (LEPOT, 2015). Il est préférable

d'effectuer le dosage des éléments chimique le plus tôt possible (48heures) afin d'éviter toute modification des paramètres de l'eau.

3.2 Matériels utilisés

L'appareillage utilisé au cours des analyses physico-chimique est : Spectrophotomètre d'absorption moléculaire type DR 600, turbidimètre, dessiccateur, étuve à 105°C, Conductimètre, balance de précision, oxymètre, haute et une plaque chauffante (annexe 8). La verrerie est constituée de : Bêchers, fioles jaugés, pipette graduée stérile, erlenmeyer, éprouvettes, pissette d'eau distillée, entonnoirs, tubes à essai stérile, burettes, capsules, sachets de réactifs HACH et filtre (0,45 μm). Les méthodes d'analyses physico-chimiques sont indiquées en annexe 9.

4. Paramètre organoleptique

4.1 La couleur

La couleur de l'eau est un paramètre important qui renseigne à la fois sur ses propriétés organoleptiques (aspect) et physiques (composition). Elle résulte de la présence de diverses substances dissoutes ou en suspension dans l'eau d'origine naturelle ou anthropique.

Selon Mokddem & Ouddane (2005), la coloration peut être :

- D'origine naturelle (présence de minéraux) tel que le Fer et manganèse dans les eaux profondes, substances humiques dans les eaux de surface ou l'Eutrophisation provoquant le Développement excessif d'algues et de plancton dans les lacs, étangs et barrages.
- D'origine anthropique (industries chimiques) Colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et de teinture.

5. Paramètres physico-chimiques

5. 1 La turbidité

La turbidité est mesurée en Unités de Nephelometric Turbidité (NTU) correspond à la quantité de particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérale ou organique. Elle est causée par l'érosion des sols, la décomposition des végétaux, la présence de micro-organismes et ou encore de la pollution.

La turbidité est évaluée à l'aide d'un appareil appelé turbidimètre. Ce dernier mesure la quantité de lumière diffusée par les particules en suspension dans l'eau. Plus la lumière est diffusée, plus l'eau est trouble.

Afin d'évaluer la gravité de la situation, la turbidité est classée selon les valeurs suivantes :

- **NTU < 5** : Eau claire, bonne qualité pour la plupart des usages.
- **NTU < 30** : Eau légèrement trouble, acceptable pour certains usages mais peut nécessiter un traitement.
- **NTU > 50** : Eau trouble, mauvaise qualité, non potable et nécessitant un traitement urgent.

L'eau trouble chargée de particules empêche la lumière du soleil d'atteindre les profondeurs réduisant ainsi la photosynthèse vitale pour les plantes et la vie aquatique.

5.2 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous (OD) se mesure en mg/l et est influencé par divers facteurs.

- **Température et turbulence** : Plus l'eau est froide et agitée, plus elle peut dissoudre d'oxygène.
- **Vie aquatique** : La présence de plantes et d'animaux, par la photosynthèse et la respiration, influence l'OD.
- **Pollution** : La pollution organique et chimique peut appauvrir l'eau en oxygène (Bouhezila, 2021).

5.3 Le pH

Le pH (potentiel hydrogène) est un élément fondamental pour comprendre les propriétés de l'eau.

Il permet de mesurer son **acidité** ou son **alcalinité** sur une échelle allant de 0 à 14.

Il est défini par l'expression $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ où (H^+) est l'activité de l'ion hydrogène H^+ dans la solution (RAMADE, 1998).

Sa classification :

- **Milieu acide (pH < 7)** : L'eau est riche en ions hydrogène (H^+). On la trouve dans les sols tourbeux, les rivières traversant des zones granitiques ou certaines eaux de pluie.
- **Milieu neutre (pH = 7)** : L'eau est équilibrée en ions hydrogène et hydroxyde (OH^-). C'est le cas de l'eau pure ou de l'eau distillée.
- **Milieu alcalin (pH > 7)** : L'eau est riche en ions hydroxyde (OH^-). On la trouve dans les eaux calcaires, riches en minéraux comme le calcium et le magnésium.

5.4 La conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau est exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$), c'est sa capacité à laisser passer le courant électrique. Elle peut évaluer approximativement la teneur en sels dissous (Dupont, 1981).

La mesure de la conductivité électrique est une technique simple et accessible pour évaluer la qualité de l'eau et détecter d'éventuelles pollutions.

5.5 Matières en suspension (MES)

Ce sont des matières non solubilisées qui comportent des matières organiques et des matières minérales (Gaid, 1984).

Elles peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques tels : métaux, pesticides, huiles minérales et hydrocarbures aromatiques polycycliques (Merabet, 2010).

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Elles affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et par la suite la photosynthèse.

5.6 Les résidus secs

Les résidus secs correspondent à la quantité de minéraux restant après l'évaporation d'un litre d'eau à 185°C . Ils sont exprimés en milligrammes par litre (mg/l).

La teneur en minéraux de l'eau (minéralisation) varie considérablement selon son origine géologique (eaux des massifs cristallins) avec moins de 100 mg/L et d'autres sources avec plus de 1500 mg/L (Berne & Jean, 1991).

6. Paramètres de pollutions

6.1 L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est un composant du cycle de l'azote, il signale une dégradation incomplète de la matière organique dans l'eau. Sa présence révèle une pollution par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle menaçant la santé des écosystèmes aquatiques.

En présence d'oxygène, l'ammoniac se convertit en nitrites puis en nitrates via un processus bactérien consommant de l'oxygène crucial pour les écosystèmes aquatiques. (Gaujous, 1995).

6.2 Les nitrates (NO_3^-)

Ils sont naturellement présents dans les eaux souterraines et superficielles mais à de faibles concentrations. Ils représentent le stade final de l'oxydation de l'azote organique.

Leur origine dans le sol est variée, incluant les apports d'amendements organiques, les déjections animales ou humaines stockées et la minéralisation de la matière organique naturelle.

6.3 Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites (NO_2^-) jouent un rôle essentiel dans le cycle de l'azote servant d'étape intermédiaire entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence résulte de deux processus : l'oxydation bactérienne de l'ammoniac et la réduction des nitrates.

Les nitrites ne représentent qu'un stade temporaire dans le cycle de l'azote et sont rapidement oxydés en nitrates par des bactéries spécifiques.

Des concentrations élevées en nitrites indiquent souvent la présence de substances toxiques dans l'eau, soulignant la nécessité d'une surveillance et d'une gestion rigoureuses de la qualité de l'eau. (De Villers et *al.*, 2005).

6.4 Ortho phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphore présent sous forme d'ions phosphates (PO_4^{3-}) dans les eaux de surface, provient de sources naturelles telles que la décomposition de la matière organique et le lessivage des minéraux.

Le phosphore joue un rôle essentiel dans la régulation des populations algales en agissant comme facteur limitant de leur croissance et facteur de maîtrise de leur prolifération (Barroin, 2003).

Selon Rodier et *al.* (2005), des concentrations en phosphates (PO_4^{3-}) supérieures à 0,5 mg/L dans les eaux de surface indiquent une pollution potentielle et doivent servir d'indice d'alerte.

6.5 Matières organiques

Ensemble des molécules carbonées issues des êtres vivants (animaux, végétaux, micro-organismes) et de leurs déchets elles peuvent également provenir du métabolisme des êtres vivants supérieurs, excréments des plantes et déjections des animaux (Lefevre, 1993).

La concentration en matières organiques dans les eaux de rivières varie entre 2 et 10 mg/l (Gaid, 1988). Elles sont donc naturellement présentes dans l'eau mais à faible concentration. S'il y en a plus, il y a présence de pollution.

7. Matériels et méthodes de l'analyse bactériologique

7.1 Echantillonnage de l'eau

Avant de procéder aux prélèvements, les flacons en verre utilisés dans ce type d'analyse doivent être lavés et stérilisés dans un autoclavage à 120°C pendant 15 min.

Il est important de respecter des mesures d'hygiène strictes afin d'éviter toute contamination des échantillons en commençant par se laver les mains ou les rincer dans l'alcool pour éliminer toute trace de micro-organismes.

A l'aide d'un coton imbibé d'alcool enflammé, on stérilise l'ouverture du flacon destinée à recevoir l'échantillon d'eau (annexe7).

Puis, il faut plonger le flacon dans l'eau sans toucher le fond et loin des rives, il ne doit pas être rempli entièrement afin de maintenir en vie les bactéries aérobies, une fois ressorti, l'ouverture du flacon doit être stérilisée avant d'être fermé et étiqueté (nom de la station, la date et l'heure). A la fin, le flacon est transporté dans une glacière à 4°C, à l'abri de la lumière et de l'air afin d'éviter la multiplication des germes.

7.2 Matériels utilisés

L'analyse bactériologique de l'eau est une procédure essentielle qui implique une série d'étapes nécessitant des outils spécifiques tels que : Rampe de filtration, un incubateur, des boîtes de pétri, une étuve, gélose CCA, gélose Slanetz et Bartley, le bec Bunsen, une pince et des filtres de 0.45µm.

Les méthodes d'analyse bactériologiques sont indiquées en annexe 10.

7.3 Paramètres bactériologiques

7.4 Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux homéothermes mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation et eau).

Leur présence n'indique pas nécessairement une pollution fécale (Debabza, 2005).

Ce groupe bactérien est utilisé comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau (Raymond, 1997)

7.5 Streptocoque

Les Streptocoques sont un groupe de bactéries qui appartiennent à la famille des STREPTOCOCCACEAE. Ils sont généralement de forme sphérique et se regroupent en chaînes ou en grappes. Certaines espèces de streptocoques peuvent être pathogènes pour l'homme, tandis que d'autres sont des commensaux normaux présents dans le corps humain sans causer de maladie.

Les Streptocoques pathogènes peuvent provoquer diverses infections, notamment des infections respiratoires telles que la pharyngite streptococcique (angine streptococcique), des infections de la peau et des tissus mous, des infections de l'oreille, des infections urinaires et des infections invasives plus graves telles que la septicémie et la pneumonie (Hauduroy, 1921)

7.6 Escherichia – coli

Escherichia - coli est une bactérie qu'on trouve naturellement dans les intestins des humains et des animaux à sang chaud. Elle est présente en grand nombre dans les matières fécales, sa présence dans l'eau indique une contamination récente.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Paramètres mésologiques

1.1 La pente

La lecture du tableau 4 montre que les pentes des stations présentent de grandes fluctuations et trois secteurs sont dégagés :

- Le secteur des stations TR, ZB et AI correspond aux stations amont avec des pentes plus importantes respectivement de 15 %, 19 % et 20 %.
- Le secteur des stations TGH et IF (moyenne montagne) présente une pente qui est comprise entre 10 % et 9 %.
- Le secteur des stations de piémont (KH, 380 m) et de basse altitude (BH, 200 m) avec une pente ≤ 3 % avec l'élargissement du cours d'eau et l'eau qui coule sur un lit relativement plat.

Tableau 4 : Altitudes et pentes des stations étudiées

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH
Altitude (m)	1120	860	530	820	520	380	200
Pente (%)	20	19	10	15	9	3	1

1.2 La température de l'eau

La lecture du tableau 5 met en évidence deux groupes de stations du point de vue thermique.

- **Groupe 1 :** la température de l'eau relativement basse qui varie de 10°C (station TR : 1120m) à 15°C (station TGH : 520m). En effet, ces stations sont très ombragées assurant un recouvrement compris entre 80 % (IF, TGH) et 100% (AI).
- **Groupe 2 :** renferme les stations de piémont (KH : 380m) et de basse altitude (BH : 200m) dont la température de l'eau est respectivement de 18°C et 22°C. Cette élévation de la température de l'eau est due au réchauffement des eaux sous l'influence de l'insolation (lit plus large) et à la réduction ou l'absence d'ombrage le long des cours d'eau.

Tableau 5 : Températures moyennes ponctuelles de l'eau enregistrées aux stations d'étude.

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH
Altitudes (m)	1120	860	530	820	520	380	200
Températures (°C)	10	12	14	11	15	18	22
R (%)	90	90	80	100	80	60	0

1.3 L'écoulement et la vitesse du courant

L'analyse des vitesses du courant relevées dans les sept stations étudiées (tableau 6) permet de dégager 2 groupes de stations :

- Les stations alticoles (ZB et AI) enregistrent une vitesse de courant qualifiée de rapide.
- Les stations (TR, IF, TGH, KH, BH) enregistrent une vitesse du courant qualifiée de moyenne.

Tableau 6 : Altitude, largeur du lit et vitesse du courant mesurée aux stations d'étude.

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH
Altitude (m)	1120	860	530	820	520	380	200
Largeur du lit (m)	1	2	3	2	3	3	6
Vitesse du courant (cm/s)	30	26	46	40	80	30	90
Classe selon Berg	Moyenne	Rapide	Moyenne	Rapide	Moyenne	Moyenne	Moyenne

1.4 Le substrat

Chaque catégorie de substrat est estimée par un pourcentage de recouvrement des surfaces en eau, estimée par observation directe à l'échelle des stations (tableau 7).

La distribution des stations en fonction de l'altitude et de la nature du substrat montre une hétérogénéité du substrat au sein des étages altitudinaux :

- Les stations alticoles : le substrat est à dominance de gros galets et de gravier (stations : TR, ZB, AI).
- Les stations de moyenne montagne (IF et TGH) et piémont (KH), il est plutôt très hétérogène et riche en matière organique.
- Les stations de basse altitude : le substrat est à dominance de sable et limons avec le pourcentage le plus élevé en matière organique due aux différents rejets dans la station.

La végétation aquatique quant à elle est essentiellement à dominance de mousses dans les stations alticoles. En revanche, dans les stations de piémonts et de basses altitudes, elle est représentée par les algues filamenteuses et les macrophytes.

Tableau 7 : Nature du substrat (minéral et végétal) dans les stations étudiées.

Stations Paramètres	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH
Altitudes (m)	1120	860	530	820	520	380	200
G G/G (%)	85	80	65	80	65	50	30
S/L (%)	15	20	20	20	25	40	50
MO (%)	0	0	25	0	10	10	20
V.aqu (%)	5	5	10	5	20	15	30

2. Evaluation physico-chimique de la qualité de l'eau

Les résultats des analyses physico-chimiques des paramètres retenus par cette étude sont discutés et comparés aux normes OMS (tableau 8) ou/et normes (annexe 11) de l'ANRH (JORADP, 2011).

Tableau 8 : Résultats des paramètres physico-chimiques des stations d'étude.

Stations Paramètres	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH	Normes OMS
O2 (mg/l)	6,75	6,52	5,52	6,47	6,89	6,52	5,9	<6,5
Conductivité (μ S/cm)	409	474	637	1397	665	717	695	<2100
Ph	8,24	8,24	8,01	7,19	8,56	8,44	8,17	(6,5/ 9)
Turbidité (NTU)	0,42	0,49	2,19	0,46	0,81	1,31	0,57	<5
UV (nm)	0,005	0,003	0,071	0	0,002	0,022	0,026	-
Couleur (Hazen)	8	4	34	1	8	17	7	<15
Dureté (TH)	8,8	12,3	15,8	38,3	18,3	17,6	16,6	<500
NH4+ (mg/l)	0,01	0	1,02	0	0,05	0,02	0,03	<0,5
NO3- (mg/l)	1,55	5,54	5,4	1,35	4,31	6,37	2,35	<50
NO2- (mg/l)	0	0	0,792	0,005	0,013	0,099	0,038	<0,2
PO4(mg/l)	0,12	0,28	0,04	0,18	0,16	0,73	0,23	<5
RS (mg/l)	242	284	368	786	406	454	406	<1500
MES (mg/l)	0	0	12	2	12	2	2	-
MO (mg/l)	1,05	0	1,66	0,15	0,15	2,03	1,13	-

2.1 Paramètre organoleptique

2.1.1 La couleur

Les résultats obtenus sont en dessous de la norme fixée par l'ANRH pour les eaux superficielles et qui est de 200 Hazen (annexe 11).

Cependant, en les comparant aux normes de l'OMS, deux groupes de stations sont mis en évidence :

- Les stations de haute altitude (TR, ZB, AI), la station de moyenne montagne (TGH) et la station de basse altitude (BH) avec des valeurs inférieures à 15.
- Les stations de moyenne montagne (IF) et de piémont (KH) qui présentent respectives de 17 et 34 Hazen (figure 7).

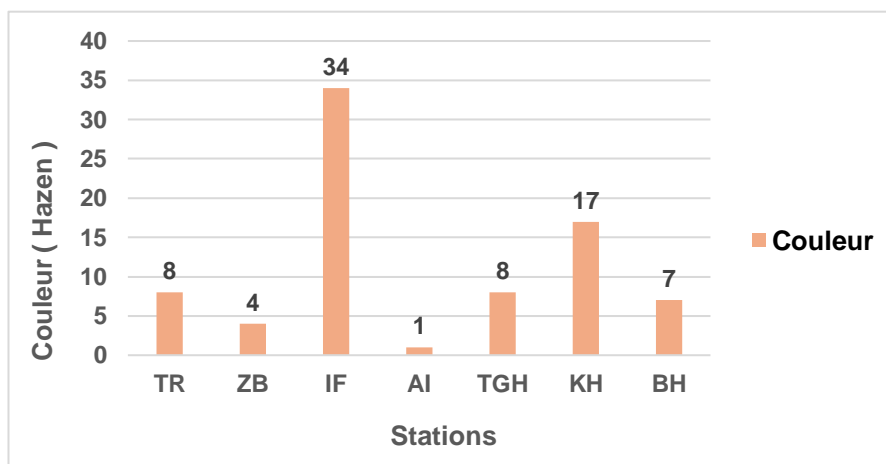


Figure 7 : Les variations de la couleur de l'eau des stations d'étude

2.2. Paramètres physico-chimiques

2.2.1 La turbidité

Les valeurs obtenues de la turbidité (figure 8) oscillent entre un minimum de 0,42 NTU (TR) et un maximum de 2,19 NTU (IF). Toutes les valeurs de la turbidité sont en dessous de la norme OMS (< 5 NTU), ce qui montre que l'eau n'est pas trouble et pour certaines stations, elle est plus claire.

Les stations où les résultats de la turbidité sont faibles témoignent d'un faible taux de matière organique dans l'eau, d'une vitesse du courant rapide et l'absence de pollution. Tandis qu'une turbidité élevée est la conséquence des rejets domestiques des agglomérations avoisinantes mais aussi l'importance des débris végétaux et matières organiques (IF et KH)

D'une façon générale les résultats obtenus montrent que les stations étudiées ont des eaux claires et donc de faibles teneurs en MES, cela favorise la pénétration de la lumière, une bonne oxygénation de l'eau, ce qui engendre de bonnes conditions du milieu pour la vie aquatique.

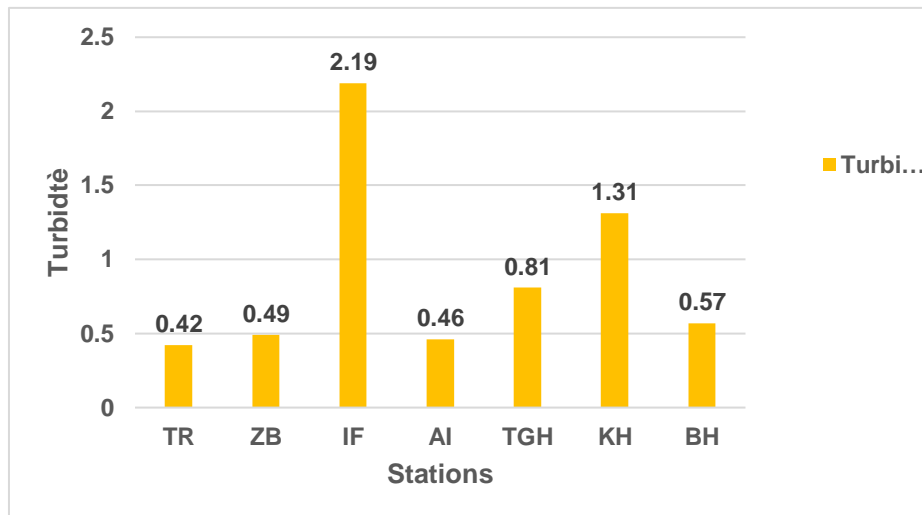


Figure 8 : Les variations de la turbidité des eaux dans les stations d'étude

2.2.2 Le pH

La valeur du pH de l'eau dépend de la structure géologique du bassin versant traversé. Dans le cas de nos stations, on peut constater que les valeurs du pH varient entre 7,19 et 8,56 ce qui signifie que l'eau de ces cours d'eau est basique en raison de la présence calcique dans la région d'étude (figure 9).

Ces valeurs indiquent une eau de bonne qualité selon la norme ANRH de classification des eaux superficielles (6,5 à 9).

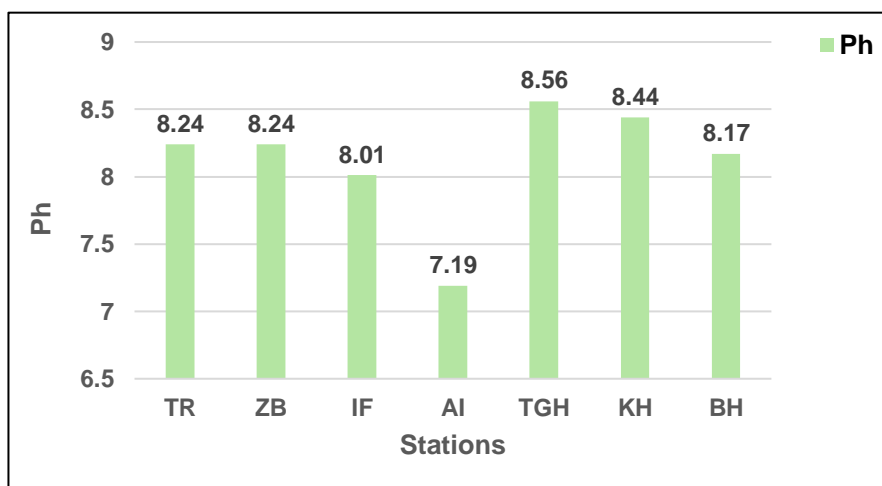


Figure 9 : Les valeurs de pH des stations d'étude

2.2.3 La dureté (TH)

L'eau des stations étudiées est classifiée d'eau douce pour la station TR et ZB, plutôt dure (16,6- 17,6-18,3-15,8 mg/l) pour les autres stations et dure pour la station AI (38,3 mg/l).

2.2.4 La conductivité électrique

Dans nos stations (figure 10), la conductivité a été mesurée entre 409 et 1397 microsiemens par centimètre $\mu\text{S}/\text{cm}$:

La conductivité dans la station AI est la plus élevée avec une valeur de 1397 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cela est dû à la présence des sels minéraux en grande quantité dans l'eau, comparant aux stations TR, ZB, IF, TGH, KH et BH, on constate que les valeurs de la conductivité sont moyennes.

Les valeurs de la conductivité de nos cours d'eau sont en dessous de la norme fixée par l'OMS ((2100), en les comparant aux normes de l'ANRH les stations présentent globalement une qualité de l'eau moyenne à bonne.

Les valeurs de la conductivité de nos cours d'eau sont en dessous de la norme fixée par l'OMS, en les comparant aux normes de l'ANRH, les stations présentent globalement une qualité de l'eau moyenne à bonne.

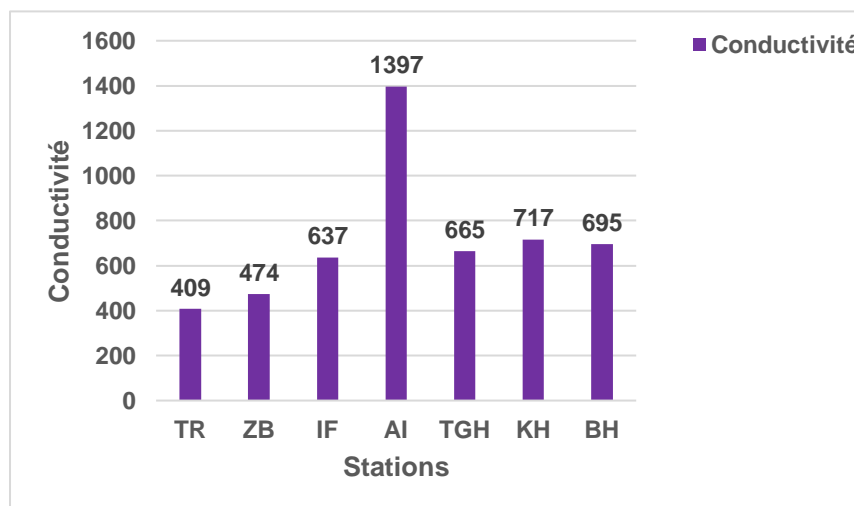


Figure 10 : Les valeurs de la conductivité électrique des stations étudiées

2.2.5 L'oxygène dissous

Pour l'ensemble des prélèvements, l'oxygène dissous varie de 5,52 à 6,89 mg/l, ces résultats montrent que les stations étudiées sont moyennement bien oxygénées, selon la grille de classification des eaux superficielles utilisées par l'ANRH, toutes nos stations d'étude présentent une eau de moyenne qualité car l' O_2 dissous est supérieur à entre 5 à 7 mg/l (figure 11).

Ce paramètre favorise la croissance des microorganismes qui dégradent la matière organique qui consomment l'oxygène.

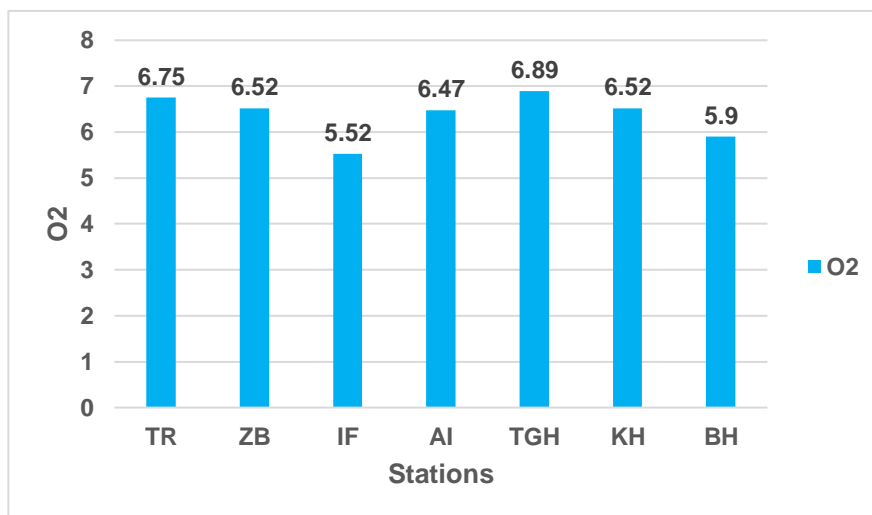


Figure 11 : Les valeurs d'O₂ dissous dans les stations d'étude

2.2.6 La matière organique

Dans les cours d'eau étudiés (figure 12), les stations AI, TR et TGH sont dépourvues de la MO, on observe aussi que la station ZB n'a enregistré aucune valeur, cela montre l'absence de toute pollution et activité anthropique et que la qualité de l'eau est excellente.

La pollution organique et urbaine dans les stations de moyenne et basse altitude en particulier au niveau des stations IF, KH et BH est la cause des valeurs élevées de la matière organique qui sont comprises entre 1,13 mg/l et 2,03 mg/l malgré l'autoépuration, l'arrivage de la matière organique continue.

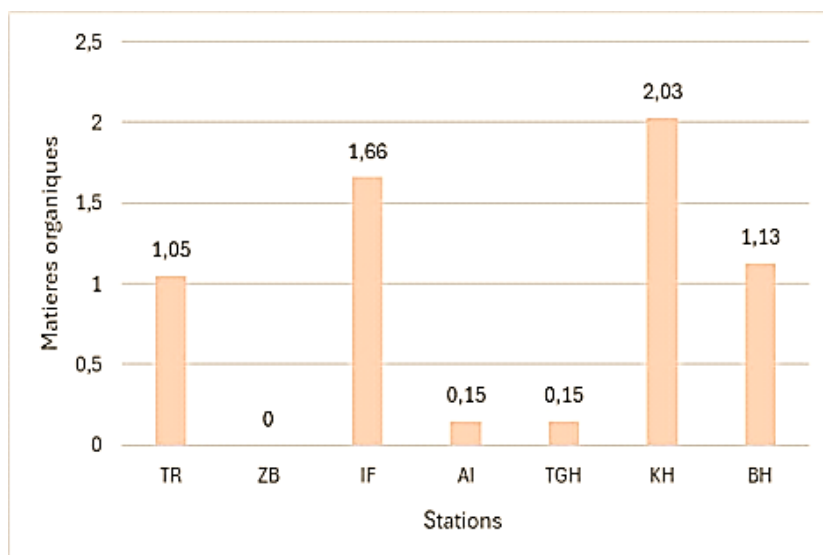


Figure 12 : Les concentrations de la matière organique dans les stations d'étude.

9.3 Paramètres de pollution

9.3.1 L'Ammonium, les Nitrites et les Nitrates

Les résultats obtenus des différents paramètres de pollution étudiées varient d'une station à l'autre, la présence de ces éléments (NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^-) dans les cours d'eau affirment le bon déroulement du processus d'autoépuration impliquant l'oxydation de l'ammonium en nitrites puis de nitrites en nitrates.

Les résultats obtenus des différents paramètres de pollution étudiées varient d'une station à l'autre.

Dans les stations alticoles (TR, ZB et AI), l'ammonium et les nitrites sont absents ce qui signifie l'absence de perturbations anthropiques et l'eau est de bonne qualité (ANRH).

Dans les stations TGH, KH et BH l'ammonium et les nitrites sont représentés par des teneurs faibles. Ce qui confirme le déroulement du processus d'oxydation de l'ammonium en nitrite puis en nitrates.

La station (IF) enregistre des teneurs élevées d'ammonium, nitrites et nitrates, témoignent de la présence de perturbations anthropiques ainsi qu'une forte activité d'oxydation de l'azote.

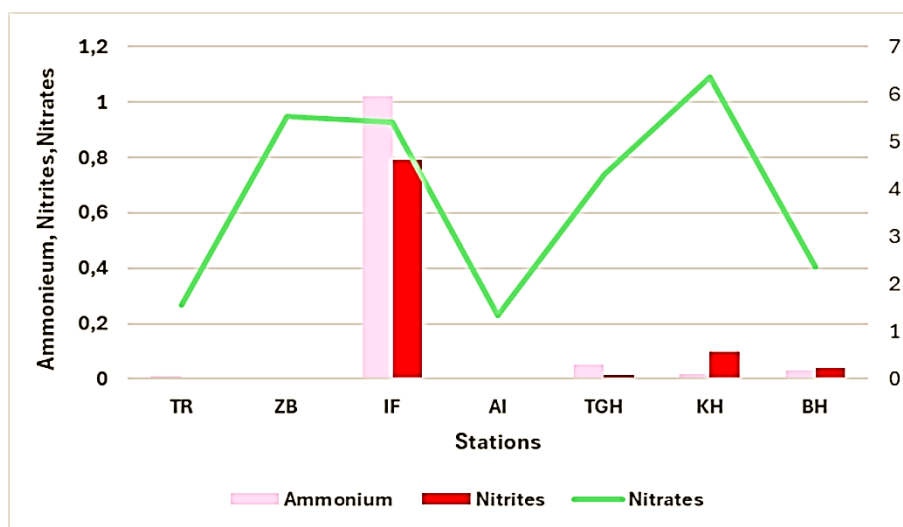


Figure 13 : La concentration d'ammonium, des nitrites et des nitrates dans les stations d'étude.

9.3.2 Les ortho-phosphates

Les relevés de la qualité des eaux des sites d'étude ont montré que les concentrations des orthophosphates se situent entre 0,04 et 0,73 mg/l. Ces valeurs restent inférieures à la limite admissible pour le phosphore soit 5 mg/l selon l'OMS.

Dans les stations TR, IF, AI et TGH, on constate que les Orthophosphates se présentent en

petites teneurs, tandis que dans les stations BH, ZB et KH les valeurs sont un peu élevées, ce qui est dues aux actions anthropiques mais qui restent inférieures à la limite admissible pour le phosphore selon l’OMS et l’ANRH (figure 14).

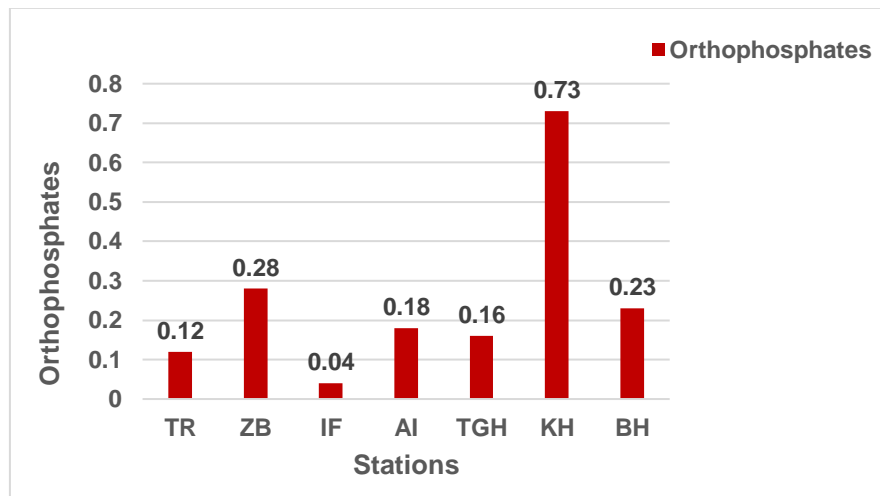


Figure 14 : Les concentrations des Orthophosphates dans les stations d’étude.

3. Evaluation bactériologique de la qualité de l’eau

Pour la détermination de la qualité générale des eaux, l’analyse microbiologique est indispensable et complémentaire de l’analyse physico-chimique.

Les analyses des bactéries dans les cours d’eau ont été effectuées après 24h de prélèvement et durant l’analyse au laboratoire, les 7 échantillons ont été dilués avec l’eau distillée. Les résultats des analyses bactériologiques sont donnés par le tableau 8 puis comparés aux normes de l’A.N.R.H.

Tableau 9 : Résultats de l’analyse bactérienne des stations d’étude.

Paramètres Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH	Les normes de l’OMS
Coliformes totaux (UFC/100ml)	270	3400	49600	5700	7800	10000	14000	<1000 UFC /100 ml
Escherichia – coli (UFC/100ml)	0	1400	5000	100	1500	2700	6400	Absence totale dans 100 ml
Streptocoques	100	195	53200	260	13800	3000	16880	< 2000 UFC/100ml

3.1 Coliformes totaux

Les valeurs de coliformes totaux augmentent de l'amont vers l'aval, la station TR compte 270 UFC/100ml, au-dessous de la norme environnementale fixée par l'ANRH qui est de 2000 UFC/100ml et l'OMS qui est de 1000UFC/100ml.

Comparant aux autres stations que leurs valeurs sont supérieures et qui varient entre 3400 et 49600 UFC/100ml, ce qui est en relation directe avec l'intensification de l'impact anthropique exercé sur le réseau hydrographique étudié.

3.2 Escherichia – coli

Le dénombrement des E. Coli a révélé des concentrations différentes dans chaque station, montrant leurs présences sauf à la station TR qui ne présente aucune valeur, absence de pollution et la station AI présentant la valeur la moins élevée une valeur de 100 UFC/100ml, cette station est exempte de toute sorte de pollution.

Les stations de moyenne montagne et basse altitude ont montré des concentrations supérieures à 100UFC/ml

La station IF compte une valeur supérieure de 5000 UFC/100ml car cette station est très contaminée par les perturbations anthropiques.

3.3 Streptocoques fécaux

La présence des streptocoques dans toutes les stations étudiées, les stations de moyennes montagnes et piémont ont des valeurs très élevées comparant aux stations alticoles qui ont des valeurs moins élevées, ce qui confirme la forte présence de la contamination fécale due à l'action anthropique.

4. Résultats faunistiques

Dans cette partie, nous rapportons les résultats de notre inventaire faunistique ainsi que leur traitement qualitatif et quantitatif.

4.1 Analyse globale de la faune benthique

Le benthos, communauté d'invertébrés peuplant le fond des cours d'eau présente une répartition hétérogène influencée par la nature du substrat. Fixés, rampants ou fouisseurs, ces organismes adoptent des modes de vie variés (Sekhi, 2010). Ainsi, l'exploration du benthos dévoile la composition, la structure et la distribution spatiotemporelle des communautés de macro invertébrés établies (Cereghino, 1992).

Les prélèvements effectués ont permis de recenser dans le benthos un total de 3274 individus répartis en 14 groupes zoologiques, 48 familles et 65 genres (tableaux 9 et 10).

Tableau 10 : Nombre de familles et de genres par groupe zoologique dans les stations d'étude.

Groupes zoologiques	Nombre de familles	de	Nombre de genres
Diptères	12		12
Coléoptères	6		16
Plécoptères	5		7
Trichoptères	5		5
Ephéméroptères	4		9
Vers	4		4
Odonates	3		3
Hétéroptères	3		3
Planipennes	1		1
Crustacés	1		1
Hydracariens	1		1
Mollusques	1		1
Sangsues	1		1
Hyménoptères	1		1
Total	48		65

Le groupe le plus diversifié est celui des Diptères avec 13 familles, il est suivi par les Coléoptères (6 familles, 16 genres), puis par les Plécoptères (5 familles, 7 genres), les Trichoptères (5 familles, 5 genres), les Ephéméroptères (4 familles, 9 genres), les vers (4familles, 4 genres), les Odonates et les Hétéroptères avec 3 familles et 3 genres chacun.

Enfin, les Hydracariens, les Mollusques, les Sangsues, les Planipennes et les Hyménoptères sont monogénériques.

Du point de vue quantitatif, les Ephéméroptères sont dominants et comptent 1567 individus et constituent un pourcentage de 47,86 % de la faune totale, ils sont suivis par les Diptères 1025 individus (31,30 %), les Trichoptères occupent la 3^{ème} place avec 147 individus (4,48 %), suivis par les Coléoptères avec 133 individus (3,42 %) et les Plécoptères avec 96 individus (2,93 %).

Les autres groupes à savoir les Odonates, les Sangsues, les Mollusques, les Planipennes, les Hydracariens et les Hyménoptères sont faiblement représentés (figure 15).

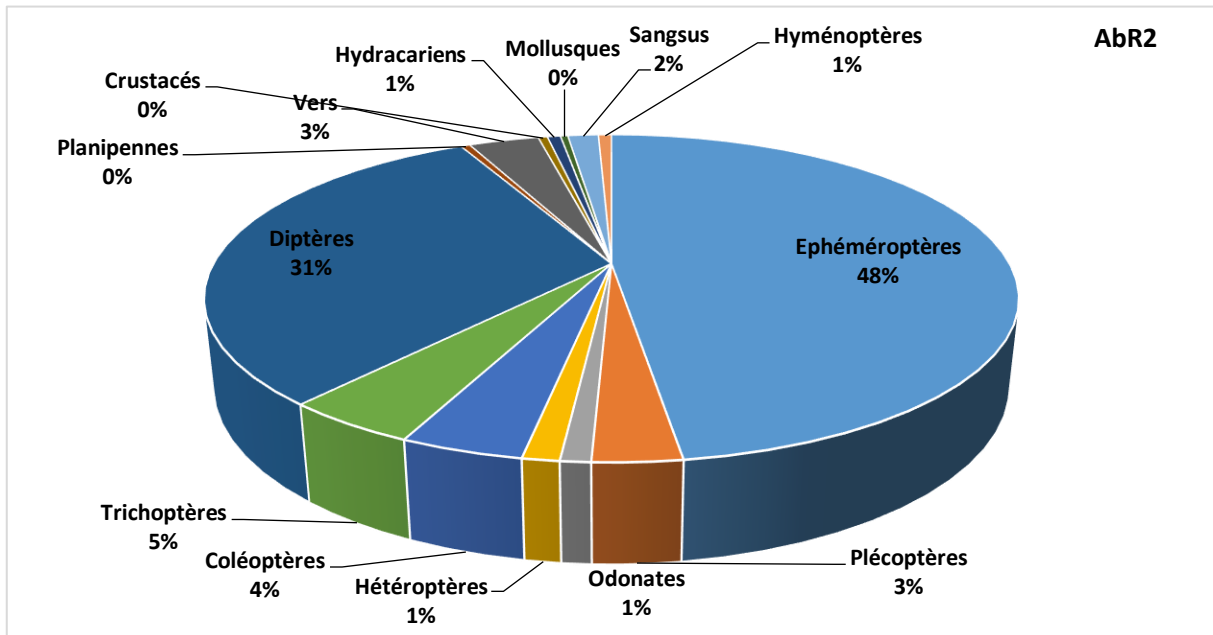


Figure 15 : Répartition globale de la faune benthique dans les stations d'étude.

Tableau 11 : Répartition de la faune benthique dans les stations étudiées.

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH	Ab	AbR%	Occ	OccR %
Taxons	1120	860	530	820	520	380	200				
EPHEMEROPTERES											
Baetidae											
<i>Acentrella</i>	5				3			8	0,24	2	28,57
<i>Baetis</i>	70	208	300	30	192	50	150	1000	30,54	7	100
<i>Centroptilum</i>		3		3				6	0,18	2	28,57
<i>Cloeon</i>							5	5	0,15	1	14,28
Caenidae <i>Caenis</i>		130	197		85	46	35	493	15,05	5	71,42
Heptageniidae											
<i>Ecdyonurus</i>	5							5	0,15	1	14,28
<i>Rhithrogena</i>	3							3	0,09	1	14,28
Leptophlebiidae											
<i>Choroterpes</i>							3	3	0,09	1	14,28
<i>Habrophlebia</i>	27	5		10	2			44	1,34	4	57,14
Total	110	346	497	43	282	96	193	1567			
PLECOPTERES											
Capniidae <i>Capnopsis</i>	3							3	0,09	1	14,28
Nemouridae											
<i>Amphinemura</i>	3			5				8	0,24	2	28,57
<i>Protonemura</i>	4							4	0,12	1	14,28
<i>Nemoura</i>		3						3	0,09	1	14,28
Perlodidae <i>Isoperla</i>				3				3	0,09	1	14,28
Perlidae <i>Perla</i>	49			12				61	1,86	2	28,57
Leuctridae <i>Leuctra</i>	6	8						14	0,42	2	28,57
Total	65	11		20				96			
ODONATES											
Aeshnidae <i>Boyeria</i>	3	4						7	0,21	2	28,57
Calopterygidae <i>Calopteryx</i>		4	3					7	0,21	2	28,57
Gomphidae <i>Gomphus</i>		4	3	3	3	3	3	19	0,58	6	85,71
Total	3	12	6	3	3	3	3	33			
HETEROPTERES											
Gerridae <i>Gerris</i>			16		9			25	0,76	2	28,57
Hydrometridae <i>Hydrometra</i>	3	3	3	3				12	0,36	4	57,14
Notonectidae <i>Notonecta</i>		3						3	0,09	1	14,28
Total	3	6	19	3	9			40			
COLEOPTERES											
Dytiscidae											
<i>Agabus</i>		3	3	3		3		12	0,36	4	57,14
<i>Eretes</i>			3			3		6	0,18	2	28,57
<i>Bidessus</i>	6		3				3	12	0,36	3	42,85
<i>Cybister</i>	3	3	3			3	7	19	0,58	5	71,42
<i>Laccophilus</i>		3	3				3	9	0,27	2	28,57
Elmidae											
<i>Oulimnius</i>		7	3					10	0,30	2	28,57
<i>Riolus</i>	3	3	3	3				12	0,36	4	57,14
<i>Dupophilus</i>	3	3						6	0,18	2	28,57
Dryopidae <i>Dryops</i>	4			3		3		10	0,30	3	42,85
Helodidae <i>Hydrocyphon</i>	3			4				7	0,21	2	28,57
Hydraenidae											
<i>Limnebius</i>			3					3	0,09	1	14,28
<i>Ochthebius</i>			3					3	0,09	1	14,28
<i>Hydraena</i>				3				3	0,09	1	14,28
Hydrophilidae											
<i>Cymbiodyta</i>						3	3	6	0,18	2	28,57
<i>Laccobius</i>			6					6	0,18	1	14,28
<i>Hydrophilus</i>			3	3			3	9	0,27	3	42,85
Total	22	22	36	19		15	19	133			

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH	Ab	AbR2%	Occ	OccR %
Taxons / Altitude (m)	1120	860	530	820	520	380	200				
TRICHOPTERES											
Hydropsychidae <i>Hydropsyche</i>	5	52		14	14	15	11	111	3,39	6	85,71
Rhyacophilidae <i>Rhyacophila</i>	3	3	4	4	3	3		20	0,61	6	85,71
Hydroptilidae <i>Orthotrichia</i>					3		3	6	0,18	2	28,57
Philopotamidae <i>Wormaldia</i>	7							7	0,21	1	14,28
Brachycentridae <i>Micrasema</i>				3				3	0,09	1	14,28
Total	15	55	4	21	20	18	14	147			
DIPTERES											
Chironomidae	7	56	40	4	86	9	7	209	6,38	7	100
Simuliidae		14	380	97	17	81	3	592	18,08	6	85,71
Limoniidae	13	10	3	3	8		4	41	1,25	6	85,71
Tipulidae	3	3	19	3	15	47	3	93	2,84	7	100
Tabanidae		3					3	6	0,18	2	28,57
Stratiomyidae	3							3	0,09	1	14,28
Dixidae	3			3	3			9	0,27	3	42,85
Anthomyiidae			43			3		46	1,40	2	28,57
Culicidae			3					3	0,09	1	14,28
Ephydriidae			7					7	0,21	1	14,28
Ceratopogonidae		3		3	7			13	0,39	3	42,85
Psychodidae				3				3	0,09	1	14,28
Total	29	89	495	116	136	140	20	1025			
PLANIPENNES											
Neurorthidae <i>Neurorthus</i>	3							3	0,09	1	14,28
VERS											
Lumbricidae	7	6	6	3				22	0,67	4	57,14
Naididae	16	12	16			6		50	1,52	4	57,14
Haplotaxidae			10					10	0,30	1	14,28
Tubificidae			30					30	0,91	1	14,28
Total	23	18	62	3		6		112			
CRUSTACES											
Potamonidae <i>Potamon</i>	3		3	3	3	3		15	0,45	5	71,42
HYDRACARIENS											
		10		4		3	4	21	0,64	4	57,14
MOLLUSQUES											
		6	3				3	12	0,36	3	42,85
SANGSUES											
			46			3		49	1,49	2	28,57
HYMENOPTERES											
		10		4		3	4	21	0,64	4	57,14
Totaux	276	585	1171	239	453	290	260	3274			
Richesse taxonomique (Occ)	30	30	32	28	16	19	20				

Ab : Abondance **AbR 1%** : Abondance relative/ groupe considéré

AbR 2% : Abondance relative / faune totale, **Occ** : Occurrence **OccR %** : Occurrence relative

4.2 Abondance stationnelle

L'abondance stationnelle varie entre un minimum de 239 individus pour la station AI, (soit 7,29 % de la faune totale) et un maximum de 1171 individus pour la station IF (soit 35,76 %) (figure 16).

L'effectif maximum enregistré au niveau de la station IF est essentiellement dû à la dominance des Diptères Simuliidae avec 380 individus (soit, 32,45 %) et sont représentés par Ephéméroptères du genre *Baetis* avec 300 individus (soit, 25,61%).

La station AI ne totalise que 239 individus qui sont représentés essentiellement par les Diptères Simuliidae avec 97 individus (40,58%).

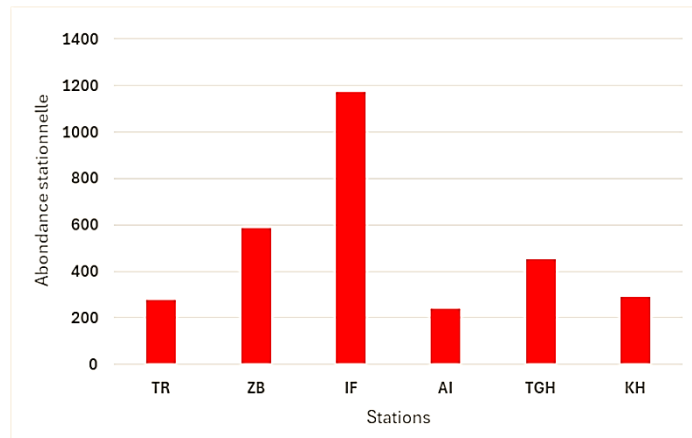


Figure 16 : Abondance stationnelle de faune globale dans les stations d'étude.

4.3 Richesse taxonomique

La lecture de la figure 17 relative à la richesse taxonomique stationnelle montre que le nombre de taxons varie d'une station à une autre, il fluctue entre un minimum de 16 taxons enregistré à la station TGH et un maximum de 32 taxons récolté à la station IF.

Les stations les plus alticoles (TR, ZB et AI) présentent une richesse taxonomique comprise entre 28 et 30 taxons. Les taxons notés dans ces stations sont pour la plupart rhéophiles et polluo-sensibles (Plécoptères, Trichoptères, Héteroptères et Coléoptères).

La diversité élevée des Coléoptères (11 genres) et celle des Diptères (7 familles) contribuent fortement à la richesse taxonomique de la station IF (32 taxons).

Les stations de moyenne montagne (TGH), de piémonts (KH) et de basse altitude (BH) sont moins (entre 16 et 20 taxons), ce qui est due à l'augmentation des perturbations anthropiques. En effet, dans ces stations on note la disparition de tous les Plécoptères ainsi que la plupart des Epheméroptères et Trichoptères. Ne subsistent dans ce secteur que les taxons tolérant la présence de la matière organique et supportant les élévations de la température de l'eau.

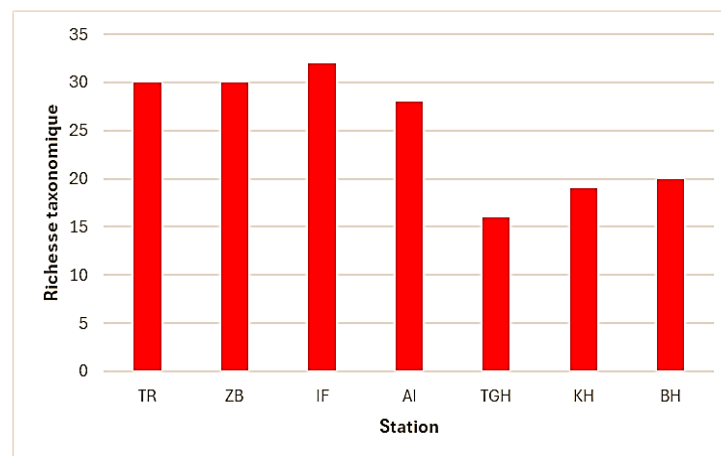


Figure 17 : Richesse taxonomique de faune globale dans les stations d'étude.

4.4. Abondance et occurrence des taxons

Les figures 18 et 19 visualisent graphiquement l'abondance et l'occurrence relatives des taxons récoltés dans les 7 stations. Ils peuvent être classés en 3 grands groupes :

Taxons constants : ce sont des populations denses et à large valence écologique. Ils sont eurythermes, eurytopes et ils colonisent tous les habitats ou presque, on retrouve les Beatidae Tipulidae et les Chironomidae avec Occ R = 100%.

Et nous avons aussi les Naididae, Limoniidae, Hydropsychidae, Hymnoptères, Simuliidae, Lumbricidae, Gomphidae, Hydracariens, Hydrometridae, Potamonidae, Dytiscidae, Leptophlebiidae, Rhyacophilidae et les Caenidae avec Occ R > 50%.

Taxons accessoires : ce sont des populations plus ou moins denses et moins fréquentes dont l'occurrence relative est comprise entre 25% et 50%, représentées par les Nemouridae, Perlidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Hydroptilidae, Elmidae, Leuctridae Hydrometridae, Dryopidae, Dixidae, Ceratopogonidae et les Mollusques.

Taxons rares ou accidentels : ce sont des populations très peu abondantes et très peu fréquentes, très localisés, repérés dans des biotopes spécialisés tel que les ruisseaux de sources et rhéophiles de montagnes. On retrouve les Perlodidae, les Heptageniidae, les Philopotamidae, les Capniidae, les Notonectidae, Hydraenidae, Brachycentridae, Stratiomyidae, Culicidae, Ephrydidae, Psychodidae, Neurorthidae, Haplotaxidae et les Tubificidae.

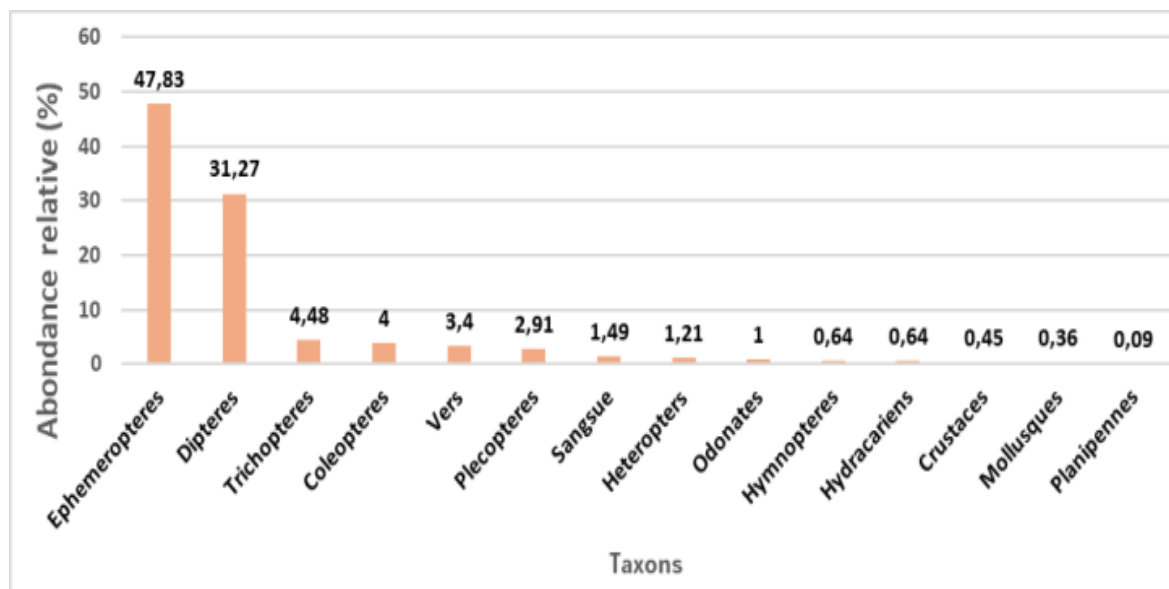


Figure 18 : Abondance relative (%) des taxons récoltés.

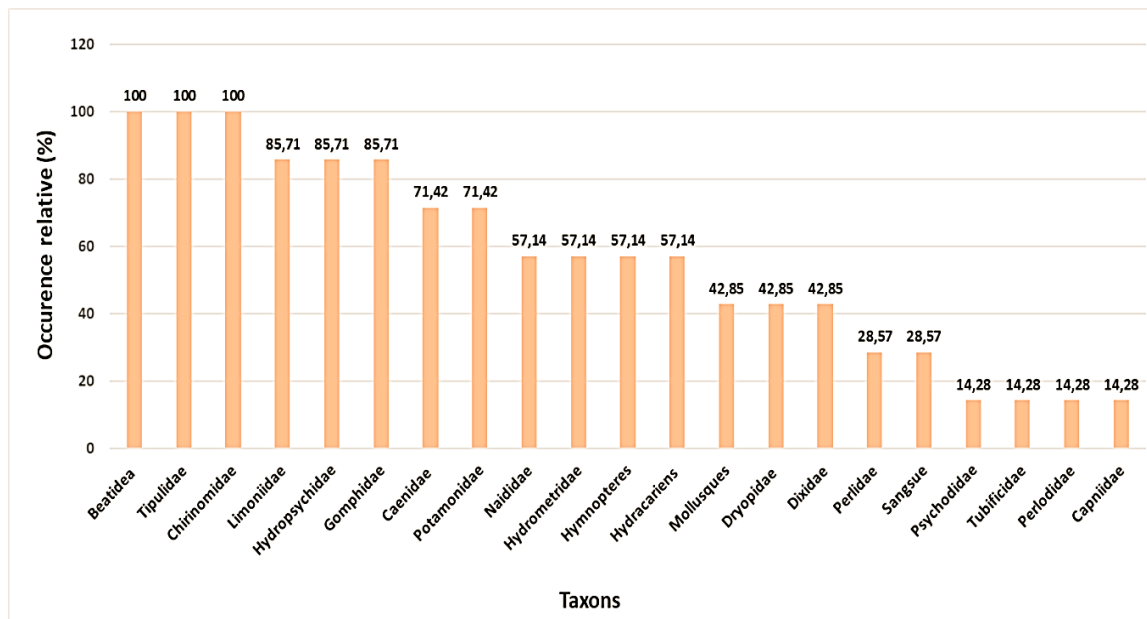


Figure 19 : Occurrence relative (%) des taxons récoltés.

5. Analyses quantitative et qualitative de la faune benthique

5.1 Les Ephéméroptères

Les Ephéméroptères constituent un groupe largement répandu dans les eaux courantes, ils occupent différents biotopes : des torrents, ruisseaux et rivières (Thomas, 1981).

Dans nos stations d'étude, les Ephéméroptères sont les plus abondants, ils sont représentés par 1567 individus, soit 47,86 % de la faune totale, répartis en quatre familles et neuf genres (figure 20) : Baetidae (*Baetis*, *Acentrella*, *Centroptilum*, *Cloeon*), Caenidae (*Caenis*), Leptophlebiidae (*Habrophlebia* et *Choroterpes*) et Heptageniidae (*Ecdyonurus* et *Rhithrogena*).

Les Baetidae (*Baetis*) totalisent 1000 individus soit 63,81% des Ephéméroptères récoltés. Ils ont une large valence écologique et colonisent tous les milieux étudiés (eurytope) de l'amont jusqu'à l'aval. Selon Benmoussa et al. (2014), les éléments de cette famille tolèrent la pollution et les températures élevées cependant les autres genres ne représentent que 8 individus pour les *Acentrella*, 6 individus pour les *Centroptilum* et 5 individus pour les *Cloeon*.

Les Caenidae (*Caenis*) sont représentés par 493 individus soit 31,46 % des Ephéméroptères des stations d'étude. Cette famille est présente dans les stations de piémonts et de basse altitude.

Les Leptophlebiidae (*Habrophlebia*) sont peu abondants avec 44 individus soit 2,80 % des Ephéméroptères et les *Choroterpes* avec 3 individus sont présents uniquement dans la station (BH) (200m d'altitude).

Les Heptageniidae (*Ecdyonurus*) présentent 5 individus soit 0,31 % et les *Rhithrogena* présentent 3 individus récoltés uniquement dans la station (TR) (1120m d'altitude). En effet,

Lounaci (2005), les qualifie 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 distribution longitudinale de cet ordre met en évidence leur importance au niveau de la station IF avec 497 individus (soit, 31,71% du peuplement).

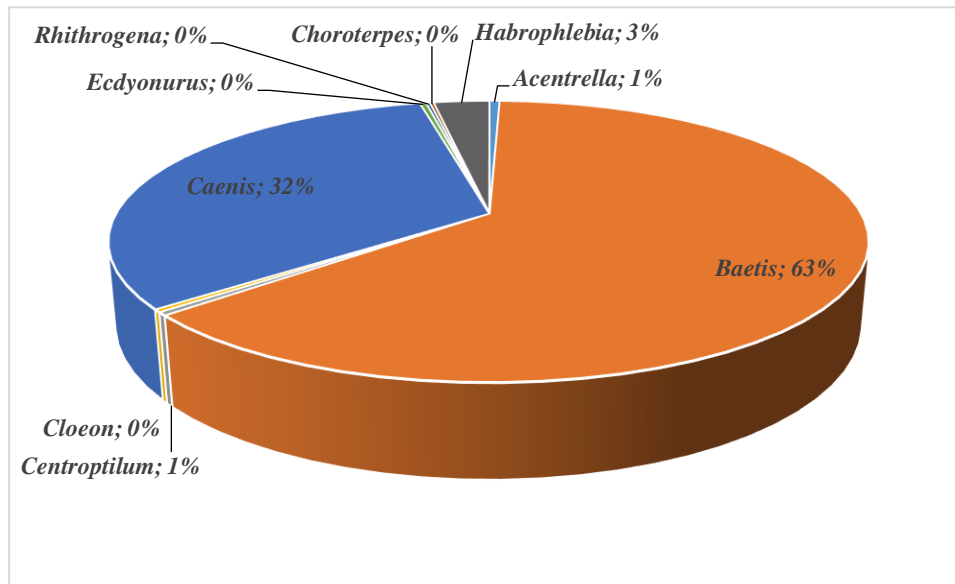


Figure 20 : Abondance des Ephéméroptères récoltés.

5.2 Les Diptères

Les Diptères constituent l'ordre le plus important après les coléoptères. Ils se caractérisent par leur grande diversité tant sur le plan écologique que biogéographique (Tachet et *al.*, 2010).

Les Diptères récoltés sont abondants avec 1025 individus, soit 31,30 % de la faune totale. Ils appartiennent à 13 familles et sont représentés dans la plupart des stations avec des effectifs importants mais leur répartition reste hétérogène (figure 21).

Les familles de Chironomidae et Simuliidae sont les mieux représentées avec 801 individus, environ 78,14 % des Diptères récoltés. Nous avons noté la présence de ces deux familles dans toutes les stations mais avec des abondances plus élevées en aval que l'amont, cela est dû à la présence de la pollution organique.

- La famille des Simuliidae est la plus abondante avec 592 individus soit 57,75% des Diptères récoltés.
- La famille des Chironomidae occupe la seconde place avec 209 individus, soit 20,39 % des Diptères récoltés.

En additionnant les effectifs des autres familles, nous obtenons 224 individus environ 21,85 % des Diptères récoltés.

L'abondance stationnelle la plus élevée en Diptères est notée au niveau de la station IF avec 495 individus représentés majoritairement par les Simuliidae (76,76 %).

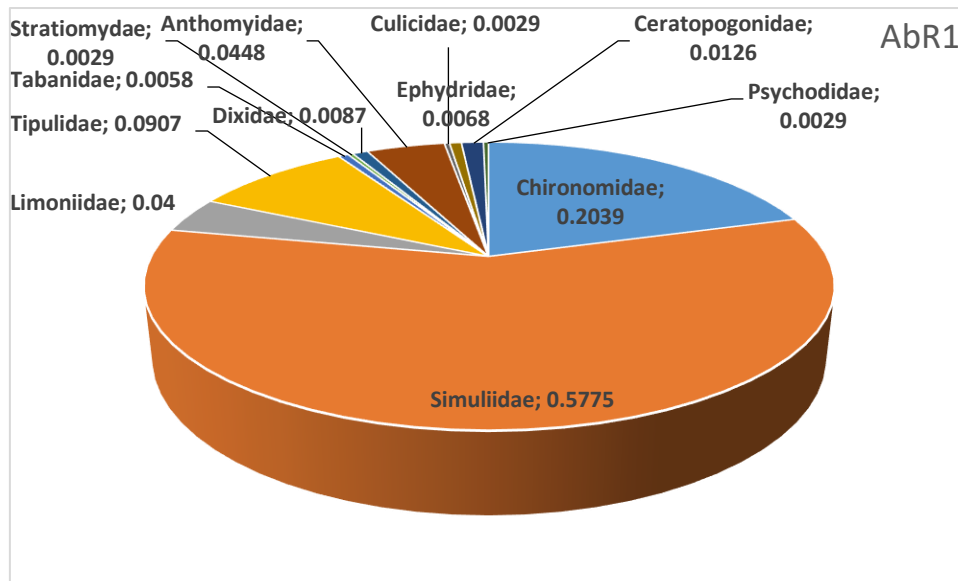


Figure 21 : Abondance des Diptères récoltés.

5.3 Les Plécoptères

Les Plécoptères, organismes polluo-sensibles qui sont associés aux eaux fraîches et propres (Moisan et *al.*, 2006). Ils sont de très bons indicateurs biologiques de l'état de santé des hydrosystèmes, très utilisés dans les méthodes d'analyse de la qualité des eaux courantes.

Les Plécoptères récoltés comptent 96 individus répartis en cinq familles et sept genres (figure 22). Ils ne sont présents que dans le cours d'eau supérieur du réseau hydrographique étudié. Cette partie du réseau hydrographique étudié est très propice aux développements des éléments de cet ordre d'insectes écologiquement très exigeants.

En effet, comme la signalé Lounaci (2005), les stations hébergeant les Plécoptères sont caractérisées par un substrat grossier, une température de l'eau peu élevée avec une végétation bordante assez dense, habitat préféré des Plécoptères.

La famille des Perlidae est la plus abondante qui totalise 61 individus avec 49 individus dans la station TR (alt. 1120m). Elle est suivie par la famille des Nemuridae, Leuctridae et Capniidae qui sont présents dans l'ensemble des stations de cours supérieur (entre 1120 m et 860m d'altitude), contrairement aux Perlodidae qui sont localisés au niveau de la station AI (alt. 820m).

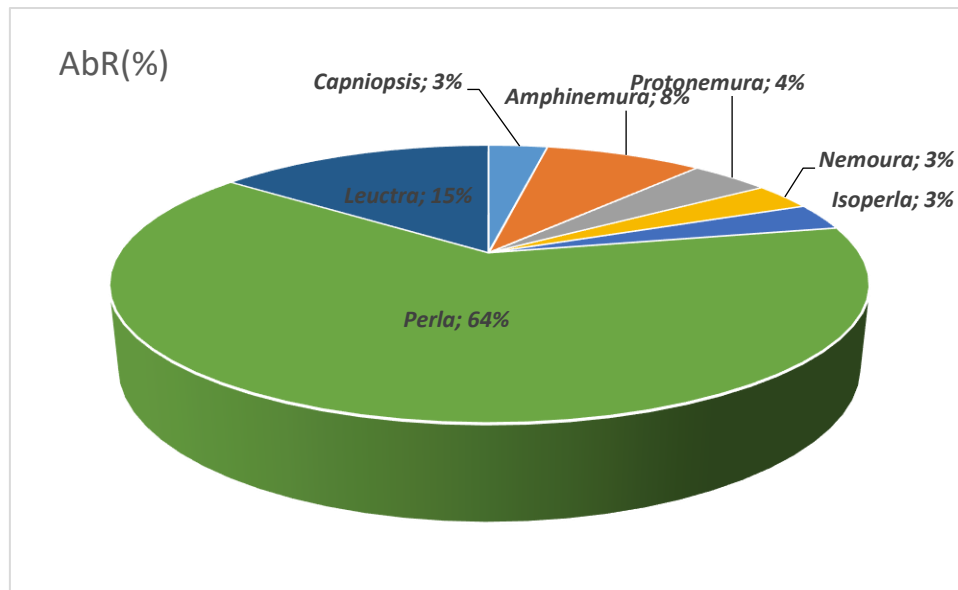


Figure 22 : Abondance des Plécoptères récoltés.

5.4 Les Coléoptères

Les Coléoptères sont les seuls insectes holométaboles à se présenter à la fois sous la forme imaginaire et larvaire dans les milieux aquatiques (Tachet et *al.*, 1980). Ils colonisent tous les habitats des eaux continentales possibles.

Dans les cours d'eau étudiés, les Coléoptères comptent 133 individus, soit 4,06 % de la faune globale collectée. Ils constituent l'ordre le plus diversifié avec 6 familles réparties en 16 genres (figure 23).

La famille des Dytiscidae est la plus abondante avec 58 individus, soit 43,60 % des Coléoptères. Elle est représentée par 5 genres dont le genre *Cybister* contient 19 individus, *Agabus* et *Bidessus* avec 12 individus pour chacun, *Laccophilus* avec 9 individus et *Eretes* contient 6 individus.

La famille des Elmidae, avec 28 individus, soit 19,54 % des Coléoptères récoltés, elle est représentée par 3 genres : *Riolus* contient 12 individus, *Ouliminius* contient 10 individus et *Dupophilus* contient 6 individus.

La famille des Dryopidae (*Dryops*) représente 10 individus soit 7,51 % des Coléoptères récoltés. Les autres familles sont très peu abondantes, les Hydrophilidae, les Helodidae et les Hydraenidae.

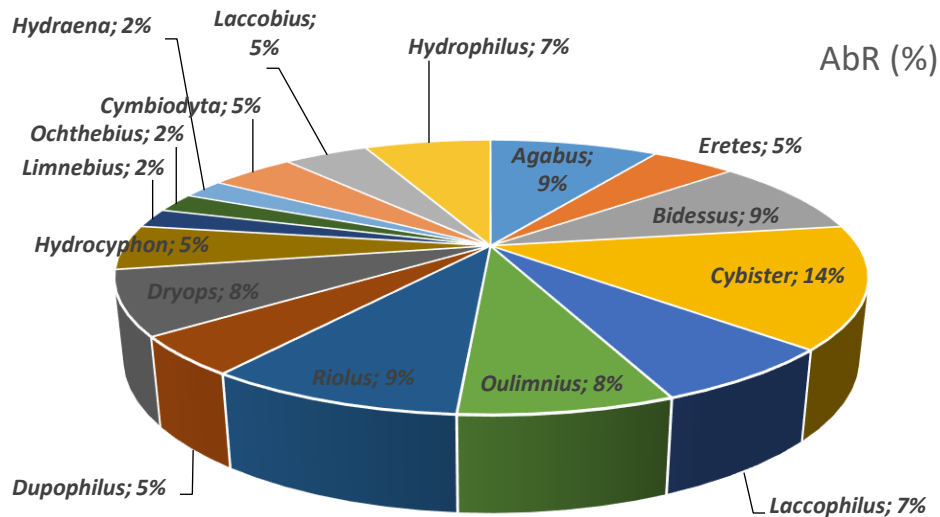


Figure 23 : Abondance des Coléoptères récoltés.

5.5 Les Trichoptères

Appartenant à l'ordre des Trichoptères, ces insectes, dont les stades larvaires et nymphaux sont strictement aquatiques, sont reconnus comme de précieux bioindicateurs de la qualité écologique des milieux lotiques (Gretia, 2009).

Les Trichoptères récoltés totalisent 147 individus, soit 4,48 % de la faune totale et se répartissent en 5 familles et 5 genres (figure 24).

La famille des Hydropsychidae représentée par l'unique genre *Hydropsyche* qui est le plus abondant avec 111 individus, soit 75,51 % des Trichoptères récoltés. Il est eurytherme et tolérant la présence de la matière organique.

Les Hydropsychidae jouent un rôle essentiel dans la dynamique des écosystèmes (Faessel et al., 1985).

Les Rhyacophilidae (*Rhyacophila*) totalisent 20 individus, soit 13,60 % des Trichoptères récoltés et sont à large valence écologique.

La famille des Philopotamidae (*Wormaldia*) comptent 7 individus (4,76 %), les Hydroptilidae (*Orthotrichia*) avec 6 individus (4,08 %) et les Brachycentridae (*Micrasema*) avec 3 individus (2,04 %), ils sont faiblement répartis.

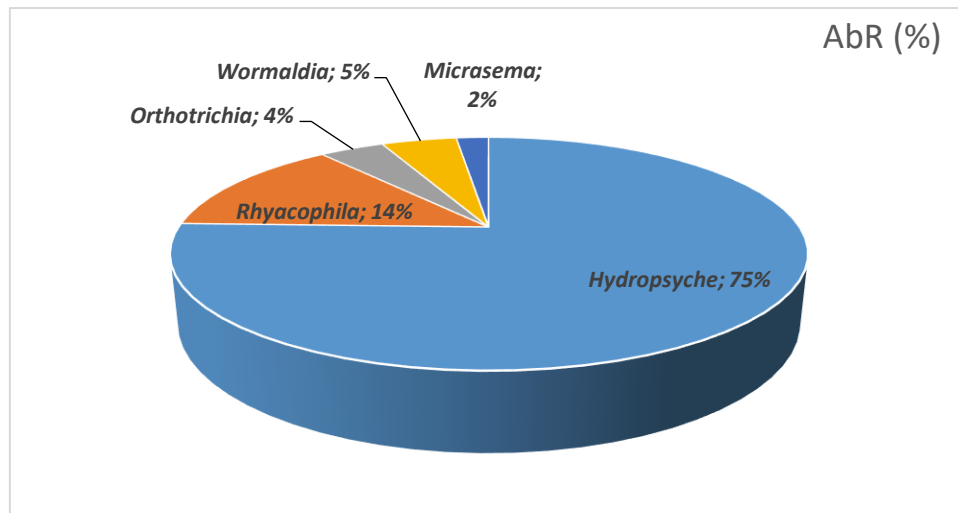


Figure 24 : Abondance des Trichoptères récoltés

5.6 Les Hétéroptères

Selon Dethier (1985-1986), les Hétéroptères aquatiques sont principalement associés aux eaux stagnantes, mais on peut également les trouver dans les zones abritées des cours d'eau.

Dans les stations étudiées les Hétéroptères sont faiblement représentés. Ils comptent seulement 40 individus, soit 1,22 % de la faune aquatique récoltée. Ils appartiennent à 3 familles et 3 genres et sont récoltés dans le cours supérieur et moyen.

La famille des Gerridae (*Gerris*) compte 25 individus (62,50 %), la famille des Hydrometridae (*Hydrometra*) compte 12 individus (30 %) et la famille des Notonectidae (*Notonecta*) compte que 3 individus (7,5 %) des tous les Hétéroptères récoltés (figure 25).

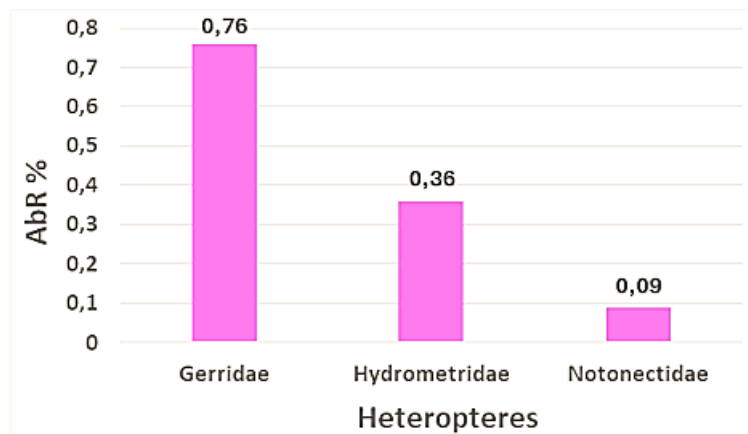


Figure 25 : Abondance des Hétéroptères récoltés.

5.7 Les Odonates

Ils sont représentés par 33 individus, soit 1,00 % de la faune totale récoltée, ils appartiennent à 3 familles et 3 genres, les Gomphidae (*Gomphus*) sont les plus abondants avec 19 individus, (57,57 %) des Odonates récoltés, ensuite les Aeshnidae (*Bayeria*) qui comptent 7 individus (21,21 %) et pareil aussi pour les Calopterygidae (*Calopteryx*) représentant 7

individus (21,21%), ils sont présents uniquement dans les zones d'hautes altitudes (figure 26).

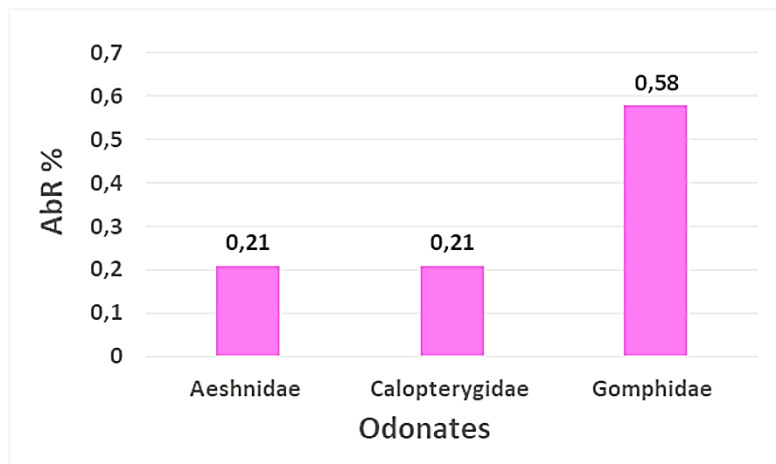


Figure 26 : Abondance des Odonates récoltés.

5.8 Les Vers

Ils sont d'une abondance de 112 individus d'un pourcentage de 3,42 % de la faune générale récoltée, représentés par 4 familles, la famille la plus abondante est les Naididae avec 50 individus, soit 44,64 % des vers récoltés, ensuite les Tubificidae avec 30 individus (26,78 %), les Lumbricidae avec 22 individus (19,64 %) et la famille la moins abondante c'est les Haplotaxidae avec 10 individus, soit 8,92 % des vers récoltés. Ils sont plus abondants dans les stations d'hautes altitudes (figure 27).

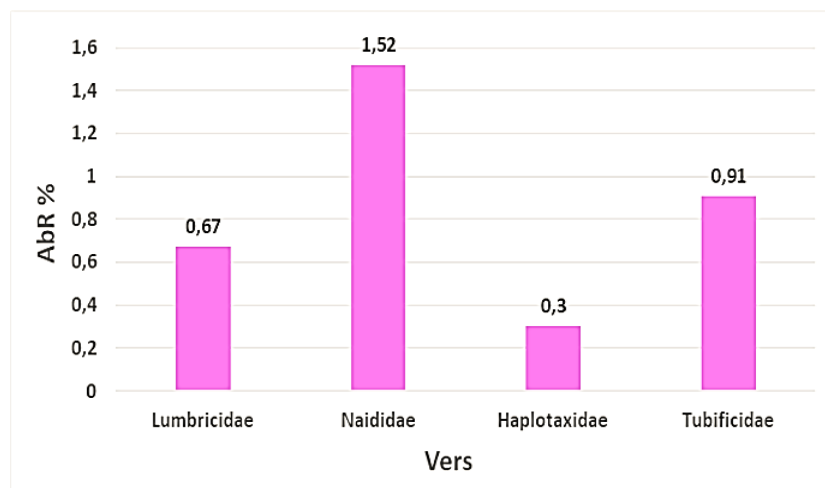


Figure 27 : Abondance des Vers récoltés

5.9 Autres groupes zoologiques

Les Sangsues (49 individus, soit 1,49 % de la faune récoltée), les Hydracariens (21 individus, soit 0,64 %), les Hyménoptères (21 individus, soit 0,36 %), les Crustacés (15 individus, soit 0,45 %), les Mollusques (15 individus, soit 0,45 %) et les Planipennes (3 individus, soit 0,09%) sont faiblement représentés.

6. Etude de la diversité

6.1 Indices de diversité de Shannon et Equitabilité

L'indice de diversité de Shannon mesure la richesse spécifique et l'indice d'Equitabilité renseigne sur l'homogénéité de la répartition des individus entre ces espèces, complétant ainsi l'analyse de la structure de la communauté.

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon H' calculés dans les stations d'étude varient entre 1,57 et 2,73 et pour l'Equitabilité E entre 0,58 et 0,79.

Les valeurs maximales de H' et de E sont notées dans la station TR avec respectivement 2,73 et 0,79. En effet, ce ruisseau de source située à 1120 m d'altitude est préservé de toute forme de pollution et offre ainsi, des conditions hydrologiques particulières avec une température de l'eau basse, un courant rapide, un fond grossier et un recouvrement de 90%. On a aussi la station (ZB) avec H' 2,21 et E 0,65 et la station (AI) avec H' 2,43 et E 0,73 qui ont des valeurs élevées, elles sont aussi des stations qui offrent un environnement de qualité.

Dans les stations de moyenne montagne et de piémont (IF, KH, TGH), les indices de diversité H' sont compris entre 1,77 et 2,15 et E entre 0,59 et 0,73. En dépit des différentes agressions anthropiques auxquelles sont confrontées ces stations, l'hétérogénéité du substrat offre des mosaïques d'habitats susceptibles d'être occupé par des taxons moins exigeants.

La station de basse altitude (BH) enregistre des indices $H'=1,57$ et $E=0,58$, la dégradation d'habitat et la réduction de la biodiversité est due à la pression anthropique élevée, la hausse des températures et l'accumulation de la matière organique. La faible valeur de l'équitabilité indique la présence un déséquilibre dans la structure du peuplement dû à la dominance d'un taxon ou plus. En effet, dans la station BH, le genre *Baetis* constitue 57,69% du total taxonomique stationnelle.

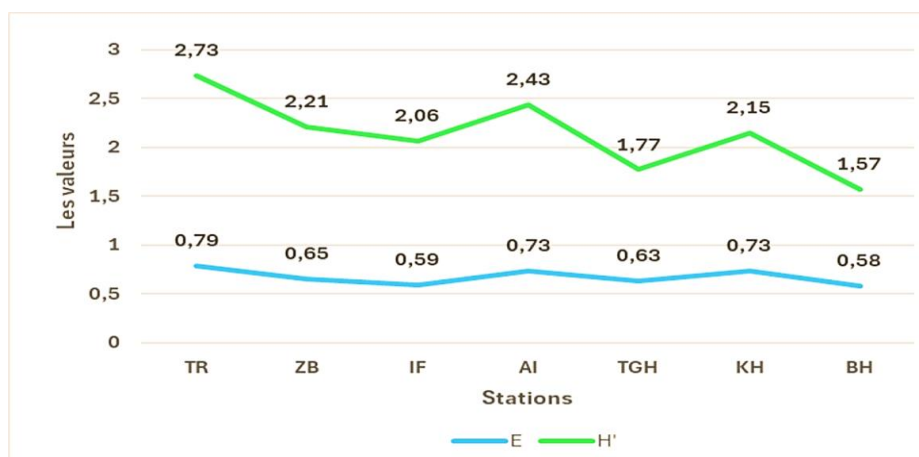


Figure 28 : Indices de diversité de H' et E dans les stations étudiées.

6.2 Evaluation biologique de la qualité de l'eau (IBGN)

La biodiversité est essentielle au maintien de l'intégrité biotique, chaque espèce jouant un rôle spécifique dans le fonctionnement de l'écosystème, L'évaluation de la santé d'un écosystème aquatique nécessite une approche holistique, intégrant les paramètres physico-chimiques et biologiques.

Selon Sekhi (2010), il est crucial d'évaluer non seulement la qualité de l'eau, mais également celle de l'ensemble de l'écosystème aquatique.

Grâce à leur capacité d'intégration dans le temps, les bioindicateurs permettent de détecter des perturbations qui ont eu lieu avant l'échantillonnage, contrairement aux analyses chimiques (Belhaouari *et al.*, 2017)

Certaines espèces sont plus au moins résistantes aux polluants que d'autres. Ces espèces indicatrices de pollution vont refléter par leur présence ou leur absence la qualité de l'écosystème (Le bras, 2007).

L'indice global normalisé (IBGN) est un outil de diagnostic des cours d'eau basé sur les macroinvertébrés (AFNOR, 2004).

Les résultats des analyses se basent sur deux critères principaux :

- La diversité faunistique, en tant qu'indicateur biologique, traduit à la fois la richesse en habitats disponibles et la capacité de ces habitats à accueillir une variété d'espèces.
- Le groupe indicateur le plus élevé, reflète plus la qualité de l'eau.

L'analyse des macro-invertébrés benthiques constitue une méthode de référence pour l'évaluation biologique de la qualité des cours d'eau, permettant d'intégrer les effets à long terme des perturbations sur le milieu.

Selon la diversité taxonomique de la station et la présence ou l'absence de taxons indicateurs, on attribue pour chaque station une note de qualité hydrobiologique variante de 1 jusqu'à 20.

Les résultats d'analyses hydrobiologiques (par la méthode d'IBGN) des différentes stations étudiées sont consignés dans le tableau 11 et illustrés par les figures 29, 30, 31 et 32.

Tableau 11 : Appréciation globale de la qualité de l'eau des stations d'étude

Stations	TR	ZB	IF	AI	TGH	KH	BH
Diversité	30	30	32	28	16	19	20
Groupe indicateur	9	7	4	9	5	4	5
Valeur de l'IBGN	17	15	12	16	9	9	10
Classe de la qualité	1A	1B	2	1B	2	2	2
Couleur correspondante	Bleu	Vert	Jaune	Vert	Jaune	Jaune	Jaune
Qualité hydrobiologique	Excellente	Bonne	Moyenne	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Pollution	Absente	Modérée	Nette	Modérée	Nette	Nette	Nette

Les stations de l'amont (TR, ZB, AI) présentent une qualité hydrobiologique bonne à excellente avec un IBGN de 17 pour la station TR, 15 pour la station ZB et 16 pour la station AI, la classe de la qualité 1A et 1B, la diversité taxonomique est élevée comprise entre 28 pour AI et 30 taxons pour TR et ZB avec un groupe indicateur élevé 7 et 9, indiquant une très bonne qualité d'eau du milieu ce qui signifie une absence de pollution.

La communauté de macroinvertébrés benthiques de ces stations est d'une richesse exceptionnelle qui révèle une grande diversité taxonomique portant de différentes familles avec une dominance d'espèces sensibles à la pollution comme les Plécoptères, les Trichoptères et les Éphéméroptères témoignant d'un milieu aquatique en excellent état de conservation.

Les stations de moyenne montagne et piémont (TGH, KH et IF) et de basse altitude (BH) présentent une qualité hydrobiologique moyenne avec une valeur d'IBGN qui varie entre 9 et 15, une classe de qualité de 2, et une diversité taxonomique de 16, 19 et 20 taxons sauf pour la station (IF) qui contient 32 taxons mais qui est dépourvue des taxons polluosensibles avec un groupe indicateur de 4 et 5. Ces stations indiquent une qualité hydrobiologique moyenne ce qui indique que la pollution dans ces stations est nette.

Les peuplements macro-invertébrés de ces stations sont caractérisés par une faible richesse taxonomique ainsi que la présence de taxons peu exigeants et qui tolèrent la pollution (polluo-resistants), les dégradations et les changements des milieux.

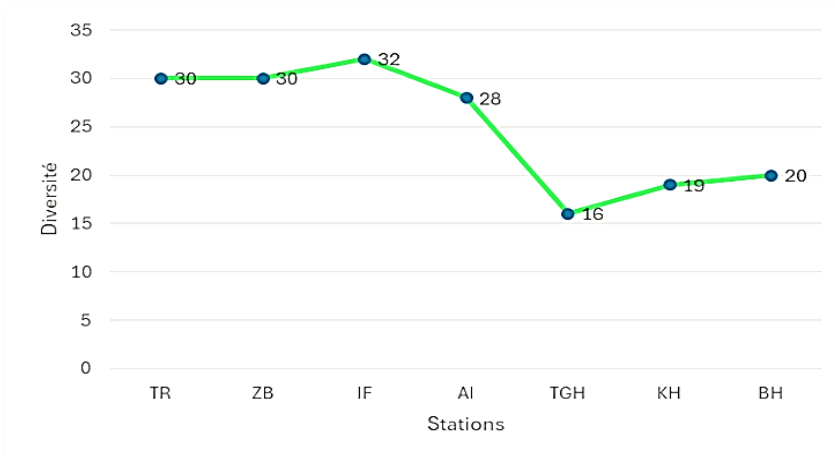


Figure 28 : La diversité taxonomique des stations étudiées.

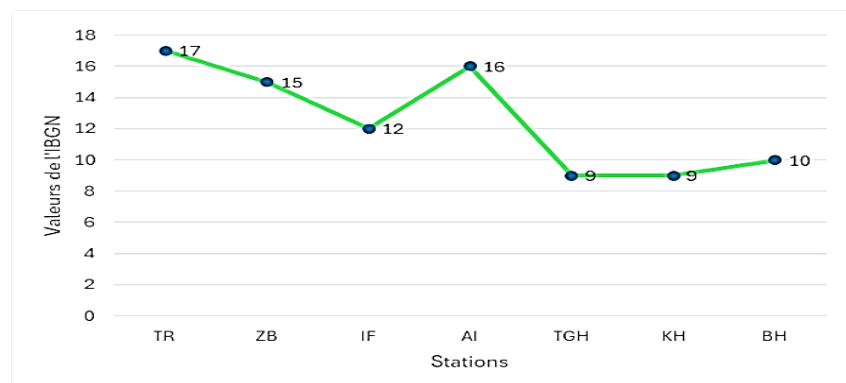


Figure 29 : Les valeurs de l'IBGN

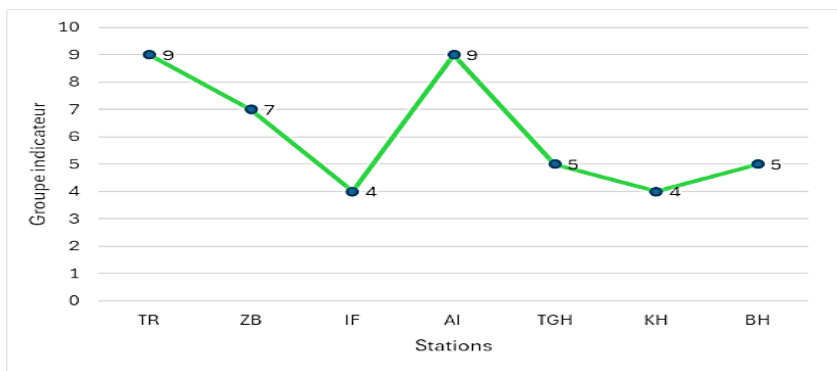


Figure 30 : Le groupe indicateur de l'IBGN

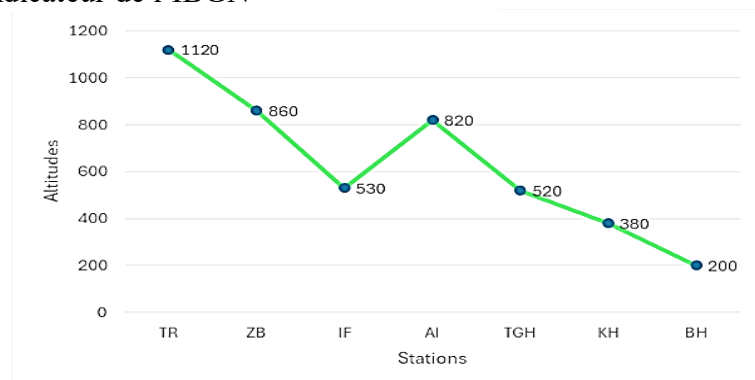


Figure 31 : Les altitudes des stations étudiées

7. Discussion générale

Notre étude a permis de recenser une grande diversité des macro invertébrés avec un total de 3274 individus repartis en 14 groupes zoologiques, 48 familles et 65 genres.

Ces résultats sont satisfaisants et relativement supérieurs à ceux obtenus par Mokrani & Mokraoui (2022). Ces dernières ont mené leur étude dans le réseau hydrographique de l'assif Sahel (appartenant au sous bassin versant de l'oued Boubhir) et dont les 7 stations sont échelonnées entre 1200m et 200m d'altitude avec 16172 individus, 14 groupes zoologiques, 47 familles et 54 genres.

L'évaluation biologique de la qualité de l'eau par la méthode de l'IBGN montre que les torrents de montagne (TR, ZB et AI) enregistrent des valeurs élevées de diversité taxonomique et de groupe indicateur ce qui reflètent une qualité de l'eau excellente à bonne avec la prédominance d'une faune benthique polluo-sensibles. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques mettent en évidence aussi la bonne qualité de l'eau en altitude. En effet, selon Younes-Baraillé (2004), la qualité biologique des torrents de montagne est généralement élevée en raison de leur isolement, de leurs basses températures et de leur forte oxygénation.

Les stations de moyenne montagne, piémont (TGH, KH et IF) et de basse altitude (BH) présentent une qualité hydrobiologique moyenne ce qui indique que la pollution dans ces stations est nette. Les taxons recensés dans ces stations sont peu exigeants et tolèrent la pollution (polluo-resistants), les dégradations et les changements des milieux. Parallèlement, l'eau présente des valeurs relativement élevées dans l'analyse paramètres de pollution (NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) avec une charge importante en E-coli, Coliformes totaux et streptocoques indiquant la présence dans l'eau des stations des contaminations fécales récentes.

Conclusion

Notre étude vise à établir une liste exhaustive que possible des macrinvertébrés benthiques présents dans quelques cours d'eau du sous bassin versant de l'oued Boubhir et à déterminer l'état de santé de l'hydrosystème par les voies biologiques, physico-chimique et bactériologique. Sept stations lotiques ont été prospectées entre 200 et 1120 m d'altitude le 8/06/2024 et les prélèvements benthiques ont été réalisés à l'aide du filet Surber (larves et nymphes).. L'eau est prélevée dans chaque station et a fait l'objet de différentes analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Les prélèvements effectués ont permis de recenser dans le benthos un total de 3274 individus répartis en 14 groupes zoologiques, 48 familles et 65 genres.

L'ordre des Diptères est le plus diversifié avec 13 familles recensés, Coléoptères (6 familles, 16 genres), Plécoptères (5 familles, 7 genres), Trichoptères (5 familles, 5 genres), les Ephéméroptères (4 familles, 9 genres), les vers (4familles, 4 genres), les Odonates et les Hétéroptères avec 3 familles et 3 genres chacun. Enfin, les Hydracariens, les Mollusques, les Sangsues, les Planipennes et les Hyménoptères sont monogénériques.

Du point de vue numérique, les Ephéméroptères sont dominants et sont suivis par les Diptères, les Trichoptères, les Coléoptères et les Plécoptères. Les autres groupes zoologiques à savoir les Odonates, les Sangsues, les Mollusques, les Planipennes, les Hydracariens et les Hyménoptères sont faiblement représentés.

L'abondance stationnelle varie entre un minimum de 260 individus pour la station BH et un maximum de 1171 individus pour la station IF.

La richesse taxonomique varie entre 16 taxons et 32 taxons. Les stations les plus alticoles (1120 et 860 m d'altitudes) présentent une richesse taxonomique moyenne de 30 taxons essentiellement rhéophile et sténotherme d'eau froide. Cependant, Les stations de moyenne montagne, de piémont et de basse altitude sont moins diversifiées avec une richesse taxonomique comprise entre 16 et 28 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.

Les résultats de l'évaluation biologique de de la qualité de l'eau (l'IBGN) sont satisfaisants et ils montrent une grande variabilité de la qualité de l'eau entre les stations étudiées allant de la bonne qualité à la moyenne.

Les analyses physico-chimiques indiquent une variabilité des paramètres mesurés :

- Les paramètres organoleptiques : la couleur enregistre des valeurs en dessous des normes pour toutes les stations mais on enregistre une coloration légère au niveau de certaines stations.
- Les paramètres physico-chimiques : selon les normes prises en considération, les résultats obtenus montrent une bonne et moyenne qualité de l'eau de toutes les stations.
- Les paramètres de pollution : toutes les stations enregistrent des mesures en dessous de la

norme mais qui montrent aussi des augmentations dans certains paramètres et juste dans quelques stations.

L'analyse bactériologique révèle des résultats différents pour chaque station, selon l'état de chaque station mais qui ne dépassent pas les limites.

Pour finir, La conservation des milieux aquatiques est primordiale car ils abritent une biodiversité riche, notamment des macro-invertébrés, bio-indicateurs clés pour évaluer la santé globale de ces écosystèmes.

Les ruisseaux de sources retirés de toutes civilisations humaines sont à protéger en priorité car ils abritent une faune aquatique particulière, très exigeante témoignant des bonnes conditions écologiques.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

(A)

ABDESSELAM M., 1995. Structure et fonctionnement d'un kart de montagne sous climat méditerranéen : exemple de Djurdjura occidental (Grande Kabylie, Algérie). Thèse de doctorat, en science de la terre, université de Franche Compté : 233p.

AFNOR, 2004-NF T90-350 Qualité de l'eau Détermination de l'indice global normalisé (IBGN), éd, Afnor. 40p

AGROPOLIS, 2007. Les dossiers d'Agropolis international, « Ecosystèmes aquatiques : ressources et valorisation », n°6, 68p.

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, 118 pp.

ANGELIER E., ANGELIER M.L ET LAUGA J., 1985. Recherches sur l'écologie des Hydracariens (Hydrachnella, Acari) dans les eaux courantes. Annales de Limnologie., 21(1) : 25-64 pp.

A.N.R.H. : agence nationale des ressources hydrauliques de Tizi-Ouzou

(B)

BEAUDRY T., MONIQUE T.H., (1984). Chimie des eaux, édition. Les griffons d'argiles, 1ère, édition, INC Canada.

BELHAOUARI B., CHORFA F. & MARZOUG M. 2017. Evaluation Of The Organic Pollution Impact On Fresh Water Diatoms In The Northen Algerien River « Allala ». Environmental And Water Sciences, Public Health And Territorial Intelligence Journal, 1 (2) : 08-13.

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.

BERG K., 1948. Biologiael studies on the river Susaa. Folia limnol. Scand., 4 : 1 – 318.

BERNE, F., JEAN, C., 1991. Traitement des eaux, Édition TECHNIP. 306 p.

BOUAZIZ L. et MAHMOUDIA K., 2021. Etude faunistique des macroinvertébrés benthiques et état de santé écologique de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s).

BOUDJEMA S., 2010. Etude perspective de l'état de l'environnement en Algérie : cas de bassin versant du Sébaou, wilaya de TiziOuzou : 144p.

BOUFELAH T. et REZOUG H., 2023. Contribution à l'étude des Coléoptères aquatiques de l'assif Hallil, de l'assif El Khemis et de l'oued Boubhir (s.s).

BOUHEZILA F. 2021. Contribution à l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique et microbiologique des lacs de Reghaia et d'El –Goléa : proposition de procédés de traitement. Thèse de doctorat en microbiologie de l'environnement. USTHB (Algérie) 135p.

BREMOND R, VUICHARD R., 1973. Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris.

(D)

DAGORNE A. et MAHROUR M., 1984 : Télédétection spatiale et multi-spectrale et cartographie de l'utilisation du sol en Kabylie (Algérie) : carte infographique d'Azazga. Travaux d'Analyse spatiale Raoul Blanchard, Université de Nice, pp 35-68.

DAJOZ R., 1985. Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquées. 5^{ème} édition Gauthier Villard. Paris : 505p.

DAJOZ R., (2006). Précis d'écologie. Dunod, Paris. Page 631.

DEBABZA, 2005. Mémoire de Magister en Microbiologie appliquée : Analyse microbiologique des eaux des plages de la ville d'Annaba Evaluation de la résistance aux antibiotiques des microorganismes pathogènes, Université des sciences de Badji-Mokhtar, Annaba (Algérie), 2005.

DETHIER M., 1985-1986. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Insectes. Héteroptères aquatiques et ripicoles (genres et principales espèces). Association française de limnologie : 40p.

DE VILLERS J, SQUILBIN M, YOURASSOWSKY C., 2005. Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

DUPONT, 1981.et HAOUSSA, N., 2013. Etude de la qualité des eaux des mélanges Eau d'oued Biskra – Eau de Droh. Mémoire de Master 2. Hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider – Biskra : Faculté des Sciences et de la technologie, 24 p

(E)

EMBERGER L, 1955. Une classification biogéographique des climats recueil. Trav.Labo. Geol. Zool. Fac. Sci. Montpellier. 48p

ESTIENNE P, et GODARD A, 1970. « Climatologie » collection 3eme édition. 80

(F)

FAESSEL B., 1985. <Les Trichoptères> Données biologiques, éthologiques et écologiques Clés de détermination larvaire des familles et des principaux genres de France. Bull. Fr. Pêche Piscic. (1985) 299 : 1-41 pp.

FAURIE C., FERRA C., MEDORI P., DEVAUX J. &HEMPTINNEJ.L., 2003. Ecologie approche scientifique et pratique 5e Edition TEC et DOC, 407 p.

FLANDRIN J. 1952. La chaîne du Djurdjura : monographie régionale. XIX (ème) congrès géologique international, 1ère série 19 :1-49.

FOSSATI O., WASSON J.G., HERY C., MARIN R. et SALINAS G., 2001. Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). Archiv für Hydrobiologie, 151(1): 33-50.

(G)

GAID A. 1984. Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I, édition OPU, Alger, 261p.

GAID, 1988 : « Traitement des eaux potables : travaux dirigés et travaux pratiques », U.S.T.H.B

GAUJOUS D., 1995. La pollution des milieux aquatiques –Aide-mémoire- Technique Et documentation : 220p

GELARD J.P. 1979. Géologie du nord-est de la Grande-Kabylie : un segment des zones internes de l'orogène littoral maghrébin. Mémoires géologiques de l'université de Dijon, 5:1326p

GENIN B., CHAUVIN C. & MENARD F., 2003. Cours d'eau et indices biologiques. Pollution méthodes-IBGN. 2ème édition educagri. 215p.

GRETIA, 2009. État des lieux des connaissances sur les invertébrés continentaux des Pays de la Loire — Bilan final. Rapport GRECIA pour le Conseil régional des Pays de la Loire. 395 p. (GRoupe d'ÉTude des Invertébrés Armoricaïns).

(H)

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

HAMI Y., et HADDADI Y., 2021. Contribution a l'étude des coléoptères de l'assif Sahel de l'oued Boubhir (s.s)

HAMMOUDI S., ET NEGGAD L., 2020, Faunistique et écologie des Trichoptères des cours d'eau d'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s)

HYNES H.B.N., 1970. The ecologie of running waters. Liverpool University Press, Liverpool. 555p.

(K)

KARR J R., et ANGERMEIER P L., 1986. Applying an Index of Biotic Integrity Based on Stream-Fish Communities: Considerations in Sampling and Interpretation.

KECHEMIR L.H., SARTORI M ET LOUNACI, A., 2021. An unexpected new species of Habrophlebia from Algeria (Ephemeroptera, Leptophlebiidae).

(L)

LAMINE S., 2021. Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Hydraenidae et Elmidae des cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura.

LAVANDIER P., 1979. Ecologie d'un torrent Pyrénéen de haute montagne : l'Estaragne. Thèse de doctorat d'Etat. Univer. Paul Sabatier Toulouse : 523p.

LE BRAS G.J. 2007. Ecotoxicologie et methods d'investigation. Éd. Enseignement MI-ISA & Université catholique le lille, 87p.

LEDLER, 1986. In HAOUSSA, N., 2013. Etude de la qualité des eaux des mélanges Eau d'oued Biskra - Eau de Droh. Mémoire de Master 2. Hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider Biskra : Faculté des Sciences et de la technologie, 26p

LEFEVRE, 1993 : « Les zones humides : espace en voie de disparition. In Actes du colloques sur les zones humides du littoral aquitain », Le Teich , septembre 1985, DRAE d'aquitaine.

LEGENDRE, P., PLAN, D., AUCLA, M.J., 1984. Succession des communautés de gastropodes dans deux milieux différant par leur degré d'eutrophisation. *Journal of Zoology*, 62(11), 2317–2327.

LEVEQUE C., 1996. Ecosystèmes aquatiques, Edition Hachette, Paris, 159p.

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., 133p.

LOUNACI-DAOUDI D., 1996. Travaux sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des insectes aquatiques du réseau hydrographique du Sébaou. Thèse Magister, Univ. Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou : 152p.

LOUNACI A., B. BROSSE S. THOMAS A. & LEK S., 2000(a). Abundance, diversity and community structure of macroinvertebrates in an algerian stream: the Sebaou wadi. *Annls Limnol.*, 36 (2): 123-133 pp.

LOUNACI A., 2005. Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse doctorat, U.M.M.T.O: 209p

(M)

MARGALEF R., 1951. Diversidad de especies en las comunidades naturales. *Publ. Inst. Biol. Apl., Barcelona*, 9 : 5 – 27.

MERABET S., 2010. Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université mentouri de Constantine. P 4, 5,9

MEBARKI M. 2001. Etude hydrobiologique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie (Parc National du Djurdjura, oued Sébaou et oued Boghni) : faunistique, écologie et biogéographie des macroinvertébrés benthiques. Thèse de Magister. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou, 178 pp.

MOISAN J., GAGNON E., PELLETIER I., et PIEDBOEUF N., 2006. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Direction de suivi de l'état de l'environnement, ministère de développement durable, de l'environnement et des parcs, ISBN, 82p.

MOKEDDEM K. et OUDDANE, S., 2005. Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem), Mémoire d'ingénieur institut de biologie – Mascara, pp 18-22.

MOKRANI W et MOKRAOUI T., 2022. Faunistique et évaluation de la qualité de l'eau de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s).

(N)

NEWBOLD, C. J., WALLACE, R. J., CHEN, X. B., & MCINTOSH, F. M. (1995). Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *Journal of animal science*, 73(6), 1811-1818

(P)

PHILIPPO P., POMMERY J., THOMAS P., (1981). Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportements des espèces métalliques au contact des matières humiques. *Journal français*

Références bibliographiques

d'hydrologie.

POTELON J-L., ZYMAN K., 1998. Le guide des analyses d'eau potable, la lettre du cadre territorial.

(R)

RAMADE F., 1984. Elément d'écologie : Ecologie fondamentale. Edit Mac GRAWHILL. Paris. 197p.

RAMADE F., 1998. Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed inscience internationale, Paris, 786p.

RAMADE F., 2003. Elément d'écologie. Ecologie fondamentale 3ème Edition, Dunod, Paris, 690 p.

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 : 154p.

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., 1984. L'analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires et Eaux de mer, 7 ème édition. Ed. Dulod, Paris.

RODIER J., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème Edition. Dunod. 1383 p.

RODIER, J., 2005. L'analyse de l'eau Eaux naturelles - eaux résiduelles - eaux de mer 9e Edition Dunod Paris.

(S)

SANOGO S. & KABRE T.J.A; 2014. Dynamique de structuration spatio-temporelle de populations de familles d'invertébrés dans un continuum lac de barrage-effluent-fleuve issu de périmètre irriguer. Bassin de la Volta (Burkina Faso). Journal of applied bioSciences, 78, 6630- 6645.

SEKHI S., 2010. Recherches sur la faunistique et l'écologie des macroinvertébrés ces cours d'eau Tiout, Hadjadj et Moghrar (Wilaya de Naâma). Mémoire de Magister, USTHB, 117p

SEKHI S., 2022. Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Trichoptère des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie).

SELTZER P., 1946. Le climat de l'algérien, carte H.T institut. Terre et Phys du glob. Univ. Alger. 219P.

(T)

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

TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M. et USSEGLIO-POLATERA P.2010. Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS EDITIONS, Paris, 606p.

THIEBAULT J., 1952. lSocle métamorphique en Grande-Kabylie : monographie régionale.

THIERNEY D., KELLY-QUINN M. & BRACKEN J.J. 1998. The faunal communities of upland streams in the eastern region of Ireland with reference to afforestation impacts. *Hydrobiologia*, 389 : 115-130.

THOMAS A.G.B., 1981. Travaux sur la taxonomie, la biologie et l'écologie des insectes torrenticoles du Sud-Ouest de la France (Ephéméroptères et Diptère : Dixidae, Cecidomiidae, Rhagionidae et Thericidae), avec quelques exemples de perturbations par l'homme. Thèse Doctorat, Univ. Paul Sabatier, Toulouse : 330p.

TOUBAL-BOUMAZA, O., 1986. « Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Édough (Algérie nord-orientale). Cartographie à 1 / 25 000. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Grenoble, Université des sciences et technologie méditerranéenne.

(V)

VAROL M., BEKLEYEN A., 2012. Water Quality Assessment and Apportionment of Pollution Sources of Tigris River (Turkey) Using Multivariate Statistical Techniques – a Case Study.

VERNEAUX (J.) et TUFFERY (G.), 1967. — Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. *Ann. Scient. Univ. Besançon, Zool* (3): 73-90.

VERNEAUX J., FAESSEL B. & MALESIEU M., 1976. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes. *Trav. Lab. Hydrobiol., Univ. Besançon et CTGREF*, ronéo : 40p.

VERNEAUX J. & COLL B., 1982. Une nouvelle méthode pratique d'évaluation de la qualité des eaux courantes. Un indice biologique de qualité générale (IBG). *Ann. Sci. Univ. Franche-Comté, Besançon*, 4 (3) : 11-22.

(Y)

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 Grande Kabylie : le bassin versant du Sébaou et la willaya de Tizi Ouzou. Univ. Tizi Ouzou : 210 p.

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

YOUNES-BARAILLE Y. 2004. Réponse des communautés benthique est piscicoles des cours d'eau d'Andorr aux perturbations d'origine anthropique. Rôle des micro-habitats et recherche d'outils de bio-indication en milieu montagnard. Thèse de doctorat en écologie. Université Toulouse III. Paul Sébastien (France). 240p.

Annexes

Annexe 1 : Précipitations annuelles 2000-2013 dans les localités proches de la station d'étude (source A.N.R.H. de Tizi-Ouzou).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Moy
Ait Ouabane	1100	978.2	1477.4	1294.7	1124.6	1393.6	1265.6	1110.3	1358.5	1435.2	1831.7	1127.7	1120.8	1364.8	1271.7
Ait Aicha	927.7	716	1498.3	1104.6	1230.8	948.7	1093.7	1120	1511	1236.6	1109.4	1112.3	938.2	1150.1	1121.2
Boubhir	808.9	628.9	1359.9	1089.1	879.8	1050.8	1128.3	884.4	1196.7	867.8	813.4	986.7	846.6	1162.5	978.8
Tizi Ouzou	606	461.8	1217.5	832.6	696.3	732.6	739.1	931.6	1010.8	963.8	1016.6	968.6	870	1063.9	868.9

Annexe 2 : Tableaux des températures en °C enregistrées à Tizi Ouzou de (2012-2020). Source : O.N.M de Tizi Ouzou.

Mois (Année 2012)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	9,9	6,5	13,3	15,3	19,9	26,4	27,8	30,3	24,4	20,8	16,3	11,9	222,8	18,6
T°Moy/mensu	Min	5,6	2,7	9,0	11,0	14,0	20,0	21,6	23,4	18,7	15,8	12,5	8,2	162,5	13,5
T°Moy/mensu	Max	16,3	11,9	19,7	21,1	27,0	34,2	35,7	30,1	32,3	28,1	21,8	17,4	295,6	24,6

Mois (Année 2013)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	10,8	9,4	14,3	15,8	17,5	22,0	26,7	26,9	24,1	23,1	13,6	11,2	215,4	18,0
T°Moy/mensu	Min	6,9	5,2	10,4	11,3	12,8	15,5	20,3	20,3	19,1	18,1	17,9	7,4	165,2	13,8
T°Moy/mensu	Max	15,7	14,6	19,4	21,8	23,0	28,9	34,5	35,1	31,1	30,6	10,7	16,9	282,3	23,5

Mois (Année 2014)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	12,3	12,8	12,3	17,5	19,2	23,7	27,0	28,0	26,2	21,6	17,3	10,9	228,8	19,1
T°Moy/mensu	Min	8,6	8,6	8,2	11,3	13,2	17,4	20,0	21,5	21,0	16,0	13,5	7,7	167,0	13,9
T°Moy/mensu	Max	17,6	18,8	17,5	24,3	26,5	30,7	34,7	35,9	33,7	29,0	22,7	15,4	306,8	25,6

Annexes

Mois (Année 2015)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	9,9	9,8	13,1	17,3	21,4	24,7	29,7	28,8	24,4	20,2	14,9	12,2	226,4	18,9
T°Moy/mensu	Min	6,0	6,5	8,4	11,7	15,2	17,9	22,2	23,2	19,7	16,0	10,8	7,2	164,8	13,7
T°Moy/mensu	Max	15,6	13,9	19,3	24,4	28,7	32,0	38,4	35,8	30,5	26,2	21,0	19,3	305,1	25,4

Mois (Année 2016)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	12,8	12,6	12,5	16,1	19,0	24,3	27,9	27,1	24,3	22,5	15,7	12,6	227,4	19,0
T°Moy/mensu	Min	8,6	8,5	7,8	11,2	13,6	17,1	20,7	20,4	18,0	16,9	11,4	9,3	163,5	13,6
T°Moy/mensu	Max	18,4	18,0	17,6	22,1	25,0	32,0	35,7	34,6	31,7	29,6	21,3	17,6	303,6	25,3

Mois (Année 2017)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	8,9	12,7	14,5	16,4	21,8	26,4	29,4	29,7	23,9	19,5	13,7	10,4	227,3	18,9
T°Moy/mensu	Min	5,2	8,6	8,8	10,5	15,2	19,8	22,3	25,1	18,1	13,5	9,8	7,5	164,4	13,7
T°Moy/mensu	Max	13,7	18,2	21,2	23	29,6	34,6	37,5	37,4	30,0	26,7	19,4	14,3	305,6	25,5

Mois (Année 2018)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	11,2	9,9	13,6	16,5	17,8	22,8	27,8	27,4	25,3	19,1	14,9	11,9	218,2	18,2
T°Moy/mensu	Min	7,1	6,4	10,2	11,8	13,5	16,8	21,5	20,8	20,3	15,3	11,4	7,7	162,8	13,6
T°Moy/mensu	Max	17,0	14,6	17,9	22,5	27,7	29,7	35,5	35,1	32,0	24,9	20,2	17,3	294,4	24,5

Mois (Année 2019)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	9,2	10,7	13,5	15,3	18,8	25,1	29,1	28,5	24,6	20,5	14,3	13,4	223,0	18,6
T°Moy/mensu	Min	5,8	6,2	8,6	11,8	13,5	16,8	21,5	23,0	19,5	15,7	11,3	9,7	163,4	13,6
T°Moy/mensu	Max	14,0	16,9	19,8	22,5	27,7	32,4	35,5	35,5	31,5	27,4	18,5	18,4	583,6	48,6

Annexes

Mois (Année 2020)		JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	°C	10,8	13,2	14,3	16,6	31,4	24,4	28,8	28,8	23,6	18,5	16,7	12,2	239,3	19,9
T°Moy/mensu	Min	6,8	7,9	10,4	12,5	15,1	17,7	21,7	22,6	18,4	13,2	12,7	9,0	168,0	14,0
T°Moy/mensu	Max	16,2	20,6	19,8	22	28,7	31,7	37,3	36,5	30,5	26,3	22,7	165,0	457,3	38,1

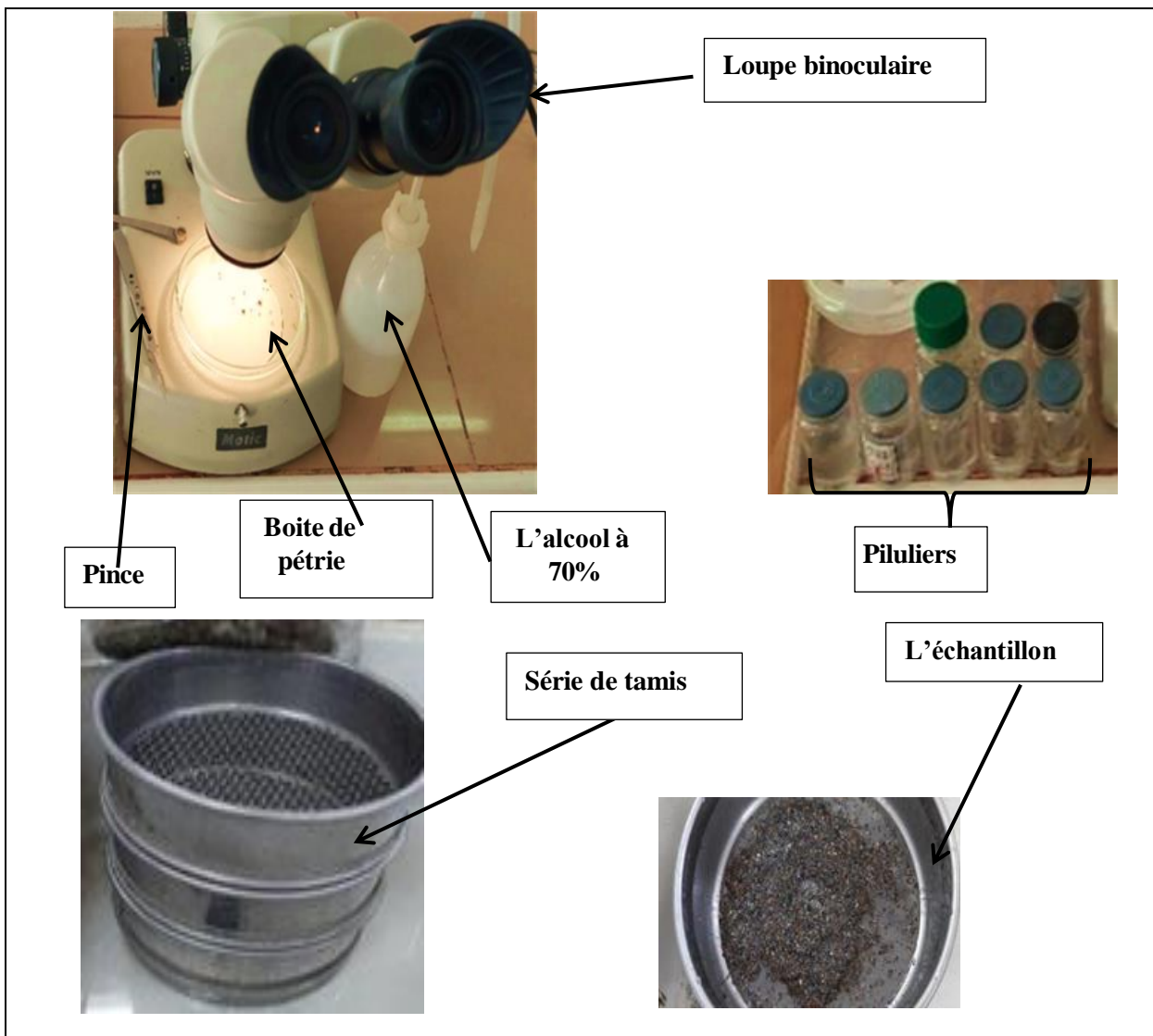
Annexe 3 : Températures moyennes mensuelles de l'air (°C) (maximales et minimales) à Tizi Ouzou pour la période 2012-2020 (source : O.N.M de Tizi Ouzou).

Mois T(°C)	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Temp moyenne mens	10,64	10,84	13,48	16,31	20,75	24,42	28,24	28,38	24,53	20,64	15,26	11,85
Temp moyenne min	6,73	6,73	9,08	11,45	14,01	17,66	21,31	22,25	19,2	15,61	12,36	8,2
Temp moyenne max	16,05	16,38	19,13	22,63	27,1	31,8	36,08	35,11	31,47	27,64	19,81	17,01

Annexe 4 : Echantillonnage de l'eau pour l'analyse faunistique.



Annexe 5 : Etapes de lavage et matériels de la détermination faunistique.



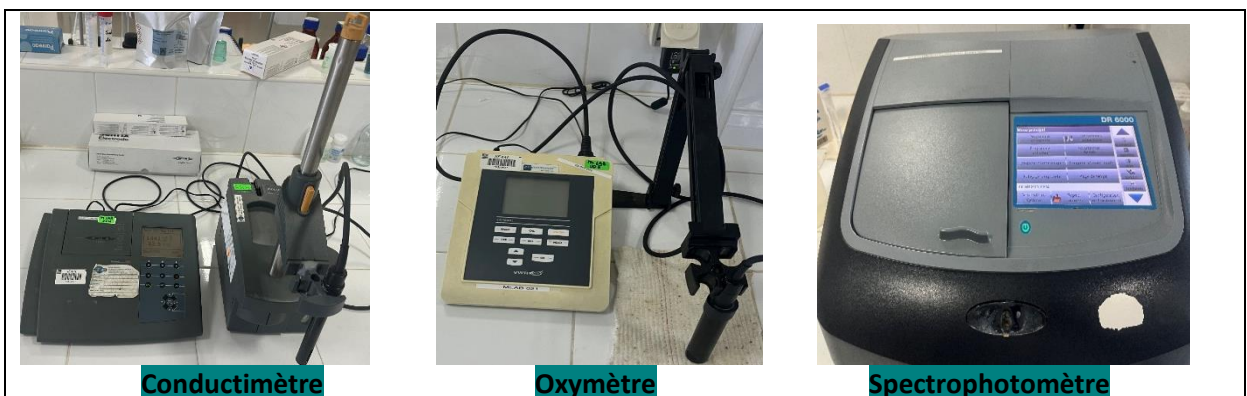
Annexe 6 : Echantillonnage d'eau pour l'analyse physicochimique.



Annexe 7 : Echantillonnage d'eau pour l'analyse bactériologique.



Annexe 8 : Matériels du laboratoire pour les analyses physicochimiques et bactériologiques.





Annexe 9 : Méthodes d'analyses des paramètres Physico-chimiques

1. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

Conformément à la norme internationale ISO 10523, la détermination du pH s'effectue selon les étapes suivantes:

- Étalonnage du pH-mètre à l'aide d'une solution tampon ;
- Rinçage de l'électrode avec de l'eau distillée ;
- Prélèvement de l'échantillon, prendre environ 100 ml de l'échantillon à analyser dans un bécher propre ;
- Mise en place de l'agitateur, le régler à basse vitesse ;
- Prolonger délicatement l'électrode dans la solution de l'échantillon ;
- Agiter doucement la solution pendant une courte période, la laisser se stabiliser puis enregistrer la valeur affichée sur le pH-mètre.

2. Mesure de la turbidité

La détermination de la turbidité s'effectue en suivant les étapes suivantes :

- Homogénéiser doucement l'échantillon avant de procéder à la mesure ;
- Rincer soigneusement la cellule de mesure avec l'échantillon à analyser ;
- Remplir la cellule avec 25 ml de l'échantillon en veillant à éliminer les bulles d'air et essuyer délicatement l'extérieur de la cellule avec un mouchoir propre ;
- Insérer la cellule remplie dans l'adaptateur de mesure du turbidimètre ;
- Lancer la mesure en appuyant sur (Entrer), le résultat exprimé en unités néphéométriques de turbidité (NTU).

3. Mesure de la conductivité

Conformément à la norme internationale ISO 7888, la détermination de la conductivité s'effectue en suivant ces étapes simples :

- Remplir un bécher propre avec l'échantillon à analyser ;
- Plonger délicatement l'électrode dans l'échantillon ;
- Appuyer sur la touche (Enter) ;
- La valeur de la conductivité s'affiche en unités de microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en millisiemens par centimètre (mS/cm).

4. Mesure de l'oxygène dissous

- La détermination de l'oxygène dissous (OD) s'effectue en suivant ces étapes :
- Remplir un bécher propre avec l'échantillon à analyser, s'assurer que l'échantillon est homogène et exempt de bulles d'air ;
- Plonger délicatement l'électrode d'oxygène dissous dans l'échantillon, il faut que l'électrode soit complètement submergée mais sans toucher le fond du bécher ;
- Agiter doucement l'échantillon pendant quelques secondes pour éliminer les bulles d'air ;
- Activer l'oxymètre, le résultat s'affiche lorsque la valeur est stabilisée ;
- Le résultat de la mesure est généralement exprimé en concentration (mg/L) ou en taux de saturation, pourcentage (%).

5. Mesure de la couleur

La mesure de la couleur de l'eau se fait en suivant ces étapes :

- Rincer soigneusement la cellule avec de l'eau distillée pour éliminer toute trace de résidus de mesures précédentes ;
- Remplir la cellule avec de l'eau distillée jusqu'à la ligne indiquée ;
- Essuyer la surface extérieure de la cellule avec un chiffon ;

- Accéder au menu des programmes et choisir le programme enregistré correspondant ;
- Insérer la cellule dans le compartiment échantillon du spectrophotomètre et lancer la procédure de réglage du zéro ;
- Remplir la cellule avec l'échantillon jusqu'à la ligne indiquée ;
- Lancer la mesure de la couleur ;
- Enregistrer la valeur de couleur affichée sur le spectrophotomètre pour chaque échantillon.

6. Détermination de l'ammonium NH₄⁺

Selon la norme ISO 7150, le mode opératoire est comme suit :

- Prendre 40 ml de chaque échantillon à analyser dans des fioles de 50 ml ;
- Prendre 40 ml de l'eau distillée dans une fiole de 50 ml pour la préparation du blanc ;
- Ajouter 4 ml du premier réactif coloré [NH₄⁺] ;
- Ajouter 4 ml du deuxième réactif (Dichloro-isocyanurate de sodium) ;
- Ajuster au trait de jauge (50 ml) avec de l'eau distillée ;
- Fermer la fiole et laisser 1 heure ;
- L'apparition de la coloration verdâtre foncée indique la présence de [NH₄⁺] ;
- Mesurer avec un spectrophotomètre en remplissant des cuves de 10 ml d'abord avec le réactif témoin (le blanc) pour mettre le zéro ensuite faire passer chaque échantillon ;
- Les résultats sont indiqués en mg/l.

7. Détermination des nitrites NO₂

Selon la norme ISO 6777, la détermination des nitrites se fait comme suit :

- Prendre 40 ml de chaque échantillon à analyser dans des fioles de 50 ml ;
- Ajouter 1 ml du réactif coloré ;
- Ajuster au trait de jauge avec de l'eau distillée ;
- Homogénéiser et laisser la solution 20 minutes ;
- Mesurer avec un spectrophotomètre en remplissant des cuves de 10 mm de chaque échantillon.
- Les résultats sont indiqués en mg/l.

8. Détermination des nitrates NO₃

Selon la norme ISO 7890, la détermination des nitrates se fait selon le mode opératoire suivant :

- Prendre 1 ml de chaque échantillon à analyser dans des codes-barres ;
- Ajouter 0.02 du réactif A ;
- Laisser 15 minutes ;
- Mesurer avec un spectrophotomètre.
- Les résultats sont indiqués en mg/.

9. Détermination des ortho-phosphates PO₄³⁻

Selon la norme ISO 6878, la détermination des ortho-phosphates se fait comme suit :

- Prendre 40 ml de chaque échantillon dans des fioles de 50 ml ; et
- Prendre de l'eau distillée dans une fiole de 50 ml pour le blanc ;
- Ajouter 1 ml du réactif Acide ascorbique ;

- Ajouter 2 ml d'Heptamolybdate NH₄ + ;
- Ajuster au trait de jauge avec de l'eau distillée ;
- Laisser 30 minutes ;
- L'apparition de la couleur bleue indique la présence des PO₄³⁻.
- Mesurer avec un spectrophotomètre.

10. Détermination de la matière en suspension

La détermination de la matière en suspension s'effectue comme suit :

- Placer les filtres de taille 0.45 µm sur les rampes de filtration ;
- Laver les filtres avec l'eau distillée pour vérifier les pertes de charge ;
- Mettre les filtres dans l'étuve à 105°C pendant 1 heure ;
- Les placer dans le dessiccateur pour refroidir pendant 15 à 20 minutes puis les peser avec une balance analytique (M₀) ;
- Faire passer un volume V (100 ml) de l'échantillon à analyser à travers les filtres précédents pour retenir toutes les particules ;
- Remettre à l'étuve à 105°C pendant 4 heures ;
- Laisser refroidir au dessiccateur pendant 15 à 20 minutes puis les peser (M₁).

MES : concentration de la matière en suspension.

$$\mathbf{MES = P2 - P1 / V}$$

P2 : poids du filtre avant filtration.

P1 : poids du filtre après filtration.

V : le volume filtré.

11. Détermination des résidus secs

La détermination des résidus secs s'effectue comme suit :

- Laver la capsule en verre, la rincer à l'eau distillée et sécher, la tarer à l'aide d'une balance analytique ;
- Prélever 50ml de l'eau à analyser, déverser dans la capsule ;
- Porter la capsule dans une étuve à 105°C pendant 4 heures ;
- Laisser refroidir pendant 15 minutes au dessiccateur ;
- Peser sur la balance analytique une autre fois.

Expression des résultats :

$$\mathbf{RS (mg/l) = M0 - M1 / V \times 106}$$

Avec :

M0 : masse de la capsule vide (mg/l).

M1 : la masse de la capsule avec résidus secs (mg/l).

V : le volume de l'échantillon versé (ml).

12. Dosage de la matière organique

Le test consiste à mesurer en milieu acide la quantité d'oxygène utilisé pour la réduction du Permanganate de potassium par les matières oxydables contenues dans une eau, le mode opératoire est le suivant :

- Prendre 100 ml de l'échantillon ;

- Acidifier l'échantillon en ajoutant 20 ml de l'acide sulfurique pour avoir une meilleure réaction de Permanganate de potassium et laisser chauffer sur une plaque chauffante jusqu'à l'ébullition ;
- Ajouter 20 ml de KMNO₄ et maintenir à l'ébullition pendant 10 minutes, le permanganate de potassium sera consommé par l'échantillon ;
- Après 10 minutes de l'ébullition, ajouter 20 ml d'oxalate de sodium pour décolorer la solution ;
- Titrer la solution avec la solution de Permanganate de potassium commençant par le blanc jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle puis noter le volume de la solution de Permanganate consommé.

L'indice de Permanganate (IP) exprimé en milligramme d'oxygène par litre d'échantillon, selon la norme ISO 9001 il peut alors se calculer comme suit :

$$IP \text{ (mg/l)} = [(V_{\text{Echantillon}} - V_{\text{BL}}) / V_{\text{Retour}}] \times M_{O_2}$$

V Echantillon = volume en ml de la solution de potassium utilisé pour le titrage de l'échantillon.

VBL = volume en ml de la solution de potassium utilisée pour l'essai à blanc.

VRetour = volume en ml de la solution de potassium titrée utilisée pour le dosage de retour.

M O₂ = masse molaire de l'oxygène.

Annexe 10 : Méthodes d'analyses bactériologiques

Avant de manipuler des cultures bactériennes, il est crucial de stériliser l'environnement de travail et les outils pour prévenir la contamination.

- Commencer par allumer le bec Bunsen et l'hôte ;
- Stériliser les mains, la pince et la rampe de filtration ;
- Codifier les boîtes de Pétri contenant le milieu de culture (gélose) pour identifier les échantillons.

1. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux (E. coli)

- Placer les filtres (membrane de nitrocellulose de 0,45 µm de porosité) en dessous de l'entonnoir ;
- Verser 100ml de l'échantillon après agitation dans la rampe de filtration ;
- Allumer la pompe à vider puis ouvrir le robinet de la rampe pour laisser passer tout l'échantillon à travers les filtres ;
- Prendre les filtres à l'aide d'une pince stérile et les placer dans les boîtes de Pétri ;
- Placer les boîtes dans l'étuve d'incubation à 37°C pendant 24 heures.

- La lecture :

- Les colonies bleues sont des signes de la présence des E. Coli.
- Les colonies rouges sont des signes de la présence des coliformes totaux.

2. Dénombrement des streptocoques fécaux

- Le mode opératoire est identique à celui des coliformes ;
- La gélose utilisée est appelée Slanetz et Bartley ;
- Les boîtes sont incubées dans l'étuve à 37°C pendant 48 heures ;
- La lecture se fait après 48 heures, en considérant toutes colonies noires comme résultat de présence des streptocoques.

Annexe 11 : Grille de classification des eaux superficielles utilisées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)

	Bonne	Moyenne	Polluée	Excessivement polluée
O2 (mg/l)	>7	5 à 7	3 à 7	<3
Conductivité (µS/cm)	<400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000
Ph	6,5 à 8,5	6 à 8,5	6 à 9	5,5 à 9,5
NH4+ (mg/l)	≤ 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3
NO3- (mg/l)	≤ 10	10 à 20	20 à 40	>40
NO2- (mg/l)	≤ 0,01	0,01 à 0,1 0	1 à 3	>3
PO4-3(mg/l)	≤ 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3
MES (mg/l)	0 à 30	30 à 75	75 à 100	>100
Escherichia coli	0 à 20	20 à 2000	2000 à 20000	>20000
Streptocoques	0 à 20	20 à 2000	2000 à 20000	>20000
Coliforme Totaux	0 à 50	50 à 500	500 à 5000	>5000

Résumé

Sept stations lotiques regroupant une grande variété d'eau courante de Kabylie ont été prospectées, allant des ruisseaux de source jusqu'en plaine (200m à 1200m).+++++

Un total de 3274 individus appartenant à 14 groupes zoologiques, 48 familles et 56 genres est récolté dans le benthos.

L'ordre des Diptères est le plus diversifié avec 13 familles recensés. Du point de vue numérique, les Ephéméroptères sont dominants.

L'abondance stationnelle varie entre un minimum de 260 individus pour la station BH et un maximum de 1171 individus pour la station IF. La richesse taxonomique varie entre 16 taxons et 32 taxons.

L'évaluation biologique de la qualité de l'eau par la méthode de l'IBGN montre que les torrents de montagne (TR, ZB et AI) enregistrent des valeurs élevées de diversité taxonomique et de groupe indicateur ce qui reflètent une qualité de l'eau allant d'excellente à bonne avec la prédominance d'une faune benthique polluo-sensible. En effet, les analyses physico-chimiques et bactériologique confirment aussi la bonne qualité de l'eau en altitude.

Les stations de moyenne montagne, piémont (TGH, KH et IF) et de basse altitude (BH) présentent une qualité hydrobiologique moyenne ce qui indique que la pollution dans ces stations est nette. Les taxons recensés dans ces stations sont peu exigeants et tolèrent la pollution (polluo-résistants), les dégradations et les changements des milieux. Parallèlement, l'eau présente des valeurs relativement élevées des paramètres de pollution (NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻³) avec une charge importante en E-coli et Coliformes totaux indiquant la présence des contaminations fécales récentes.

Abstract

Seven lotic stations encompassing a wide variety of flowing waters in Kabylie were surveyed, ranging from spring streams to the plain (200m to 1200m). A total of 3274 individuals belonging to 14 zoological groups, 48 families and 56 genera were collected from the benthos. The order Diptera is the most diverse with 13 families recorded. In terms of numbers, Ephemeroptera are dominant. Seasonal abundance varied between a minimum of 260 individuals for station BH and a maximum of 1171 individuals for station IF. Taxonomic richness varied between 16 and 32 taxa.

The biological assessment of water quality using the IBGN method shows that mountain torrents (TR, ZB, and AI) exhibit high values of taxonomic diversity and indicator groups, reflecting excellent to good water quality with a predominance of pollution-sensitive benthic fauna. Indeed, physico-chemical and bacteriological analyses also highlight the good water quality at higher altitudes.

The mid-mountain, piedmont (TGH, KH, and IF), and low-altitude (BH) stations exhibit moderate hydrobiological quality, indicating a clear presence of pollution. The taxa identified in these stations are less demanding and tolerate pollution (pollution-tolerant), degradation, and environmental changes. In parallel, the water shows relatively high levels of pollution parameters (NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻³) with a significant load of E. coli and total coliforms, indicating the presence of recent fecal contamination in the station waters.