



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE 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 Biologie



Mémoire de fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

Master en Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Ecologie Animale

Thème

*Faunistique et évaluation de la qualité de l'eau
de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) par
les voies : Biologique (IBGN),
Physico-chimique et Bactériologique.*

Réalisé par :

M^{lle} MOKRANI Wessame & MOKRAOUI Tinhinane

Soutenu devant le jury composé de :

Présidente	M ^{me} MALLIL K.	MAA	UMMTO
Promotrice	M ^{me} SEKHI S.	MCB	UMMTO
Co-promoteur	M. HADDADI N.	Ingénieur de laboratoire (SEAAL)	Taksebt
Examinatrice	M ^{me} HAOUCHINE S.	MAA	UMMTO

2021/2022

Remerciements

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

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

Un grand merci à tout le personnel du laboratoire de contrôle de qualité de l'eau Taksebt (SEAAL) pour leur accueil et leur aide et exceptionnellement notre co-promoteur M^r HADDADI technicien du laboratoire pour tout ce qu'il nous a appris durant notre stage.

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

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

M^{me} MALLIL, maitre-assistant A à l'Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou d'avoir accepté de présider le jury

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

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

Nous tenant à remercier vivement M^r REBAH de nous avoir accompagnés sur le terrain et surtout pour avoir mis à notre disposition son véhicule.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ceux qui ont tant attendu le fruit de leur bonne éducation, ceux qui ont changé la nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions, ceux qui m'ont comblé d'amour et à qui je ne rendrai jamais assez : Maman & Papa, j'espère vous rendre fières ;

Mes très chers frères, mes piliers : Lounes, Ahmed et Younes qui ont toujours été là pour me soutenir, m'encourager et qui n'ont épargné aucun effort pour me satisfaire ;

Mes merveilleuses sœurs : Celina, Djedjiga, Karima et Nacera, pour leur appui et leur soutien, qui ont toujours su me remettre le sourire, me pousser vers l'avant et sur qui je pourrais toujours compter ;

Mon fiancé qui n'a jamais cessé de m'épauler, de m'aider à traverser les moments difficiles et surtout à me tirer vers le haut, qui a toujours su faire sortir le meilleur de moi-même et qui m'a tellement encouragé à en arriver là ;

Ma belle-famille, pour sa bonté et bienveillance, son amour et ses encouragements ;

Mes nièces et mes neveux ; je vous aime tous mes bébés d'amour et surtout Nounour qui m'a tellement aidé à réaliser ce travail ;

La mémoire de mes grands-mères, que le paradis soit leur demeure éternelle ;

Mon grand-père, l'homme le plus gentil que je n'ai jamais connu, que dieu le garde pour nous ;

Mes tantes adorées, tous mes cousins et cousines, qui ont toujours été là pour moi à m'encourager ;

Tous mes amis qui m'ont aidé de loin ou de près ;

Et bien sûr à la meilleure des partenaires, ma binôme : Tinhinane

Wessame.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon père qui a inculqué en moi les principes, les valeurs et qui m'a toujours appris à viser loin. Ton amour, ton éducation et ta confiance ont fait de moi celle que je suis aujourd'hui, j'espère que tu sois fière de moi là où tu es.

L'être le plus cher au monde, la plus courageuse des femmes, qui a fait tant de sacrifices pour que j'arrive au bout de mes rêves : Maman, merci pour ton amour, pour tout ce que tu as fait pour moi, pour la force et le courage que tu me donne chaque jour.

Mes très chers frères : Mouhammed et Mokhtar, qui m'encourage sans cesse et qui me soutiennent dans toutes mes démarches ;

Ma sœur adorée : Dyhia, mon bras droit, qui a toujours été là pour moi, qui ne m'a jamais lâché et m'a toujours encouragé ;

Mes Oncles : Brahim et Saïd

Mes cousines et cousins : Lynda, Wissam, Ahmed et Mila

Mes amis (e) : Cylia, Liza et Anis

Et bien sûr à la meilleure des binômes : Wessame.

Tinhinane.

Sommaire

Introduction01

Chapitre I : Caractéristiques générales de la région d'étude

1. Situation géographique de la région d'étude.....	03
2. Cadre géologique de la région d'étude.....	04
3. Climatologie.....	05
3.1. Précipitations.....	05
3.2. Températures.....	06
4. Couvert végétal.....	08
5. Perturbations anthropiques	08

Chapitre II : Sites et méthodes d'étude

1. Description du réseau hydrographique et stations d'étude	10
1.1 Caractéristiques physiques des stations étudiées	14
1.1.1. La pente.....	14
1.1.2. Le débit	14
1.1.3. L'écoulement et la vitesse du courant.....	15
1.1.4. Le substrat.....	16
1.1.5. La température de l'eau.....	17
2. Matériels et méthodes de l'étude biologique.....	19
2.1. Prélèvement des échantillons	19
2.2. Conservation des échantillons.....	20
2.3. Lavage, tri et détermination	20
3. Méthodes d'analyse de la faune benthique.....	20
3.1. Indices écologiques de composition et de structure des peuplements	20
3.1.1. La richesse taxonomique.....	20
3.1.2. Abondance relative des espèces.....	20
3.1.3. Occurrence relative des espèces.....	21
3.1.4. Indice de Margalef (Margalef, 1951).....	21
3.2. Indice biologique.....	22
4. Matériels et méthodes de l'analyse physico-chimique.....	23

4.1. Echantillonnage de l'eau.....	23
4.2. Matériels utilisés	23
4.3. Paramètres organoleptiques	24
4.3.1. Couleur.....	24
4.4. Paramètre physico-chimique.....	24
4.4.1. Turbidité (Transparence).....	24
4.4.2. PH.....	24
4.4.3. Température	25
4.4.4. Conductivité électrique	25
4.4.5. O ₂ Dissous	25
4.4.6. Résidus secs	25
4.4.7. Matière en suspension (MES).....	25
4.5. Paramètres de pollution.....	26
4.5.1. Ammonium (NH ₄ ⁺).....	26
4.5.2. Nitrates (NO ₃ ⁻)	26
4.5.3. Nitrites (NO ₂ ⁻).....	26
4.5.4. Phosphore (PO ₄ ⁻³)	26
4.5.5. Sulfates (SO ₄ ⁻²)	26
4.5.6. Matières Organiques	27
4.6. Paramètres de minéralisation globale	27
4.6.1. Magnésium (Mg ⁺²).....	27
4.6.2 Chlorures (Cl ⁻).....	27
4.6.3. Dureté (TH).....	27
4.7. Paramètre concernant les substances indésirables	28
4.7.1. Fer (Fe ²⁺)	28
4.7.2. Aluminium (Al).....	28
5. Matériels et méthodes de l'analyse bactériologique	28
5.1. Streptocoques fécaux	28

5.2. Coliformes totaux.....	29
5.3. Escherichia – coli.....	29

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Analyse globale de la faune benthique	30
1.1. Abondance stationnelle	34
1.2. Richesse taxonomique (S).....	34
1.3. Abondance et occurrence des taxons	35
2. Analyses quantitative et qualitative de la faune benthique.....	36
2.1. Les Ephéméroptères.....	36
2.2. Les Diptères	37
2.3. Les Plécoptères	39
2.4. Les Coléoptères.....	39
2.5. Les Trichoptères.....	40
2.6. Les Hétéroptères	41
2.7. Les Oligochètes.....	42
2.8. Les Crustacés	43
2.9. Les Mollusques	43
2.10. Les Hydracariens.....	43
3. Etude de la structure du peuplement benthique.....	44
4. Evaluation de la qualité hydrobiologique de l'eau (IBGN).....	45
5. Evaluation physico-chimique de la qualité de l'eau.....	48
5.1. Paramètre organoleptique	48
5.1.1. La couleur	48
5.2. Paramètres physico-chimiques.....	48
5.2.1. La turbidité.....	48
5.2.2. Le PH.....	49
5.2.3. La conductivité électrique	50
5.2.4. L'O ₂ dessous	50
5.2.5. Les résidus secs	51

5.2.6. Matières en suspensions	52
5.3. Paramètres de pollution.....	52
5.3.1. L'Ammonium, les Nitrites et les Nitrates	52
5.3.2. Les ortho-phosphates	54
5.3.3. Les Sulfates	54
5.3.4. La matière organique	55
5.4. Paramètres de minéralisation globale	56
5.4.1. Les Chlorures	56
5.4.2. Le Magnésium.....	56
5.4.3. Dureté TH	57
5.5. Paramètres des substances indésirables	57
5.5.1. L'Aluminium	57
5.5.2. Le Fer	58
6. Evaluation bactériologique de la qualité de l'eau	59
6.1. Streptocoques fécaux	59
6.2. Coliformes totaux.....	59
6.3. Escherichia – coli	59
7. Discussion générale	60
Conclusion générale.....	63
Références bibliographiques.....	65
Annexe	
Résumé	
Abstract	

Liste des figures

Figure1 : Situation géographique de la région d'étude (Lounaci, 2005)	03
Figure2 : Schéma géologique de la Kabylie (Dagorne & Mahrouf, 1984).....	05
Figure 3 : Précipitations moyennes (en mm) de trois localités de la région d'étude (1994-2014)	06
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).....	07
Figure 5 : Réseau hydrographique étudié et emplacement des stations.....	11
Figure 6 : Abondance de la faune globale dans les stations d'étude	34
Figure 7 : Richesse spécifique dans les stations étudiées	35
Figure 8 : Abondance relative (%) des taxons récoltés.....	36
Figure 9 : occurrence relative (%) des taxons récoltés	36
Figure 10 : Abondance des Ephemeropteres récoltés	37
Figure 11 : Abondance des Dipteres	38
Figure 12 : Abondance des Plecopteres récoltés.....	39
Figure 13 : Abondance des Coleopteres récoltés.....	40
Figure 14 : Abondance des Trichopteres récoltés	41
Figure 15 : Abondance des Heteropteres récoltés.....	42
Figure 16 : Abondance des Oligochetes récoltés.....	42
Figure 17 : Abondance des Crustacés récoltés	43
Figure 18 : La qualité hydrobiologique des stations d'étude.....	47
Figure 19 : Les variations de la couleur des 7 stations d'étude	48
Figure 20 : Les variations de la turbidité dans les stations d'étude	49
Figure 23 : Les valeurs de pH des stations d'étude	49
Figure 22 : Les valeurs de la conductivité électrique des stations étudiées.....	50
Figure 23 : Les valeurs d'O2 dessous dans les stations d'étude.....	51
Figure 24 : Les valeurs des Résidus secs dans les stations étudiées.....	51
Figure 25 : Les variations de MES dans les stations d'étude	52

Figure 26 : Les concentrations de l'ammonium des stations d'étude.....	53
Les valeurs des Résidus secs dans les stations étudiées.....	53
Figure 27 : Les concentrations des Nitrites dans les stations d'étude.....	53
Figure 28 : Les concentrations des Nitrate dans les stations d'étude Les valeurs de la Dureté calciqne dans les stations d'étude	54
Figure 29 : Les concentrations des ortho-phosphates dans les stations d'étude	55
Figure 30 : Les concentrations des sulfates dans les stations d'étude	56
Figure 31 : Les concentrations de la MO dans les stations d'étude.....	56
Figure 32 : Les valeurs de Cl ⁻ des stations d'étude.....	57
Figure 33 : Les concentrations de Magnésium dans les stations d'étude	58
Figure 34 : Les variations de TH dans les stations d'étude	58
Figure 35 : Les concentrations de l'aluminium dans les stations d'étude	58
Figure 36 : Les concentrations de Fer dans les stations d'étude.....	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques mésologiques des stations étudiées	12
Tableau 2 : Altitudes et pentes des stations d'étude	14
Tableau 3 : Altitude, largeur du lit et vitesse du courant mesurées aux stations d'étude	16
Tableau 4 : Nature du substrat dans les stations étudiées	17
Tableau 5 : Températures moyennes ponctuelles de l'eau enregistrées aux stations d'étude	17
Tableau 6 : Les différentes classes de qualité de l'eau selon l'IBGN.....	23
Tableau 7 : Nombre de familles et de genres par groupe zoologique dans la station d'étude.....	30
Tableau 8 : Répartition de faune benthique dans l'assif Sahel et oued Boubhir (s.s.).....	32
Tableau 9 : les variations de l'indice de Margalef dans les stations d'étude	44
Tableau 10 : Appréciation globale de la qualité de l'eau des stations d'étude	46
Tableau 11 : Résultats de l'analyse bactériologique des 7 stations d'étude	59

Liste des photographies

Photo 1 : Station SAD	13
Photo 2 : Station SA1	13
Photo 3 : Station SA2	13
Photo 4 : Station SA3	13
Photo 5 : Station SA4	13
Photo 6 : Station SA5	13
Photo 7 : Station B1.....	13

Introduction

Introduction

L'eau est une ressource vitale nécessaire au fonctionnement biologique des êtres vivants, un élément de stabilité sociale, sanitaire et économique quand elle est bien gérée.

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'exècrent (Agropolis, 2007; Sanogo & Kabre, 2014 ; Sanogo *et al.*, 2014).

En général, l'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure des paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organisme aquatiques indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau (De Villiers *et al.*, 2005).

La pollution des cours d'eau d'origine diverses va entraîner une modification des paramètres physico-chimiques des eaux qui induira un changement de la composition et de la structure de la communauté de macroinvertébrés en place (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).

Les études faunistiques (macroinvertébrés benthiques), écologiques (répartition spatiale, structure des populations), biogéographiques et physico-chimiques (évaluation et surveillance de la qualité des eaux) revêtent une importance primordiale, d'une part dans la compréhension du fonctionnement et de la gestion des systèmes naturels et aménagés et d'autre part, dans l'évaluation de l'état de santé écologique des hydrosystèmes.

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) et Sekhi (2022).

L'objectif de ce travail est d'une part, de dresser des listes faunistiques des macroinvertébrés benthiques de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) et d'étudier la répartition de la faune recensée en relation avec l'habitat pour une meilleure connaissance de l'écologie des taxons et de leur distribution, de déterminer l'organisation spatiale et la structure des macroinvertébrés benthiques en fonction des caractéristiques environnementales et d'autre part, d'évaluer la qualité de l'eau par les voies biologique (IBGN), physico-chimique et bactériologique.

L'ensemble de ce travail se compose de trois chapitres :

- le premier résume les caractéristiques générales de la région d'étude (géographie, géologie, climatologie et perturbations anthropiques);
- le deuxième est consacré à la description des sites et les méthodes et techniques mises en œuvre pour un échantillonnage représentatif ;
- et le troisième, le plus important, traite les différents résultats obtenus avec leurs discussion :
 - les analyses quantitative et qualitative de la faune benthique recensée ;
 - l'étude de la structure du peuplement benthique ;
 - et l'évaluations de la qualité de l'eau par les voies biologique (IBGN), physico-chimique et bactériologique.

Chapitre I
Caractéristique
générale de la région
d'étude

1. Situation géographique de la région d'étude

La Kabylie du Djurdjura constitue notre région d'étude. Elle est située dans le centre Nord de l'Algérie à une centaine de kilomètres à l'Est d'Alger et à moins de 50 km au Sud du littoral méditerranéen. Elle s'étend depuis les sommets du massif de Djurdjura, principalement Thala Guilef, Tikjda, Tizi N'Kouilal et le col de Tirourda jusque dans les piémonts et plaines de Tizi-Ouzou (Vallée du Sébaou).

Le Sébaou, principal cours d'eau de la kabylie, s'étale sur une superficie de 2500 km² avec une longueur de 117 km (Yakoub, 2005). Il est délimité (figure1) :

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

Dans l'impossibilité d'étudier tout le chevelu hydrographique du sous bassin versant d l'oued boubhir, qui draine les écoulements en provenance de la dorsale orientale du Djurdjura et du massif de l'Akfadou, notre intérêt s'est porté sur l'un de ses principaux affluents à savoir assif Sahel et l'oued Boubhir (s.s).

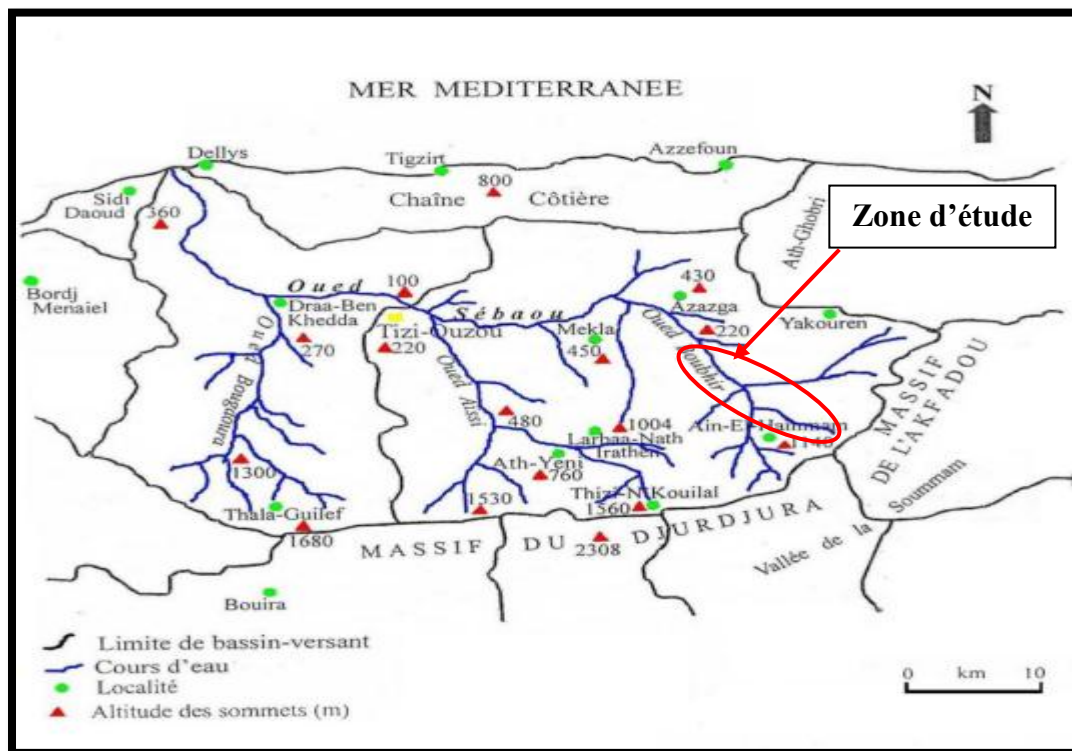


Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude (Lounaci, 2005).

2. Cadre géologique de la région d'étude

La géologie d'une région joue un double rôle. Elle influe non seulement sur le régime hydrique par sa capacité d'emménagement, mais aussi sur l'érosion et le transport des solides.

La Kabylie du Djurdjura a été par le passé l'objet de différentes études géologiques : stratigraphie, tectonique, orogénèse, ... (Flandrin, 1952 ; Thiebault, 1952 ; Raymond, 1976 ; Gelard, 1979 ; Yakoub, 1996 ; Dagorne & Mahrour, 1984).

Sur le plan géologique la région de Tizi-Ouzou, s'inscrit dans l'orogénèse Alpine périméditerranéenne de la chaîne littorale d'Afrique du Nord. Elle constitue un des éléments des zones internes de la Chaîne des Maghrébides (Durand-Delga, 1980).

Les unités morpho structurelles rencontrées en Kabylie se résument (figure2):

- **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.
- **au socle kabyle** : il est constitué de formations cristallophylliennes d'origines métamorphique et magmatique (Phyllades, Schistes, Gneiss). 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 occupe le cours inférieur des Oueds Boghni Bougdoura.
- **au Quaternaire** : il est bien représenté dans la dépression de Mechtras et tout au long des oueds Boghni et Bougdoura. 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 suite aux importantes accumulations.

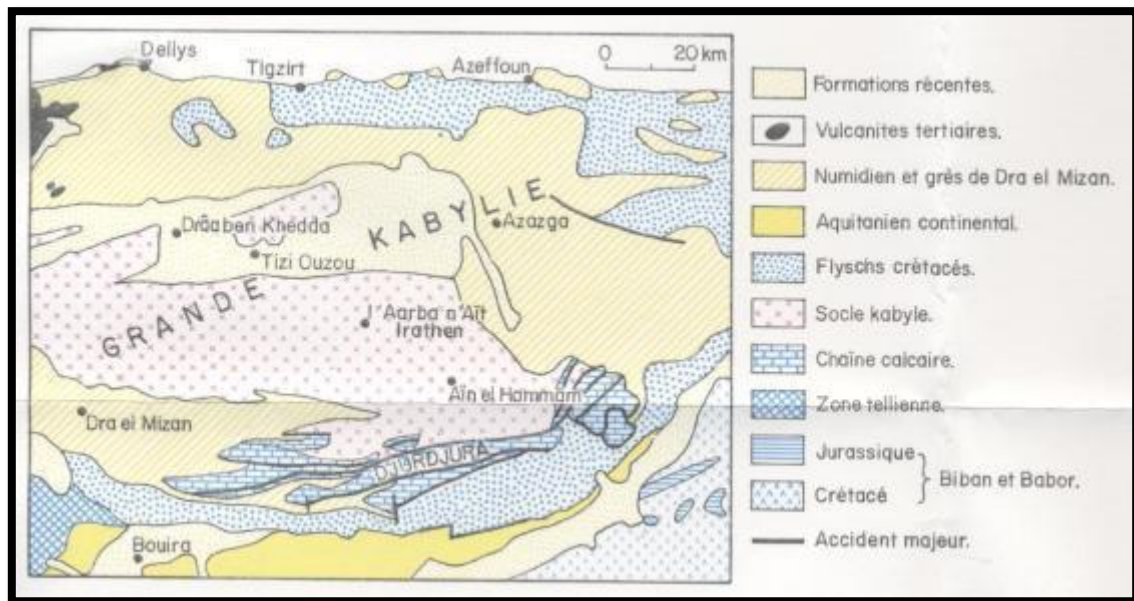


Figure 2 : Schéma géologique de la Kabylie (Dagorne & Mahrou, 1984)

3. Climatologie

Le climat dans sa définition générale est un ensemble de conditions atmosphériques qui rendent le milieu de la surface terrestre plus au moins habitable.

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.

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, de par son orientation Est-Ouest, constitue une barrière naturelle aux vents humides provenant du Nord-Ouest donnant naissance à des précipitations assez élevées.

Afin de caractériser le point de vue climatique notre région d'étude, nous avons été contraints d'utiliser les données pluviométriques de l'ANRH (Bouaziz & Mahmoudia, 2021) pour les stations Azazga, Boubhir et Tizi-Ouzou, pour la période 1994-2014 (annexe1).

La lecture de la figure 3 montre que les précipitations les plus importantes s'observent de Novembre à Avril (plus de 80% du total pluviométrique) avec deux pics :

- le premier pic est observé en Décembre et en Janvier avec respectivement 162 mm et 158,8mm ;
- le second pic, moins important, est observé au mois d'Avril avec 116,3mm

Ces précipitations diminuent ensuite progressivement pour atteindre les valeurs de l'ordre de 4,03 mm en Juillet et 7,9 mm en Aout puis reprennent en Septembre.

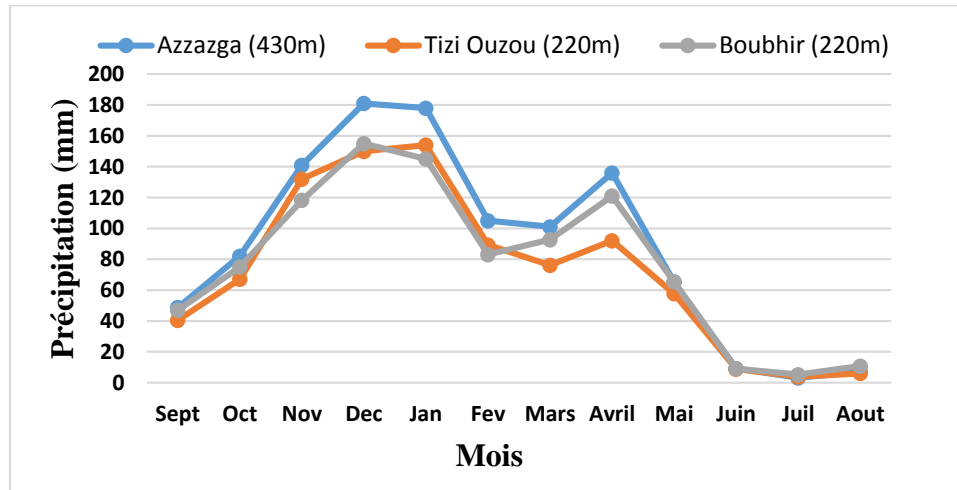


Figure 3 : Précipitations moyennes (en mm) de trois localités de la région d'étude (1994-2014)

3.2. Températures

La température est un facteur écologique important (Dajoz, 2006 ; Faurie *et al.*, 2003) de 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).

Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface (Philippo et al., 1981). Ce paramètre est en fonction de l'altitude, de la distance par rapport à la mer et varie également en fonction des saisons (Toubal, 1986). Elle est exprimée en degré de Celsius (°C).

En annexe 2, nous avons rapporté les températures mensuelles de l'air (moyennes maximales et minimales) enregistrées à Tizi-Ouzou pendant la période allant de 2012 à 2020. Nous avons été contraints d'utiliser uniquement les données de l'Office National de Météorologie (ONM) de Tizi-Ouzou. Cela est dû à l'absence d'autres réseaux météorologiques dans notre région d'étude.

Les moyennes annuelles des températures de l'air sont variables d'une année à l'autre. La température moyenne annuelle de Tizi-Ouzou est de 21,36°C (annexe3).

La lecture de la figure 4 montre que :

- les mois de Janvier et Février sont les plus froids, leurs températures moyennes sont respectivement de 10,64°C et 10,84°C ; leurs températures minimales sont de 6,73 °C.
- les mois de Juillet et Août peuvent être considérés comme les plus chauds. Leurs températures moyennes enregistrées sont respectivement de 28,24°C, 28,38°C avec des maxima de l'ordre de 36,08°C, 35,11°C.

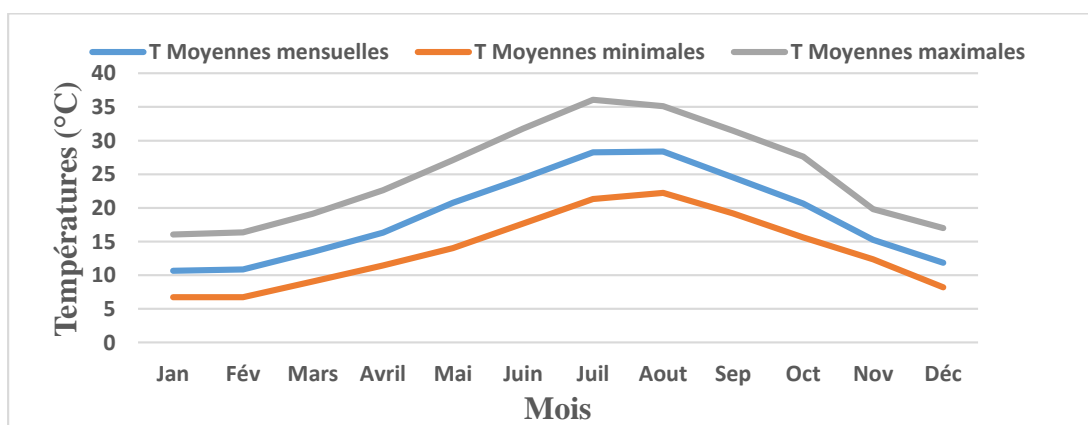


Figure 4 : Températures moyennes de l'air (°C) (maximales et minimales) à Tizi Ouzou pour la période 2012-2020 (source : O.N.M de Tizi Ouzou).

4. Couvert végétal

Le long des cours d'eau, sur les berges on trouve :

- à 1100m, une végétation bordante constituée d'une strate herbacée et d'épineux (ronces et genêts).
- entre 1100 à 400 m, ripisylve représentée essentiellement par l'aulne (*Alnus glutinosa*), le saule (*salix pedicellata*) et le merisier (*cerasus avium*).
- dans les zones de piémont de plaine, une ripisylve constituée par le peuplier noir (*populus nigra*), le peuplier blanc (*populus alba*), l'aulne, l'alaterne (*Rhamnus alaternus*) le laurier rose (*Nerium oleander*), le tamaris (*tamarix* sp) et l'eucalyptus (*Eucalyptus* sp).

La végétation aquatique est constituée principalement par des algues (*Oedogonae*, *Spirogyra*, *Zygnema*, *Ulothrix*), des Bryophytes et des macrophytes.

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).

5. 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.

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** : l'extension rapide des zones urbaines accentue le déversement des eaux usées dans les cours d'eaux. Les décharges publiques constituées de dépôts de déchets abondants et

anarchiques présentent une autre forme de pollution. 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'aviciculture 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.

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).

Chapitre II

Sites et méthodes d'étude

Ce chapitre constitue une description des cours d'eau étudiés, ainsi qu'une présentation globale du contexte environnemental et des méthodes de récolte employées.

Notre objectif est l'établissement de listes faunistiques des macro-invertébrés benthiques et de chercher les relations entre les caractéristiques mésologiques et sa faune. Cette étude vise aussi l'évaluation de la qualité de l'hydro-système par les voies : biologique, physicochimique et bactériologique.

1. Description du réseau hydrographique et stations d'étude

Dans le cadre de ce travail, notre intérêt s'est porté sur l'un des principaux affluents du sous bassin versant de l'oued Boubhir à savoir assif Sahel et l'oued Boubhir (s.s).

Parmi les stations prospectées, sept ont été retenues en tenant compte particulièrement de certains paramètres tels que l'altitude, la pente, la diversité des biotopes, l'amont et l'aval des agglomérations. Ce choix est aussi conditionné par l'accessibilité aux stations.

Une campagne de prélèvement benthique a été réalisée le 20 Mai 2022.

Les stations retenues sont indiquées par des carrés sur la figure 5, elles se répartissent comme suit :

- 6 stations sur assif Sahel : SAD, SA1, SA2, SA3, SA4, SA5 : (photos de 1 à 6)
- 1 station sur l'oued Boubhir (s.s) : B1 (photo 7)

Pour chaque station étudiée, nous indiquons (voir tableau 1) :

- ✓ la localité la plus proche ;
- ✓ l'altitude ;
- ✓ la pente à la station ;
- ✓ la section mouillée ;
- ✓ la profondeur moyenne de la lame d'eau ;
- ✓ la vitesse du courant ;
- ✓ la température ponctuelle de l'eau ;
- ✓ la nature du substrat ;
- ✓ la végétation ;
- ✓ les influences anthropiques lorsqu'il y en a.

Assif Sahel

C'est un cours d'eau de montagne qui prend naissance dans le col de Chellata (Thala Addardar). Il collecte les écoulements de petits ruisseaux alimentés par les eaux de pluie et de fonte des neiges, Il coule en orientation Sud-Nord sur une distance de 12 km, entre 1300 et 250 m d'altitude avant de se jeter dans l'oued Boubhir. Sa pente moyenne est de l'ordre de 10%, laquelle lui confère un régime hydrologique torrentiel.

Oued Boubhir (s.s)

L'oued Boubhir constitue le prolongement de l'assif Sahel. Il prend naissance à 20 km au sud-Ouest d'Azazga et coule du Sud au Nord, entre 350 m et 150 m d'altitude. Sa pente moyenne est de l'ordre de 2 % et la largeur de son lit majeur peut atteindre par endroit plus de 50 m. L'importance de son débit est due aux écoulements en provenance du col de Tirourda, du col de Chellata (Assif El-Khemis et Assif Sahel) et de l'Akfadou (Assif Ousserdoun)

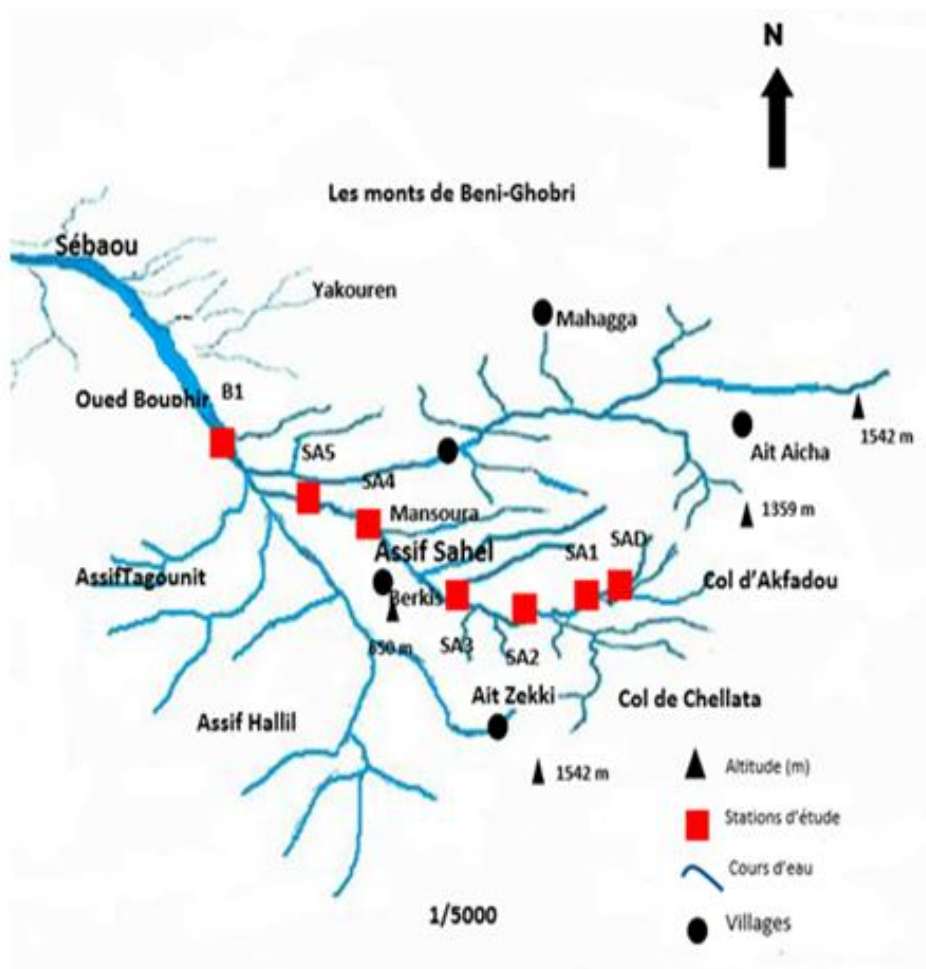


Figure 5 : Réseau hydrographique étudié et emplacement des statuuions.

Tableau 1 : Caractéristiques mésologique des stations étudiées

Stations	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
Localisation	200 m en aval de la source Addardar	500 m en aval de SAD (torrent de montagne)	1,5 km de la source (torrent de montagne)	2,5 km en aval de la source à 200 m du village Berkis	3,5 km en aval de la source et à 100 m du village Mensoura	8 km en aval de la source et à 200 m du lieu-dit pont Sahel	12 km en aval de la source et à 50 m en amont du pont de Boubhir
Altitude (m)	1200	1170	1140	870	580	460	200
Pente (%)	25	20	18	13	10	6	1
Profondeur moyenne (cm)	15	20	25	30	30	35	40
Vitesse du courant	Moyenne	Très rapide	Très rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Température (°C)	5	6	7	12	15	22	26
Largeur du lit (m)	0,8	3	2,5	2	6	8	25
Substrat	Graviers, matière organique et débris végétaux	Graviers, galets, dalles, blocs et débris végétaux	Blocs, graviers, galets, limon, sable et débris végétaux	Gros galets, sable et matière organique très importante	Hétérogène (Rochets, dalles, galets et graviers)	Hétérogène (dalles et sable)	Domination du sable et limon, gros galets, présence de matière organique
Végétation aquatique (m)	Marcophytes et mousses	Marcophytes et mousses	Marcophytes et mousses	Mousses et algues	Mousses+++ et algue	Mousses et un peu d'algues	Algues filamenteuses
Recouvrement (%)	10	70	70	30	30	0	0
Végétation bordante	Strate herbacée et arbustive	Strate arborée, herbacée, arbustive	Strate arborée, herbacés, arbustive	Strate arborée, herbacés, arbustive	Strate arborée, herbacés, arbustive	Strate arborée, herbacés, arbustive (loin des rives)	Strate arborescente, herbacés, arbustive
Influences anthropiques	_____	-Pompage modeste de l'eau pour l'irrigation.	-Pompage modeste de l'eau pour l'irrigation.	-Pompage de l'eau -Rejets des ordures ménagères sur les rives -Réseau d'assainissement des villages Taourirt bar, Iguer Amar et Agouniifilker.	-Rejets urbain -Réseau d'assainissement des villages Berkis et Amokrez, -Pompage de l'eau pour l'irrigation et pâturage modeste.	-Décharge sauvage sur les rives -Réseau d'assainissement du village Sahel.	-Pompage de l'eau pour l'irrigation -Engrais et pesticides -Déchets ménagers sur les rives et pâturage.



Photo1 : Station SAD



Photo2 : Station SA1



Photo3 : Station SA2



Photo4 : Station SA3



Photo5 : Station SA4

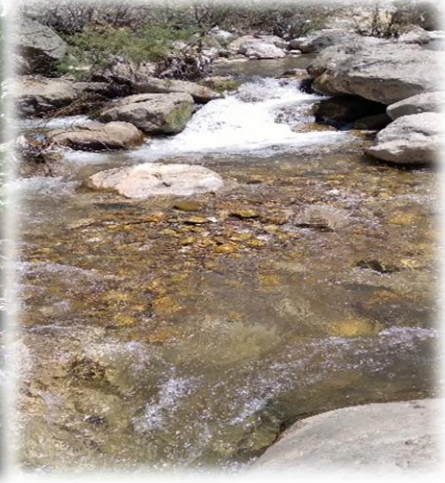


Photo6 : Station SA5



Photo7 : Station B1

Photos de 1 à 7 : représentation photographique des stations d'étude

1.1 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).

1.1.1. 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, ainsi que dans la répartition de la faune benthique.

Compte tenu de la longueur des cours d'eau et de la différence d'altitude entre les ruisseaux et les secteurs de moyenne montagne, on observe des variations dans la pente (tableau 2).

Tableau 2 : Altitudes et pentes des stations étudiées

Station	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
Altitude (m)	200	1170	1140	870	580	460	200
Pente (%)	25	20	18	13	10	6	1

Le tableau 2 met en évidence trois secteurs en fonction de la pente :

- le secteur le plus pentu correspond à celui des stations d'altitude : SAD (alt. 1200 m), SA1 (alt. 1170 m) et SA2 (alt. 1140 m) avec une pente comprise entre 18 et 26% ;
- le secteur à pente moyenne correspond à celui des stations : SA3 (alt. 850 m), SA4 (alt. 580 m) et SA5 (alt. 460 m) avec une pente comprise entre 6 et 13 % ;
- Enfin, la pente diminue donnant sur l'oued Boubhir (s.s) un profil qui s'approche de l'horizontalité, l'eau coule sur un lit large relativement plat de pente de 1% (station B1).

1.1.2. 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.

Le régime hydrologique des cours d'eau de montagne dont l'altitude est supérieure à 1000 m est pluvionival de Décembre à mi-Avril et pluvial de mi-Avril à début Juin. La vitesse de transport des substances solides et dissoutes est augmentée par les fortes pluies qui sont à l'origine des crues, ainsi, beaucoup d'organismes sont emportés et la composition chimique des eaux se trouve alors modifiées. (Lounaci, 2005).

1.1.3. L'écoulement et la vitesse du courant

Sur le plan écologique, l'écoulement de l'eau est considéré comme un facteur abiotique qui agit sur la répartition des peuplements aquatiques. Il est caractérisé par un profil de vitesse. Les conséquences de l'action du courant sur la nature du fond sont d'une extrême importance. Il agit sur la distribution des habitats et communautés, il exerce une influence sur le comportement animal et le métabolisme des communautés (Leveque, 1996).

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 permet de calculer la vitesse.

Les vitesses relevées dans les sept stations étudiées sont enregistrées dans le tableau 3 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

Tableau 3 : Altitude, largeur du lit et vitesse du courant mesuré aux stations d'étude.

Stations	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
Altitudes (m)	1200	1170	1140	870	580	460	200
Largeur du lit (m)	0,8	3	2,5	2	6	8	25
Vitesse du courant (cm/s)	30	110	130	80	90	100	70
Classe selon Berg	Moyenne	Très rapide	Très rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide

- la lecture du tableau 3 montre que SAD (1200 m), présente la vitesse du courant la plus faible et elle est qualifiée de moyenne.
- les stations SA1, SA2 (torrents de montagne) situées respectivement à 1170 m et 1140 m dénotent une vitesse très rapide.
- les stations SA3, SA4, SA5 et B1 situées entre 870 m 200 m d'altitude présentent une vitesse du courant qualifiée de rapide (comprise entre 70 et 100 cm/s).

1.1.4. Le substrat

Les cours d'eau présentent naturellement une grande diversité structurelle, par sa composition, 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. 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 (tableau 4) montre une hétérogénéité du substrat au sein de tous les étages altitudinaux.

Tableau 4 : Nature du substrat (minéral et végétal) dans les stations étudiées.

Stations Paramètres	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
GG/G%	85	80	80	60	60	50	25
S/L%	15	20	18	15	35	30	60
MO%	0	0	2	25	5	20	15
Vaq%	0	20	30	25	15	25	20

GG/G : Gros Galets/Galets, S/L : Sable/ Limons, MO : Matière Organique, Vaq : Végétation aquatique.

Au niveau de la source et des stations d'altitude, le substrat est à dominance de gros galets et de graviers, avec absence de matière organique. En revanche, dans les stations de moyennes montagnes, piémonts et de basse altitude, il est plutôt à dominance de sable et de limons avec un pourcentage de matière organique compris entre 5 et 25 %.

La végétation aquatique quant à elle est essentiellement à dominance de mousse et de macrophyte dans les stations d'altitudes et de moyenne montagne. Par contre, dans les stations de piémonts et de basses altitudes, elle est représentée par les algues filamenteuses.

1.1.5. 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).

Chaque station du réseau hydrographique a son propre régime thermique déterminé par la combinaison d'un certain nombre de paramètres : 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.

Les valeurs ponctuelles de la température moyenne de l'eau dans les stations étudiées réalisées à l'aide d'un thermomètre à mercure sont données ici à titre indicatif (tableau 5).

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

Stations	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
Altitude	1200	1170	1140	870	580	460	200
T (°C)	5	6	7	12	15	22	26

La lecture du tableau 5 fait apparaître trois groupes de stations du point de vue thermique.

Groupe 1 : renferme les stations des ruisseaux de montagne, pour lesquelles la température de l'eau se situe entre 5°C et 7°C. Ce sont les stations des cours d'eau alimentés par les sources et la fonte de neige, c'est le secteur des stations SAD, SA1, SA2.

Groupe 2 : ce sont les stations de moyenne montagne : SA3et SA4, la température de l'eau est respectivement 12°C et 15°C. Cette augmentation légère des températures est due au réchauffement des eaux sous l'influence de l'ensoleillement.

Groupe 3 : renferme deux stations de piémont, SA5 (460 m) et de basse altitude B1 (200m) qui enregistrent des températures de l'eau respectivement de 22 et 26°C. Ces élévations dont la température de l'eau est dû à l'absence du recouvrement végétal tout au long des rives ainsi qu'à l'élargissement des cours d'eau surtout au niveau de la station B1.

Le prélèvement est une étape cruciale, puisque toutes les étapes qui suivent et qui mènent à une conclusion reposent sur la fiabilité et la représentativité des échantillons recueillis.

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).

Le matériel biologique récolté (macro-invertébré benthique) est traité et analysé au niveau du laboratoire « Ecosystèmes Aquatiques Continentaux » de l'université Mouloud Maameri de Tizi-Ouzou. Les analyses physico-chimiques des différents paramètres de l'eau ainsi que bactériologiques, sont réalisés au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de l'eau (SEAAL) de Taksebt.

2. Matériels et méthodes de l'étude biologique

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-habitas présents (principe de l'IBGN).

Lorsqu'une station ne présente pas huit micro-habitas différents, le nombre de prélèvements est complété à huit en échantillonnant le ou les substrats dominants dans une classe de vitesse différentes de celle déjà effectuées.

Le cumul des échantillons prélevés sur plusieurs habitats, fournit l'image de la communauté macro-benthique d'une station.

2.1. Prélèvement des échantillons

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.

2.2. Conservation des échantillons

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.

2.3. Lavage, tri et 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 puis transvasé dans des béciers de 250 ml.

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).

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 4).

3. Méthodes d'analyse de la faune benthique

3.1. Indices écologiques de composition et de structure des peuplements

Ce sont des expressions mathématiques qui renseignent le mieux sur la structure du peuplement. Ils permettent d'avoir rapidement une évaluation de la diversité du peuplement, de nombreux indices sont couramment utilisés à savoir : la richesse spécifique, l'abondance relative et l'occurrence des espèces.

3.1.1. La richesse taxonomique

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.

3.1.2. 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.

Ça formule est la suivante :

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

ni : nombre d'individus de l'espèce i.

N : nombre total d'individus.

On qualifie les espèces selon leurs valeurs F (%) :

F ≥ 50% : taxons constants ;

25 < F < 50% : taxons accessoires ;

F ≤ 25% : taxons accidentels.

3.1.3. Occurrence relative des espèces

Selon Dajoz (1985), l'occurrence est le rapport exprimé en pourcentage, entre le nombre de relevés (Pi) où l'on trouve l'espèce (i) et le nombre total de relevés réalisés (P) dans une même station.

Elle est calculée par la formule suivante :

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

Pi : 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 ;

3.1.4. Indice de Margalef (Margalef, 1951)

Cet indice ne tient pas compte de l'abondance relative des taxons. Il est défini par la relation suivante :

$$\alpha = (ni - 1) / \log N$$

ni : nombre d'individus de l'espèce de rang i

N : nombre total d'individus

La diversité est minimale quand α tend vers zéro (0), et est maximale quand α tend vers ∞ .

3.2. Indice biologique

Les quatre principaux indices utilisant l'ensemble du peuplement de macro-invertébrés benthiques sont :

- 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) ;

Les échelles de pollution reposent toutes sur le fait que certaines espèces, en mieux certaines associations sont susceptibles de caractériser la pureté ou la pollution de l'eau est donc pouvant servir d'indicateurs biologiques.

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

L'IBGN peut permettre de suivre l'évolution de la qualité biologique d'un site au cours du temps, dans l'espace (amont/aval) et d'évaluer l'effet d'une perturbation 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, on détermine donc (annexe 5) ;

- La variété taxonomique Σt : elle correspond au nombre total de taxons identifiés, quel que soit le nombre d'individus trouvé sur place.
- Le groupe indicateur (GI) : on prospectera les colonnes du tableau de haut n bas (de GI=1 à GI=9), en arrêtant l'examen à la première présence significative d'un taxon répertoire en ordonnée du tableau. On déduit alors que l'IBGN du tableau (annexe 5) à partir de son ordonné (GI) et de son abscisse (Σt).

L'appréciation globale de la qualité hydrobiologique selon AFNOR est défini selon cinq niveaux de couleur permettant une représentation cartographique des résultats (tableau6).

Tableau 6 : Les différentes classes de qualité de l'eau selon l'IBGN.

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

La définition des classes de qualité est la suivante :

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

4. Matériels et méthodes de l'analyse physicochimique

4.1. Echantillonnage de l'eau

Un prélèvement de l'eau est effectué pour chaque station dans des flacons (bouteilles en plastique) neufs rincés plusieurs fois avec de l'eau à analyser. Les flacons sont remplis à ras bord et étiquetés (nom de la station et date du prélèvement) et conservés immédiatement dans des glacières à température basse et à l'abri de la lumière. Il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible (48 heures) afin d'éviter toute modification des paramètres de l'eau.

4.2. Matériels utilisés

L'appareillage utilisé au cours des analyses physicochimique 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 6).

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 7.

Les analyses ont été faites en étudiant les paramètres suivants :

4.3. Paramètres organoleptiques

4.3.1. Couleur

C'est un paramètre qui traduit une nuisance d'ordre esthétique, selon Mokddem & Ouddane (2005) la coloration des eaux peut être :

- ✓ d'origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface)
- ✓ une des conséquences du phénomène d'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton) des lacs, étangs, barrages, ...etc.
- ✓ d'origine industrielle chimique (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures).

4.4. Paramètre physico-chimique

4.4.1. Turbidité (Transparence)

C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes, ...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur.

Une classification de l'eau en fonction de la turbidité est donnée :

NTU < 5 : eau claire.

NTU < 30 : eau légèrement trouble.

NTU > 50 : Eau trouble.

La présence de la turbidité dans l'eau, empêche la pénétration des rayonnements solaires qui sont indispensables à la vie aquatique, et réduit la photosynthèse.

4.4.2. PH

Le pH mesurant l'acidité d'une solution, 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).

Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant :

>7 en régions calcaires où les eaux sont basiques car fortement minéralisées,

<7 en région de sous-sol primaire ou eaux sont acides.

4.4.3. Température

La mesure de la température est indispensable pour l'interprétation et le traitement d'autres paramètres comme l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique. Des changements brusques de températures de plus de 3°C s'avèrent souvent néfaste (Squilbin & Yourassowsky, 2005)

. Pour que l'eau potable soit désaltérante, sa température doit varier entre 8 et 15 °C. Cependant, son augmentation favorise le développement des micro-organismes (Legrand & Poirier, 1976).

4.4.4. Conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant. Elle peut évaluer approximativement la teneur en sels dissous (Dupont, 1981).

La mesure de la conductivité est un moyen assez simple de détection d'une anomalie indiquant la présence probable d'une pollution.

4.4.5. O₂ Dissous

C'est un paramètre important pour évaluer l'état de santé d'un écosystème aquatique. Il est essentiel pour le maintien de la vie aquatique et la dégradation de la matière organique. Ce paramètre est influencé par différents facteurs comme la température et la turbulence de l'eau, la nature et la concentration d'êtres vivants présents (flore et faune), le type et le degré de pollution (Bouhezila, 2021).

4.4.6. Résidus secs

C'est un indicateur qui permet de déterminer le taux de minéraux (substances dissoutes non volatile) recueillis dans l'eau après l'évaporation.

Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000mg/l (Berne & Jean, 1991).

4.4.7. Matière en suspension (MES)

Il s'agit de matières non solubilisées. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales (Gaid, 1984).

Les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (Merabet, 2010). La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux.

4.5. Paramètres de pollution

4.5.1. Ammonium (NH_4^+)

Il constitue un des maillons du cycle de l'azote. La présence de NH_4^+ dans l'eau traduit un processus de dégradation incomplète de M.O. C'est un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

4.5.2. Nitrates (NO_3^-)

Ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique,

L'origine des nitrates dans le sol est diverse telles que les apports d'amendement organique ou les déjections animales ou humaines stockées.

4.5.3. Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés, ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne). Des concentrations élevées en nitrites, témoignent souvent de la présence de matières toxiques (De Villers *et al.*, 2005).

4.5.4. Phosphore (PO_4^{3-})

Élément indispensable au développement de tous les organismes vivants, ne doit être naturellement présent qu'en très faible quantité dans le sol et dans les eaux, au-delà il constitue une pollution par perturbation de milieu aquatique.

4.5.5. Sulfates (SO_4^{2-})

Sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux (Bremond *et al.*, 1973 ; Rodier, 1984).

4.5.6. Matières Organiques

Les matières organiques dissoutes dans l'eau proviennent souvent de l'attaque et de la décomposition par les bactéries ou des champignons inférieurs, des cadavres d'animaux et de végétaux. Mais 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 pollution provenant de rejets d'eaux usées domestiques mal épurés, d'effluents agricole, ...etc.

4.6. Paramètres de minéralisation globale

4.6.1. Magnésium (Mg^{+2})

Le magnésium est aussi très répandu dans la nature, sa concentration dans l'eau est liée à la nature géologique des couches traversées. Le Mg dans l'eau provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution de Mg sous forme de carbonate ($MgCO_3$) et de bicarbonates ($Mg 2HCO_3$) (Potelon & Zyman, 1998).

4.6.2. Chlorures (Cl^-)

Ils ne sont pas nocifs, mais constituent un important indicateur d'arrivée de pollution.

Ils ne sont pas éliminés par les stations d'épuration. Dans la nature ils sont souvent indicateurs d'arrivée d'effluents urbains. La concentration naturelle de l'eau en chlorure est fonction de la géologie des sols en générale inférieure à 50 mg/l.

4.6.3. Dureté TH

La dureté d'une eau (Titre Hydrométrique) est associée à la présence en solution et à l'état dissous des ions bivalents calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}).

Une eau est dite douce, lorsqu'elle est pauvre en ces cations et elle est dite dure lorsqu'elle en est riche (Ledler, 1986).

4.7. Paramètre concernant les substances indésirables

4.7.1. Fer (Fe²⁺)

Provient du sous-sol ou de l'industrie mais n'est pas nocif. Le sulfate de fer peut provenir des stations de traitement des eaux où il est utilisé comme floculant. C'est un oligoélément indispensable au bon fonctionnement des êtres vivants.

En excès dans l'eau il n'est pas nocif mais brunit l'eau ce qui peut entraîner des taches. Des précédés de déferrisation permettent d'éliminer les excès de fer dans l'eau si nécessaire avant distribution.

4.7.2. Aluminium (Al)

Est naturellement présent dans les sols. L'alumine (oxyde d'aluminium) qui sert à produire le métal aluminium est extraite principalement d'une roche sédimentaire, la bauxite. L'aspect et les propriétés physico-chimiques de ce métal ont favorisé d'innombrables utilisations.

5. Matériels et méthodes de l'analyse bactériologique

Avant d'entamer les prélèvements, il faut se laver très soigneusement les mains et avant-bras puis les rincer à l'alcool. On utilise le coton imbibé de l'alcool pour avoir une flemme bleue pour stériliser la zone d'échantillonnage pendant 1 à 2 minutes et l'ouverture des flacons.

Prendre le flacon en verre lavé et stérilisé par autoclavage à 120°C pendant 15 min, de la main gauche et l'approcher de la flamme avec la main droite, plongés dans l'eau sans toucher le fond et loin des rives, il ne doit pas être rempli entièrement (5/6 du volume du flacon) afin de maintenir en vie les bactéries aérobies.

Une fois ressorti, l'ouverture du flacon doit être restérilisé avant d'être fermé et après, étiqueter (nom de la station, la date et l'heure).

Les flacons sont transportés dans des glacières à 4°C, à l'abri de la lumière et de l'air afin d'éviter la multiplication des germes.

Les méthodes d'analyses bactériologiques sont indiquées en annexe 8.

5.1. Streptocoques fécaux

Selon Rodier et al. (2005), la présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation.

5.2. Coliformes totaux

Les coliformes totaux ne sont pas un signe de pollution, leur origine peut être environnementale (sol, végétation, eau). Leur présence n'indique pas nécessairement une pollution fécale (Debabza, 2005).

5.3. Escherichia – coli

E. Coli est d'origine animale et humaine, sa présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. Analyse globale de la faune benthique

Le benthos est constitué d'invertébrés vivants dans le fond des cours d'eau. Ils se répartissent de façon hétérogène en fonction de la nature du substrat. Certains sont fixés d'autres sont rampants, ou encore fouisseurs (Sekhi, 2010).

L'étude du benthos permet d'apprécier la composition, la structure ainsi que la distribution dans l'espace et dans le temps des macroinvertébrés en place (Cereghino, 1992).

La présente étude faunistique a permis de recenser un total de 16172 individus répartis en 14 groupes zoologiques, 47 familles et 54 genres (tableaux 1 et 2).

Tableau 7 : Nombre de familles et de genres par groupe zoologique dans les stations d'étude.

Groupes zoologiques	Nombre de familles	Nombre de genres
Oligochètes	2	2
Hydracariens	1	1
Collemboles	1	1
Crustacés	3	3
Mollusques	2	2
Ephéméroptères	4	4
Plécoptères	5	7
Trichoptères	6	7
Coléoptères	8	12
Hétéroptères	3	3
Diptères	9	9
Arachnides	1	1
Hyménoptères	1	1
Planipennes	1	1
Total	47	54

Sur les 54 taxa d'invertébrés benthiques, 45 taxa (soit 83,33%) sont des insectes et dix taxa (soit 18,51%) appartiennent aux autres classes ou embranchements : Annélides, Mollusques, Arachnides, Crustacés, Hydracariens et Collemboles.

Les groupes les plus présentés dans les stations étudiées sont les Diptères avec 9 familles, suivis par les Coléoptères avec 8 familles, viennent ensuite les Trichoptères avec 6 familles, les Plécoptères 5 familles et les Ephéméroptères avec 4 familles.

Les Hétéroptères et les Crustacés sont représentés par 3 familles et les Oligochètes et les Mollusques par 2 familles.

Les Hydracariens, les Collemboles, les Arachnides, les Hyménoptères et les Planipennes sont monogénériques.

Du point de vue quantitatif, les Diptères et Ephéméroptères dominent largement. Les premiers comptent 7476 individus (soit 46,20% de la faune totale) dont la famille des Simuliidae qui est représentée par 5105 individus (soit 68,28% du total des Diptères et 31,54% de la faune totale).

Les Ephéméroptères qui occupent la deuxième place du point de vue numérique comptent 6732 individus (soit 41,59% du total benthique), ils sont majoritairement représentés par les Baetidae (*Baetis*) avec 6692 individus. Se placent en troisième position les Diptères Chironomidae avec 2170 individus (soit 13,4% de la faune totale). Viennent ensuite les Hydracariens (4,02%), les Oligochètes Naididae (2,62%) et les Plécoptères Nemuridae (*Protonemura*) avec 1,45%. Les autres taxons sont faiblement représentés.

Tableau 8 : Répartition de faune benthique dans l'assif Sahel et l'oued Boubhir (s.s.).

Groupes faunistiques	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1	Ab	Abr (%)	Occ	Occr (%)
OLIGOCHETES											
Naididae	4	3		10	40	48	320	425	2,62	6	85,71
Tubificidae	3		3	3	3	3		15	0,09	5	71,42
Total	7	3	3	13	43	51	320	440			
MOLLUSQUES											
Ancylidae <i>Ancylus</i>	3		3	3		18	8	35	0,21	5	71,42
Planorbidae <i>Planorbis</i>			3	3				6	0,03	2	28,57
Total	3		6	6		18	8	41			
CRUSTACES											
Gammaridae <i>Gammarus</i>		5	3	8			3	19	0,11	4	57,14
Grapsidae			3		3			6	0,03	2	28,57
Asellidae <i>Asellus</i>				3				3	0,01	1	14,28
Total		5	6	11	3		3	28			
EPHEMEROPTERES											
Baetidae <i>Baetis</i>	1294	640	590	804	1048	1308	1008	6692	41,34	7	100
Caenidae <i>Caenis</i>					3	9	9	21	0,12	4	57,14
Leptophlebiidae <i>Habrophlebia</i>	2	8	5					15	0,09	3	
Heptageniidae <i>Ecdyonurus</i>			4					4	0,02	1	14,28
Total	1296	648	599	804	1051	1317	1017	6732			
PLECOPTERES											
Nemouridae											
<i>Amphinemura</i>	3		3					6	0,03	2	28,57
<i>Protonemura</i>	35	10	190					235	1,45	3	
Leuctridae <i>Leuctra</i>			21					21	0,12	1	14,28
Capniidae											
<i>Capnia</i>	6	10	3					19	0,11	3	42,85
<i>Capniopsis</i>			3					3	0,01	1	14,28
Perlodidae <i>Perlodes</i>			5					5	0,03	1	14,28
Perlidae <i>Perla</i>	4	4	8					16	0,09	3	
Total	48	24	233					305			
HETEROPTERES											
Mesoveliidae <i>Mesovelia</i>	3	3						6	0,03	2	28,57
Veliidae <i>Velia</i>	3	3	50	3				59	0,36	4	57,14
Gerridae <i>Gerris</i>	3		15					18	0,11	2	28,57
Total	9	6	65	3				83			
COLEOPTERES											
Dytiscidae <i>Dytiscus</i>	3					9	3	15	0,09	3	42,85
Gyrinidae <i>Gyrinus</i>							3	3	0,01	1	14,28
Elmidae											
<i>Elmis</i>	7		6					13	0,08	2	28,57
<i>Potamophilus</i>			3					3	0,01	1	14,28

Groupes faunistiques	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1	Ab	AbR %	Occ	Occr %
COLEOPTERES											
<i>Ouliminius</i>	3		5					8	0,04	2	28,57
Hydraenidae											
<i>Hydraena</i>	6		11	7	9	72	4	109	0,67	6	85,71
<i>Ochthebius</i>	22		25		9			56	0,34	3	42,85
Helodidae <i>Hydrocyphon</i>			5					5	0,3	1	14,28
Staphylinidae <i>Staphylinus</i>	3				6			9	0,05	2	28,57
Hydrophilidae											
<i>Coelostoma</i>					6			6	0,03	1	14,28
<i>Hydrophilus</i>	3				3			6	0,03	2	28,57
Chrysomelidae <i>Macrolea</i>			6		6			12	0,07	2	28,57
Total	47		61	7	39	81	10	245			
Trichoptères											
Hydropsychidae <i>Hydropsyche</i>	3	7	26			16	9	61	0,37	5	71,42
Hydroptilidae											
<i>Hydroptila</i>	17	5	3				3	28	0,17	4	57,14
<i>Allotrichia</i>					4			4	0,02	1	14,28
Rhyacophilidae <i>Rhyacophila</i>		3	3		5	9	3	23	0,14	5	71,42
Philopotamidae <i>Wormaldia</i>			3					3	0,01	1	14,28
Psychomyiidae <i>Tinodes</i>	3							3	0,01	1	14,28
Brachycentridae <i>Micrasema</i>	3		3					6	0,03	2	28,57
Total	26	15	38		9	25	15	128			
DIPTERES											
Simuliidae	145	39	10	398	130	3423	960	5105	31,54	7	100
Chironomidae	338	84	80	512	306	600	250	2170	13,4	7	100
Psychodidae				9	12	9	4	34	0,21	4	57,14
Stratiomyidae	10		9					19	0,11	2	28,57
Limoniidae	11	13	19	24	9			76	0,46	5	71,42
Tipulidae	15	6	5	10		9		45	0,27	5	71,42
Dixidae			5					5	0,03	1	14,28
Blephariceridae					3	6	10	19	0,11	3	42,85
Culicidae				3				3	0,01	1	14,28
Total	519	142	128	956	460	4047	1224	7476			
ARACHNIDES			3					3	0,01	1	14,28
HYDRACARIENS	4	13	11	8	4	495	116	651	4,02	7	100
PLANNIPENNES			3					3	0,01	1	14,28
HYMENOPTERES	13		6	8	10	6		43	0,26	5	71,42
COLLEMBOLS	3			3	3			9	0,05	2	28,57
Totaux	1975	856	1159	1819	1622	6040	2713	16184			
Occ (Richesse taxonomique)	31	17	39	18	21	16	16				

Ab : Abondance, AbR % : Abondance relative, Occ: Occurrence, Occr %: Occurrence relative

1.1. Abondance stationnelle

Un total de 16184 individus répartis en 47 familles et 54 genres a été récolté dans l'ensemble des stations étudiées.

L'abondance stationnelle varie entre un minimum de 856 individus pour la station SA1 (soit 5,28%) et un maximum de 6040 individus pour la station SA5 (soit 37,32%).

La station SA5 enregistre l'abondance benthique la plus élevée 6040 individus dont 3523 individus (soit 56,77%) sont représentés par des Diptères Simuliidae et 1308 individus (21,56%) par des *Baetis*.

La station SA1 située à 1170 m d'altitude ne totalise que 856 individus représentés essentiellement par les *Baetis* avec 640 individus (soit 74,76% du total stationnel).

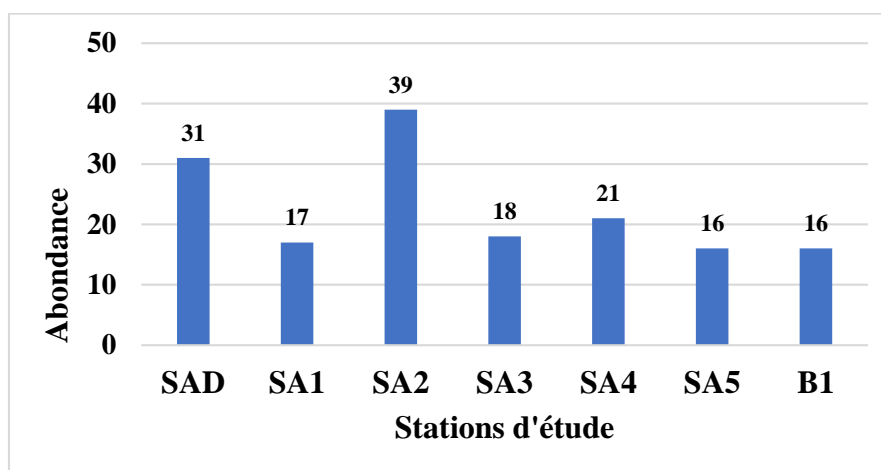


Figure 6 : Abondance de la faune globale dans les stations d'étude.

1.2. Richesse taxonomique (S)

La lecture de la figure montre que la richesse taxonomique fluctue entre 16 et 38 taxons.

Les stations étudiées peuvent être scindées entre deux secteurs du point de vue taxonomique (figure 7) :

Les stations les plus alticoles (1140 et 1200m d'altitude) présentent une richesse taxonomique moyenne de 28 taxons essentiellement rhéophile et polluo-sensibles (Plécoptères, Trichoptères, Hétéroptères et Coléoptères).

Les stations de moyenne montagne, de piémonts et de basse altitude (SA3, SA4, SA5 et B1) sont moins diversifiées. La richesse taxonomique est comprise entre 16 et 21 taxons. Avec l'augmentation des perturbations anthropiques, l'abondance des taxons les plus sensibles (Plécoptères, Trichoptères) diminue alors que celle des taxons tolérants à la pollution augmente (Diptères, Oligochètes et Hydracariens).

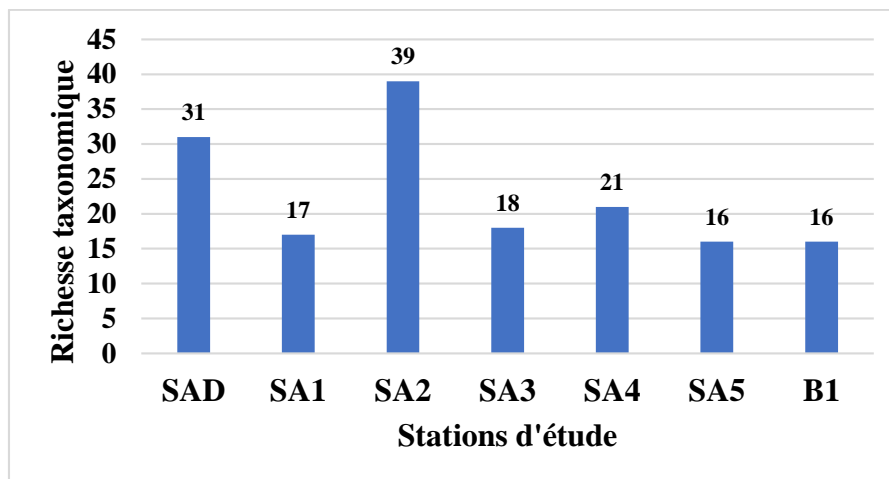


Figure 7 : Richesse taxonomique dans les stations d'étude.

1.3. Abondance et occurrence des taxons

Les figures 8 et 9 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 Beatidea, Simuliidae, Chironomidae et les Hydracariens avec Occ R = 100% et nous avons les Naididae, Hydraenidae, Limoniidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Hyménoptères, Ancyliidae, Rhyacophilidae, Tubificidae, Dixidae, Veliidae, Psychodidae, Caenidae et Gammaridae 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, Capniidae, Blephariceridae, Leptophlebiidae, Perlidae, Dytiscidae, Hydrophilidae, Hydroptilidae, Elmidae, Gerridae, Stratiomyidae, Chrysomelidae, Staphylinidae, Collembolés, Planorbidae, Grapsidae, Mesoveliidae et les Brachycentridae.

Taxons rares ou taxons 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 Helodidae, les Leuctridae, les Perlodidae, les Heptageniidae, les Asellidae, les Gyrinidae, les Philopotamidae, les Psychomyiidae, les Culicidae, les Arachnides et les Plannipennes.

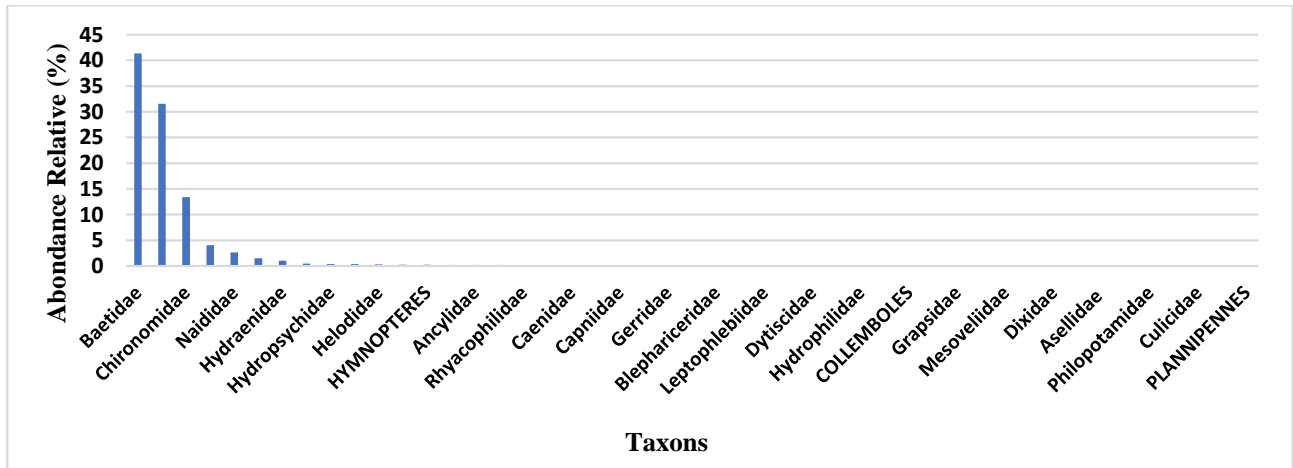


Figure 8 : Abondance relative (%) des taxons récoltés.

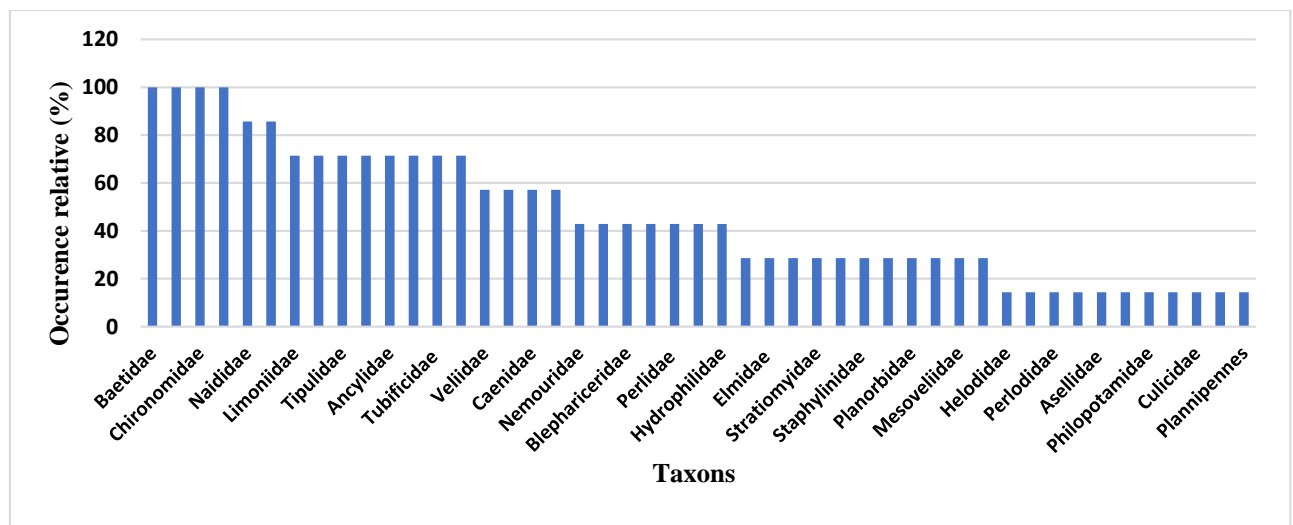


Figure 9 : Occurrence relative (%) des taxons récoltés.

2. Analyses quantitative et qualitative de la faune benthique

2.1. Les Ephéméroptères

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

Dans ce travail, les Ephéméroptères sont représentés par 6732 individus (soit 41,53 % de la faune totale) répartis en quatre familles et quatre genres : Baetidae (*Baetis*), Caenidae (*Caenis*),

Leptophlebiidae (*Habrophlebia*) et Heptageniidae (*Ecdyonurus*) (figure 10).

Les Baetidae (*Baetis*) totalisent 6692 individus soit 99,40 % des Ephéméroptères récoltés. Ils sont à 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.

Les Caenidae (*Caenis*) sont représentés par 21 individus soit 0,31% des Ephéméroptères. Cette famille est présente dans les stations de piémonts et de basse altitude.

Les Leptophlebiidae (*Habrophlebia*) sont peu abondants avec 15 individus soit 0,22% des Ephéméroptères.

Les Heptageniidae (*Ecdyonurus*) comptent 4 individus récoltés uniquement dans la station SA2 (1140m 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.

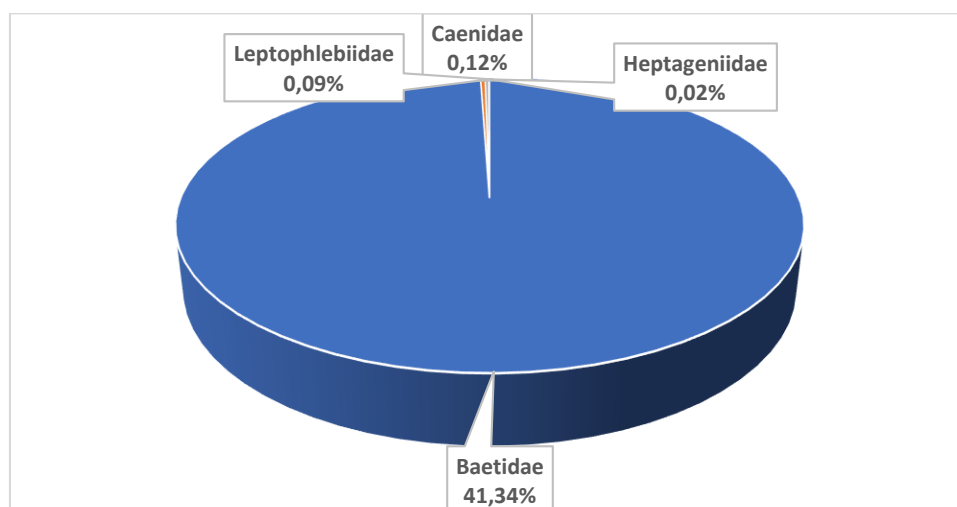


Figure 10 : Abondance des Ephéméroptères récoltés.

2.2. 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 les plus abondants avec 7476 individus, soit 46,19% de la faune totale. Ils appartiennent à 9 familles (Blephariceridae, Chironomidae, Culicidae, Dixidae,

Limoniidae, Psychodidae, Simuliidae, Stratiomyidae et Tipulidae) et sont représentés dans la plupart des stations avec des effectifs importants mais leur répartition reste hétérogène (figure 11).

Les familles de Chironomidae et Simuliidae sont les mieux représentées avec 7274 individus, environ 97,31% 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 5105 individus soit 68,28% des Diptères et 31,54% de la faune totale.

La famille des Chironomidae occupe la seconde place avec 2170 individus, soit 29,02% des Diptères récoltés et 13,40% de la faune totale.

Les autres familles ne constituent que 1,24% de la faune totale environ 201 individus : Simuliidae 5105 individus (68,28%); Chironomidae 2170 individus (29,02%); Limoniidae 76 individus (1,01%); Tipuliidae 45 individus (0,60%); Psychodidae 34 individus (0,45%); Blephariceridae 19 individus (0,25%); Stratiomyidae 19 individus (0,25%); Dixidae 5 individus (0,06%) et Culcidae 3 individus (0,04%).

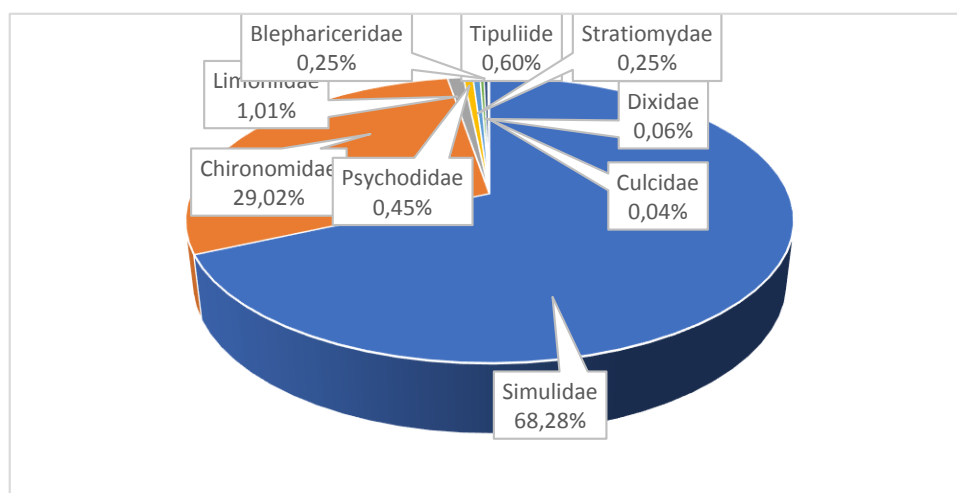


Figure 11 : Abondance des Diptères récoltés.

2.3. Les Plécoptères

Les Plécoptères, organismes polluo-sensibles, 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 305 individus répartis en cinq familles et sept genres (figure 12). Ils ne sont présents que dans le cours d'eau supérieur du réseau hydrographique étudié (SAD, SA1 et SA2), caractérisé par un substrat grossier, une température de l'eau peu élevée avec une végétation bordante assez dense, habitat préféré des Plécoptères (Lounaci, 2005).

La famille des Nemouridae est la plus abondante notamment le genre *Protonemura* qui totalise 235 individus. Elle est suivie par la famille des Capniidae avec 22 individus représenté par deux genres (*Capnia* : 19 individus et *Capnopsis* : 3 individus), puis par la famille des Leuctridae *Leuctra* : 21 individus recensés seulement à SA2 (1140m).

Les Nemouridae, les Capniidae et les Perlidae sont présents dans l'ensemble des stations de cours supérieur (entre 1200 et 1140 m d'altitude), contrairement aux Leuctridae et Perlodidae qui sont localisés au niveau de la station SA2.

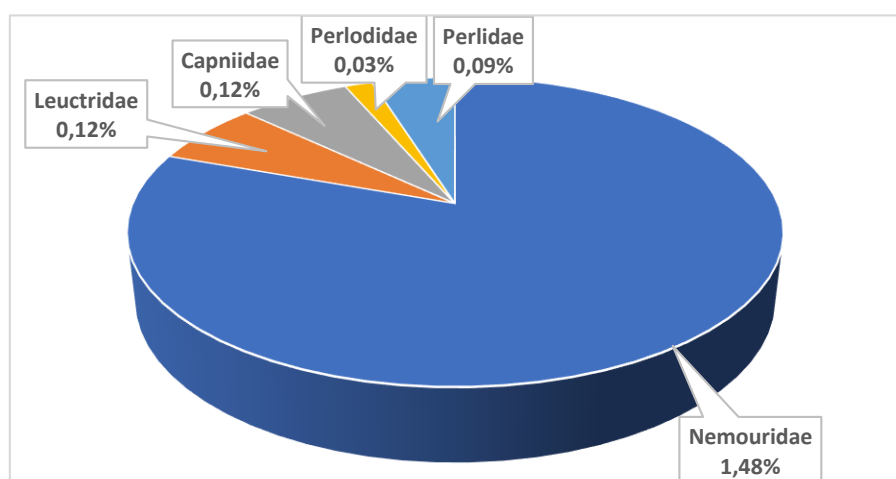


Figure 12 : Abondance des Plécoptères récoltés.

2.4. 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 étudié, les Coléoptères comptent 245 individus, soit 1,51% de la faune globale collectée. Ils constituent l'ordre le plus diversifié avec 8 familles réparties en 12 genres (figure 13).

La famille des Hydraenidae est la plus abondante avec 165 individus, soit 67,34% des Coléoptères. Elle est représentée par 2 genres : *Hydraena* (109 individus soit 44,48%) et *Ochthebius* (56 individus soit 22,85%). Le premier est à large valence écologique.

La famille des Elmidae, avec 24 individus soit 9,79% des Coléoptères récoltés, est représentée par 3 genres : *Elmis* (13 individus soit 5,30%), *Ouliminius* (8 individus soit 3,26%) et *Potamophilus* (3 individus soit 1,22%). Les Elmidae et les Helodidae dans nos récoltes, ne descendent pas en dessous de 1140 m d'altitude. Ils semblent sténothermes d'eau froide.

Les Gyrinidae (*Gyrinus*) comptent 3 individus notés en aval, ce taxon est thermophile.

Les Dytiscidae (*Dytiscus*) présentent une répartition longitudinale fragmentée

Les Staphylinidae (*Staphylinus*), Hydrophilidae et Chrysomelidae ne descendent pas en dessous de 580 m d'altitude.

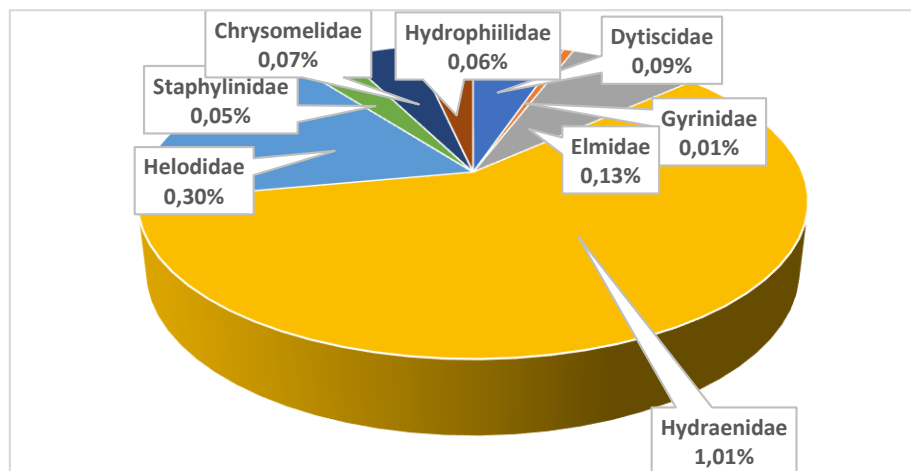


Figure 13 : Abondance des Coléoptères récoltés

2.5. Les Trichoptères

Selon Gretia (2009), les Trichoptères sont considérés comme de bons indicateurs de la qualité des cours d'eau. Ils appartiennent à un ordre d'insecte dont les larves et les nymphes sont aquatiques.

Les Trichoptères récoltés totalisent 128 individus (soit 0,79% de la faune totale) et se répartissent en 6 familles et 7 genres (figure 14).

La famille des Hydropsychidae. Elle est représentée par l'unique genre *Hydropsyche*. Il est le plus abondant avec 61 individus, soit 47,65% des Trichoptères. 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).

La famille des Hydroptilidae compte 32 individus soit 25% des Trichoptères récoltés. 2 genres sont récoltés est représentés par genres compte : *Allotrichia* avec 4 individus (3,12%) et *Hydroptila* avec 28 individus (21,87%).

Les Rhyacophilidae (*Rhyacophila*) : totalisent 23 individus (17,96%) et sont à large valence écologique.

Les Philopotamidae (*Wormaldia*) comptent 3 individus (soit 2,3), les Psychomyiidae (*Tinodes*) avec 3 individus (soit 2,34) et les Brachycentridae (*Micrasema*) avec 6 individus (soit 4,68%), sont faiblement répartis mais cantonnés seulement dans le cours supérieur (ne descendent pas en dessous de 1140 m d'altitude). Ces taxons sont rhéophiles et sténothermes d'eau froide.

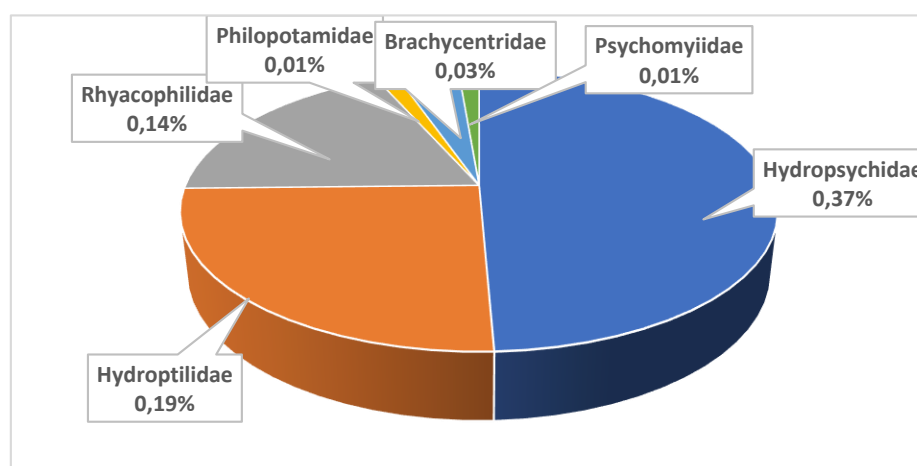


Figure 14 : Abondance des Trichoptères récoltés

2.6. Les Hétéroptères

Les Hétéroptères aquatiques sont avant tout des insectes d'eaux stagnantes. En eaux courantes, ils colonisent les zones lenticues ou les biotopes abrités du courant (Dethier, 1985- 1986).

Dans le cadre de ce travail, les Hétéroptères sont faiblement représentés. Ils comptent seulement 83 individus soit 0,51% du peuplement benthique total. Ils appartiennent à 3 familles et 3 genres (figure 15) et sont récoltés dans le cours supérieur. La station SA2 dénote un total de 65 individus représentés par les Veliidae (*Velia*) et Gerridae (*Gerris*).

Les Mesoveliidae (*Mesovelia*), sont représentés avec 6 individus soit 7,22% de la faune des Hétéroptères.

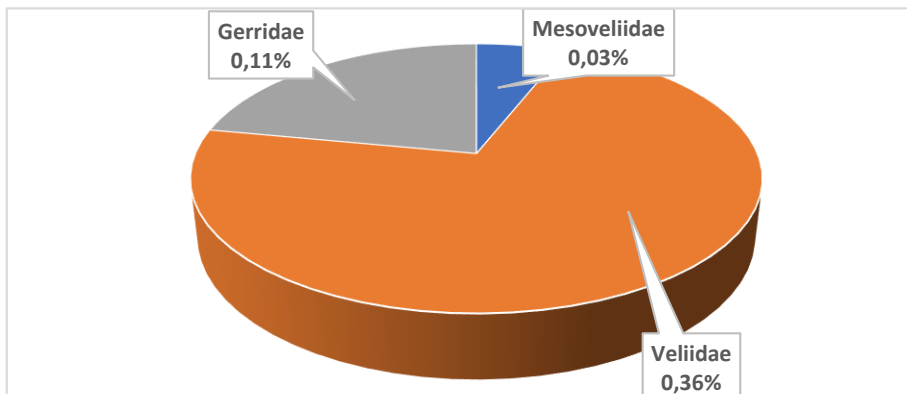


Figure 15 : Abondance des Hétéroptères récoltés

2.7. Les Oligochètes

Selon Echaubard & Neveu (1975), les Oligochètes sont abondants dans les eaux riches en matière organique.

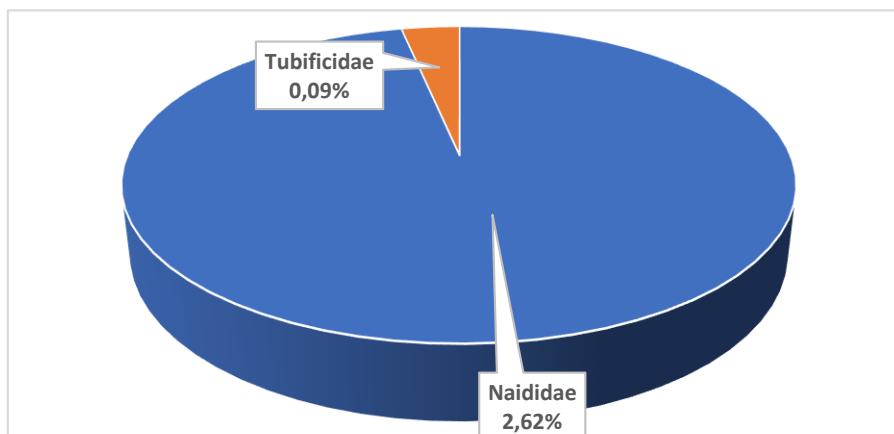


Figure 16 : Abondance des Oligochètes récoltés

Dans les cours d'eau étudiés, les vers sont peu abondants, ils comptent 440 individus, soit 2,71% de la faune totale (figure 16). Ils sont représentés par 2 familles : Naididae avec 425 individus, et Tubificidae avec 15 individus.

2.8. Les Crustacés

Ils sont représentés seulement par 28 individus, soit 0,17% de la faune totale, ils appartiennent à 3 familles : Gammaridae *Gammarus* (avec 19 individus soit 67,85%), Grapsidae (avec 6 individus, soit 21,42%) et Asellidae *Asellus* (avec 3 individus, soit 10,71%) (figure 17).

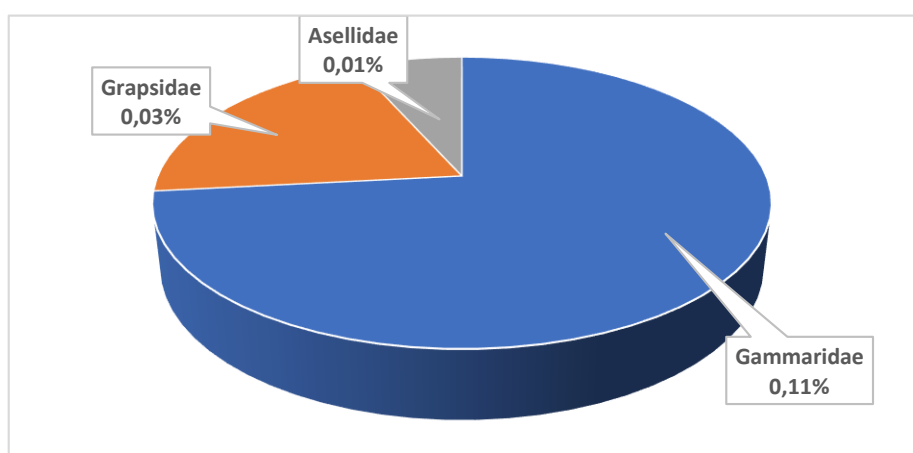


Figure 17 : Abondance des Crustacés récoltés

2.9. Les Mollusques

Constituent un des grands embranchements du règne animal, ils présentent des degrés variables de susceptibilités aux changements des conditions du milieu (Legendr et *al.*, 1984).

Dans les cours d'eau étudiés, 41 individus ont été récoltés soit 0,25% de toute la faune. Ils appartiennent à 2 familles : Ancylidae *Ancylus* avec 35 individus, soit 85,36% de tous les mollusques, et Planorbidae *Planorbis* avec 6 individus seulement, soit 14,63% de cette famille.

2.10. Les Hydracariens

Ils sont abondants avec 651 individus, soit 4,02% de la faune totale. Ils sont observés dans toutes les stations avec un maximum enregistré au niveau de la station SA5 avec 495 individus.

Les Arachnides, Les Planipennes, les Hyménoptères et les Collembolés sont très faiblement présentés dans nos récoltes benthiques.

3. Etude de la structure du peuplement benthique

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

Les variations observées dans la structure des peuplements dépendent des caractéristiques environnementales (Fruget & Dessaix, 2002).

Parmi les nombreux indices de diversité proposés, nous avons appliqué l'indice de Margalef consigné dans le tableau 9.

Tableau 9 : Les variations de l'indice de Margalef dans les stations d'étude.

	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
Altitudes	1200	1170	1140	870	580	460	200
Margalef	3,95	2,37	5,24	2,26	2,7	1,71	1,89
Moyenne /secteur	3,85			2,48		1,8	

La lecture du tableau met en évidence la variation de l'indice de Margalef de l'amont vers l'aval entre un maximum de 5,24 Bits enregistré à 1140 m d'altitude (torrent de montagne) et un minimum noté à la station SA5 à 460m d'altitude (piémont). Ces stations présentent respectivement la richesse taxonomique la plus élevée (39 taxons) et la plus faible (16 taxons).

De manière globale, en scindant les stations étudiées en tronçons, nous constatons que le cour supérieur (ruisseaux de source et torrent de montagne) ; secteur des station SAD, SA1 et SA2 dénote un indice moyen de Margalef le plus élevé avec 3,95 Bits, ce qui témoigne de la grande capacité d'accueil du milieu suite aux conditions favorables qui permettent l'installation d'une faune benthique diversifiée et dont la majorité est polluo-sensible, sténotherme d'eau froide et rhéophile.

Dans le cours moyen (secteur des stations SA3 et SA4), les perturbations anthropiques diverses pesées sur ces milieux donnent l'indice de Margalef moyen avec 2,48 Bits. La distribution de la faune benthique est essentiellement favorisée par l'hétérogénéité du substrat malgré la disparition des taxons les plus polluo-sensibles (Plécoptères).

En aval, les stations de piémont et de basse altitude (SA5 et B1), l'indice de Margalef est de 1,80 Bits. Les perturbations intenses (rejets domestiques, réseaux d'assainissement, pompage de l'eau pour irrigation ainsi que les élévations de température de l'eau) ont contribué à la disparition d'un

nombre élevé de taxons sensibles à la pollution. En effet, ne subsistent dans ces stations que les taxons tolérants la présence de la matière organique et thermophiles (Naididae, Tubificidae, *Baetis*, Simuliidae, Hydropsychidae...).

4. Evaluation de la qualité hydrobiologique de l'eau (IBGN)

Il est souvent nécessaire de connaître la qualité non pas de l'eau prise isolément, mais du milieu aquatique dans son ensemble (Sekhi, 2010).

La notion d'intégrité biotique ou de santé des écosystèmes nécessite de prendre en compte simultanément les paramètres chimiques, physiques, bactériologique et biologique.

Contrairement aux analyses chimiques, on peut détecter à l'aide de bio-indicateurs de perturbations qui ont lieu même si elles ne sont plus présentes au moment de l'échantillonnage (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 sont obtenus en intégrant deux facteurs déterminants :

- la diversité faunistique traduisant la capacité d'accueil du milieu et les potentialités de la faune à occuper les habitats présents ;
- la nature du groupe indicateur le plus élevé, reflétant plus la qualité de l'eau.

Ainsi, l'appréciation globale de la qualité hydrobiologique est estimée à partir de l'examen des macroinvertébrés benthiques.

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.

Le tableau 10 résume les résultats d'analyses hydrobiologique des différentes stations étudiées : diversité taxonomique, groupe indicateur, valeur d'IBGN et la classe de qualité de l'eau.

Tableau 10 : Appréciation globale de la qualité de l'eau des stations d'étude.

Stations	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1
Diversité	31	17	38	18	21	16	16
Groupe indicateur	9	8	9	2	5	4	5
Valeur de l'IBGN	17	13	19	13	11	8	9
Classe de qualité	IA	IB	IA	3	2	3	2
Qualité hydrobiologique	Excellente	Bonne	Excellente	Médiocre	Moyenne	Médiocre	Moyenne
Couleur correspondante	Bleu	Vert	Bleu	Orange	Jaune	Orange	Jaune
Pollution	Absente	Modérée	Absente	Importante	Nette	Importante	Nette

Les stations de l'amont (SAD, SA1 et SA2), présentent une qualité hydrobiologique bonne à excellente avec un IBGN variant entre 13 et 19, classe de qualité 1B et 1A, la diversité taxonomique est élevée comprise entre 17 et 30 taxa pour SA1, un groupe indicateur élevé 8 et 9, indiquant une qualité de l'eau et du milieu très correcte : absence de pollution (figure 18).

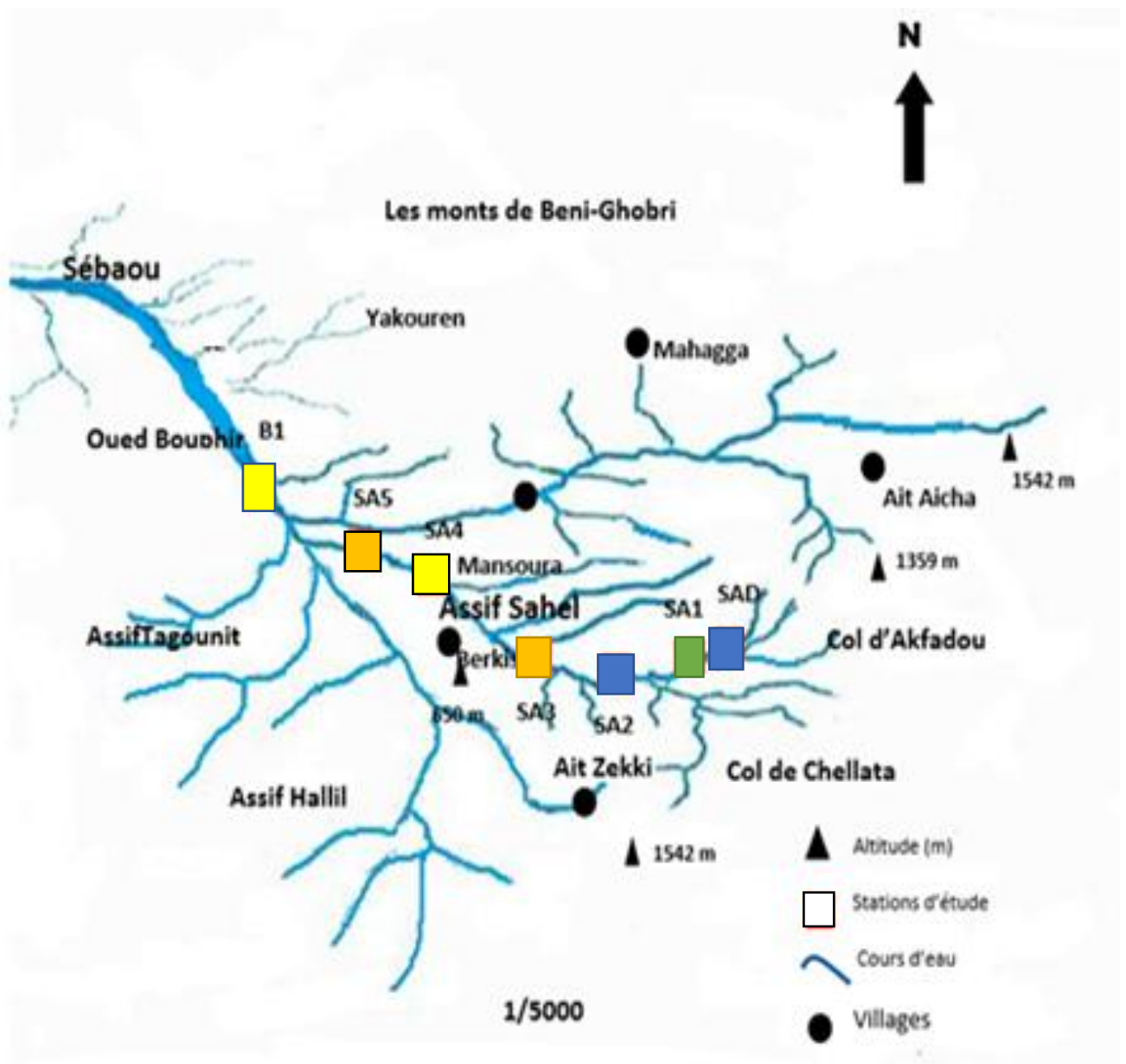
Le peuplement est très diversifié, avec des familles de différents ordres caractérisant l'ensemble des milieux lotiques et lentiques, et occupant de façon optimale les micro-habitats. La majorité des familles qui se présentent dans ces stations sont sensibles à la pollution ce qui confirme la qualité hydrobiologique très bonne du milieu. Les taxons récoltés sont représentés pour la plupart par les Plécoptère, les Trichoptères et les Coléoptères.

Pour la station SA4 de moyenne montagne et B1 de basse altitude, on obtient une qualité hydrobiologique moyenne avec une valeur d'IBGN respective de 11 et 9, une classe de qualité de 2 et une diversité taxonomique de 21 et 16.

Une baisse très nette de la diversité taxonomique est observée dans ces stations, les familles présentes sont peu exigeantes, elles appartiennent à des groupes plus ou moins polluoresistants.

Les stations de moyenne montagne SA3 et de piémont SA5, enregistrent une qualité hydrobiologique médiocre avec un IBGN respectif de 13 et 8, une classe de qualité 3 pour les 2 stations et une diversité taxonomique qui varie de 16 et de 18 taxa et un groupe indicateur entre 2 et 4 ce qui indique une contamination importante du milieu et de l'eau par la pollution. Ces stations sont exemptes de Plécoptères, taxons les plus polluo-sensibles, de Coléoptères (sauf *Hydraena*), Trichoptères (sauf *Hydropsyche* et *Rhyacophila*).

En effet, on constate ici une baisse de la diversité taxonomique liée à l'uniformisation du milieu, et la disparition conjointe des taxons les plus polluo-sensibles indiquant une dégradation de la qualité de l'eau qualifiée de médiocre.



■ Excellente ■ Bonne ■ Moyenne ■ Médiocre

Figure 18 : La qualité hydrobiologique des stations d'étude.

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

Les caractéristiques physiques et chimiques des cours d'eau, notamment la concentration en nutriments, influent sur la productivité et la structure des communautés aquatiques et en particuliers sur celle des macroinvertébrés benthiques (Newbold et *al.*, 1995). De ce fait, il est important de connaître la composition physico-chimique de l'eau des cours d'eau étudiés.

En annexe 9 nous avons rapporté les résultats des différents paramètres physico-chimiques étudiés.

5.1. Paramètre organoleptique

5.1.1. La couleur

L'eau des stations d'altitude (SAD, SA1 et SA2) et la station de moyenne montagne (SA4), présentent une couleur (Hazen) dont la norme OMS est <15 , contrairement aux stations SA3, SA5 et B1 qui se caractérisent par la présence dans l'eau des particules colloïdales (figure 19).

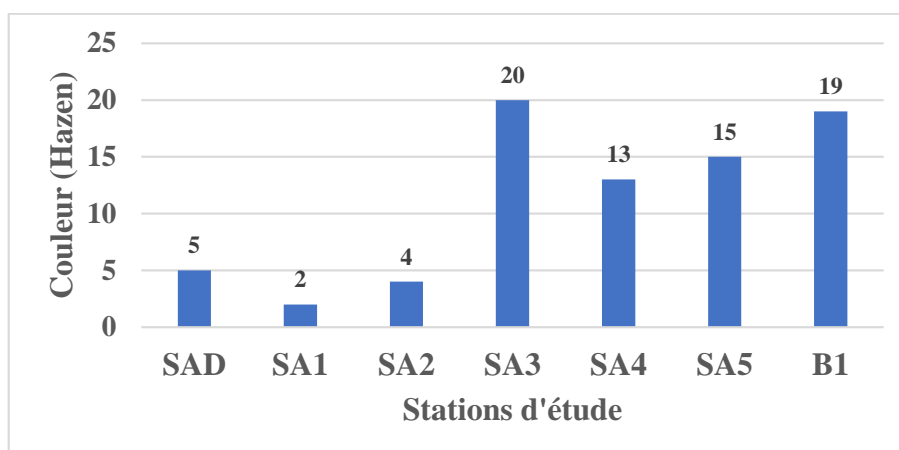


Figure 19 : Les variations de la couleur des stations d'étude

5.2. Paramètres physico-chimiques

5.2.1. La turbidité

Nous constatons que les valeurs de la turbidité de toutes les stations sont en dessous de la norme qui est <5 NTU, ce qui montre une eau très claire pour les 7 stations (figure 20).

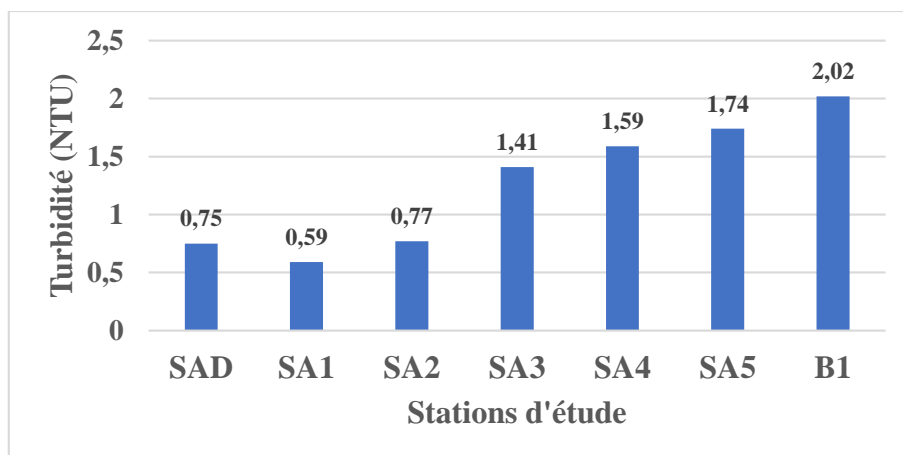


Figure 20 : Les variations de la turbidité dans les stations d'étude

Malgré que les stations de basse altitude soient polluées mais la vitesse élevée ainsi que le débit du courant empêchent les MES et les microorganismes de s'accumuler dans les deux cours d'eau.

5.2.2. Le pH

La valeur du pH de l'eau dépend de la structure géologique du bassin versant traverser. Dans le cas de nos stations, les valeurs du pH varient entre 8,07 et 8,45 (figure 21), il apparait que l'eau de ces cours d'eau est basique, cela est dû à la nature calcique de la région d'étude.

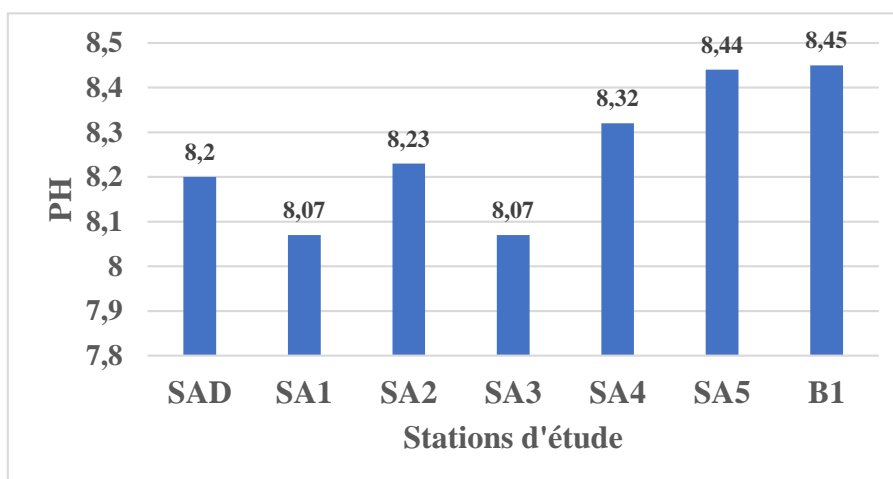


Figure 21 : Les valeurs de pH des stations d'étude

Ces valeurs indiquent une eau de bonne qualité selon la norme ANRH (Annexe 10) de classification des eaux superficielles (6,5 à 8,5).

5.2.3. La conductivité électrique

La conductivité permet d'apprécier la quantité des sels minéraux dissous dans l'eau. Dans ce présent travail, la conductivité de toutes les stations a été mesurée à une température <20 (norme de l'OMS), on peut classer les valeurs obtenues en 2 intervalles (figure 22) :

$200 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{cond} < 333 \mu\text{S}/\text{cm}$: indique une minéralisation moyenne qu'on remarque dans la station de l'amont SA1 et celle de basse altitude SA4.

$333 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{cond} < 666 \mu\text{S}/\text{cm}$: montre une minéralisation moyenne accentuée, représentée dans les stations SAD, SA2, SA3, SA5, et B1.

Les valeurs de la conductivité de nos cours d'eau sont en dessous de la norme fixée par l'OMS (<2100), mais en les comparant aux normes de l'ANRH, les stations SA5 et B1 (conductivité respectée 432 et 529 $\mu\text{S}/\text{cm}$) présentent une qualité de l'eau moyenne.

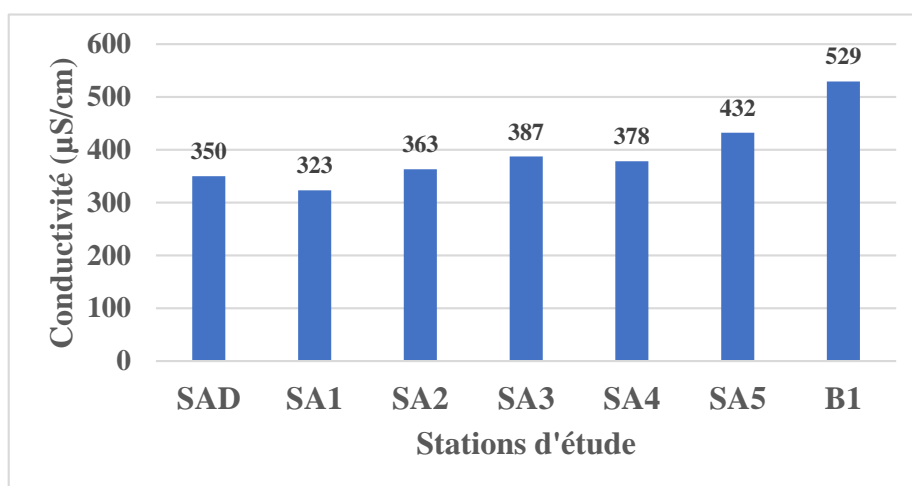


Figure 22 : Les valeurs de la conductivité électrique des stations étudiées

5.2.4. L'O₂ dessous

L'oxygène dissous (O₂), joue un rôle important dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration.

Pour l'ensemble des prélèvements, l'oxygène dissous varie de 8,63 à 9,29 mg/l, ces résultats montrent que les stations étudiées sont très bien oxygénées car elles sont supérieures aux normes fixées par l'OMS qui est $< 6,5$ mg/l (figure 23).

En comparant nos résultats à la grille de classification des eaux superficielles utilisées par l'ANRH, (annexe 10) toutes nos stations d'étude présentent une eau de bonne qualité car l'O₂ dissous est supérieur à 7.

Ce paramètre favorise la croissance des microorganismes qui dégradent la matière organique qui consomment l'oxygène, ce qui témoigne de l'effet auto épurateur des cours d'eau.

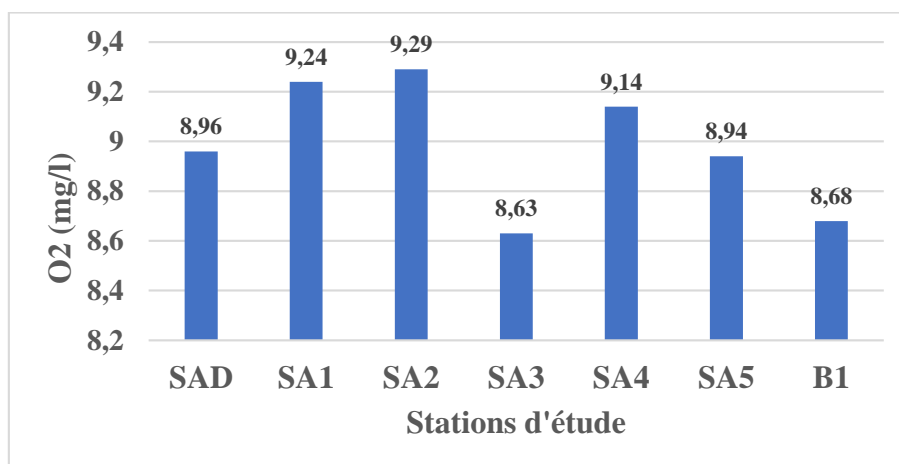


Figure 23 : Les valeurs d'O₂ dissous dans les stations d'étude.

5.2.5. Les résidus secs

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension. Les valeurs des R.S dans les stations d'étude sont inférieures à la norme fixée par l'OMS (<1500mg/l), ceci montre que la qualité de l'eau des différentes stations est bonne (figure 24).

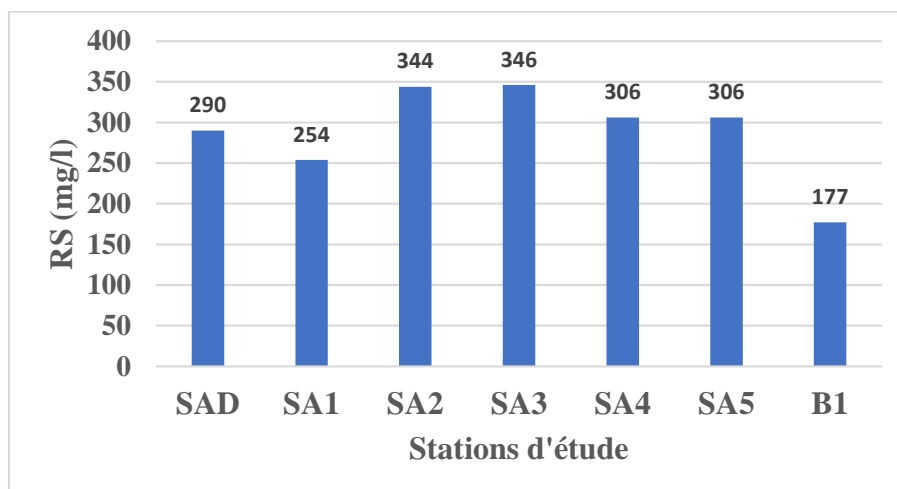


Figure 24 : Les valeurs des résidus secs dans les stations d'étude.

5.2.6. Matières en suspensions

Les concentrations de MES dans l'assif Sahel varie entre 0 et 6 mg/l, l'absence de MES au niveau de la source (SAD) montre une qualité excellente de l'eau.

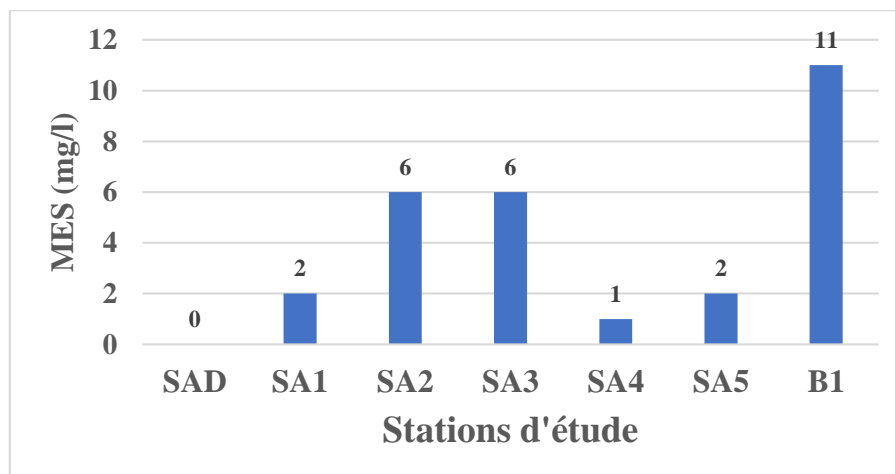


Figure 25 : Les variations de MES dans les stations d'études

La station B1 enregistre 11 mg/l de concentrations de matière en suspension ce qui est à relier directement aux rejets urbains assez important au niveau des rives (figure 25).

5.3. Paramètres de pollution

5.3.1. L'Ammonium, les Nitrites et les Nitrates

Les valeurs 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 « oxydation de l'Ammonium en Nitrites, puis de Nitrites en Nitrates »

Dans le cours supérieur (SAD, SA1 et SA2), l'azote ne se présente que sous forme de nitrate (figure 28) en faible quantité, par conséquent une eau de bonne qualité (ANRH). En revanche plus on descend (moyenne montagne, piémont et basse altitude), les perturbations anthropiques sont plus importantes engendrant des teneurs plus ou moins élevés de Nitrites (figure 27) et de Nitrates témoignant de la dégradation continue des déchets riches en azote (cas des stations SA3, SA4, SA5 et B1).

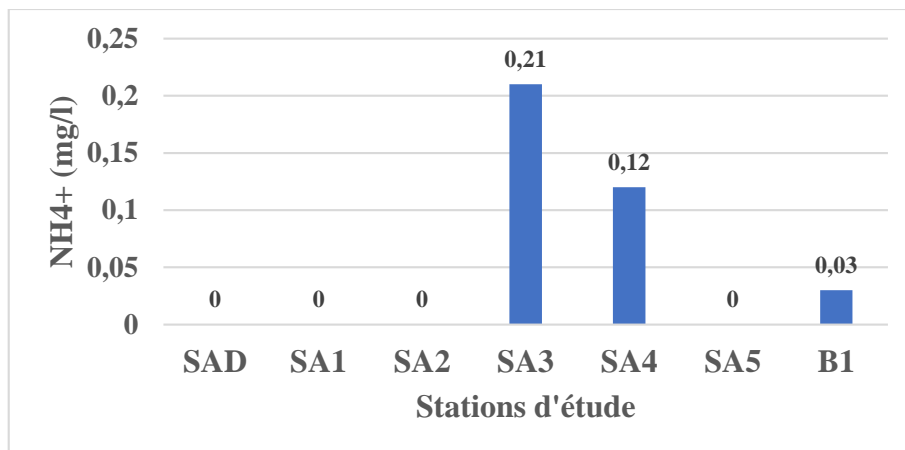


Figure 26 : Les concentrations de l'ammonium des stations d'étude

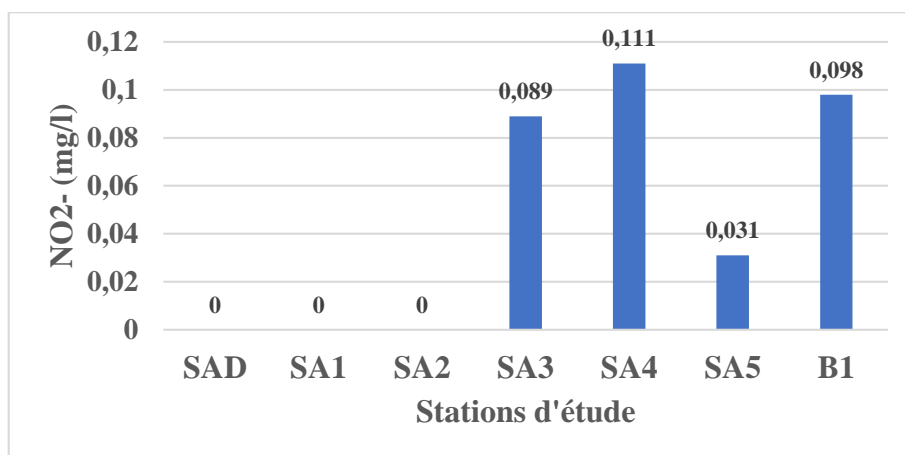


Figure 27 : Les concentrations des Nitrites dans les stations d'étude

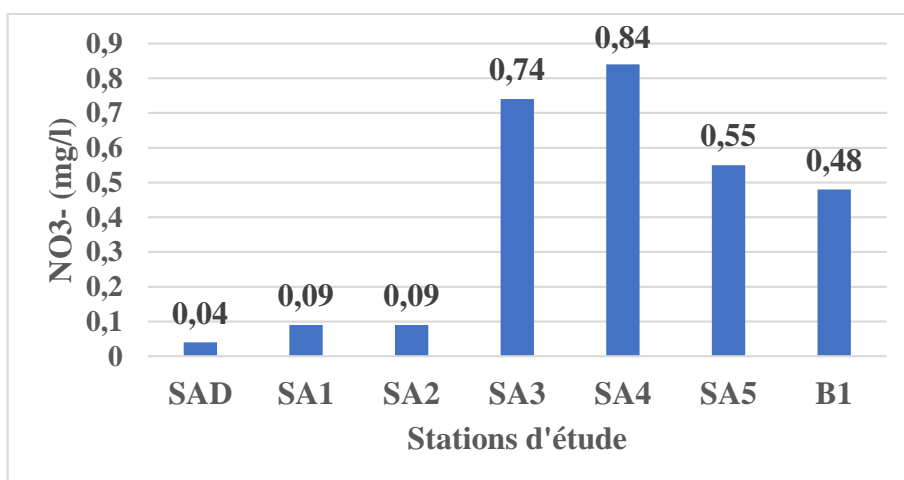


Figure 28 : Les concentrations des Nitrates dans les stations d'étude

5.3.2. Les ortho-phosphates

Les relevés de la qualité des eaux des sites d'étude ont montré que les concentrations des Ortho-phosphates se situent entre 0 mg/l pour la station SA2 et 0,12mg/l pour la station SA4. Ces valeurs restent inférieures à la limite admissible pour le phosphore soit 5 mg/l selon l'OMS.

Le cours supérieur dénote des valeurs des ortho-phosphates très faibles témoignant d'une qualité de l'eau moyenne (norme ANRH).

Dans le cours moyen et inférieur des cours d'eau étudiés, l'eau contient plus d'ortho-phosphates (0,08 et 0,012 mg/l) d'où une qualité de l'eau moyenne (SA5) à polluée (SA3, SA4 et B1) (figure29). Ce qui est due aux actions anthropiques plus intenses (rejets urbains, raseaux d'assainissement et pompage de l'eau pour l'irrigation).

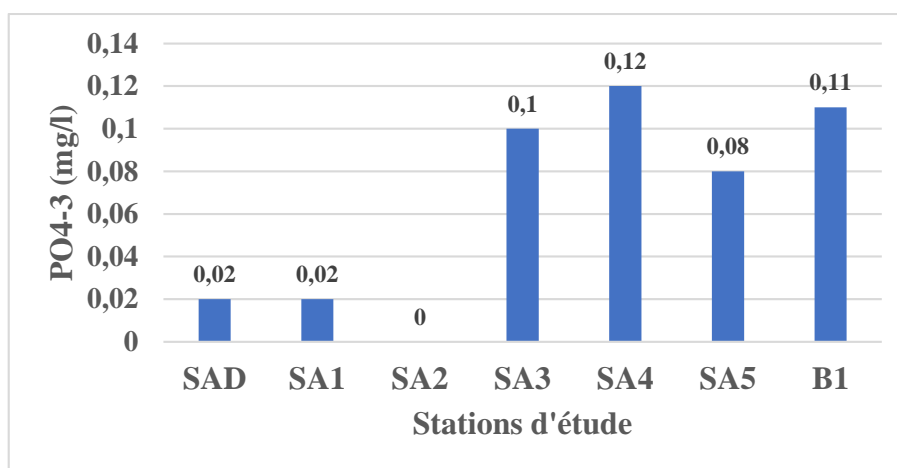


Figure 29 : Les concentrations des ortho-phosphates dans les stations d'étude.

5.3.3. Les Sulfates

D'après les résultats des échantillons analysés (Figure 30), les valeurs enregistrées restent inférieures à la valeur guide (400 mg/l) de la norme de l'OMS relative à la qualité des eaux destinées à la consommation.

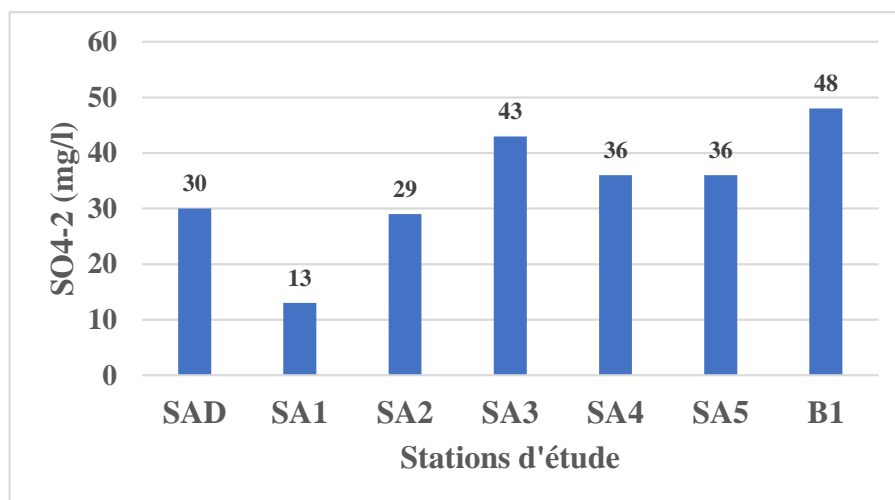


Figure 30 : Les concentrations des sulfates dans les stations d'étude

5.3.4. La matière organique

La matière organique est présente de manière naturelle dans les cours d'eau, et provient de la mort des organismes vivants. Elle est aussi issue des rejets liés aux activités humaine. La dégradation des quantités importantes des matières organiques dans l'eau libère des composants toxiques qui nuisent à la qualité de l'écosystème aquatique.

Dans les cours d'eau étudiés (figure 31), la source SAD est dépourvue de la MO cela montre que la qualité de l'eau est excellente. La pollution organique et urbaine dans les stations de moyenne et basse altitude en particulier SA3, SA5 et B1 est la cause des valeurs élevées de la matière organique comprises entre 2,793 mg/l et 4,994 mg/l.

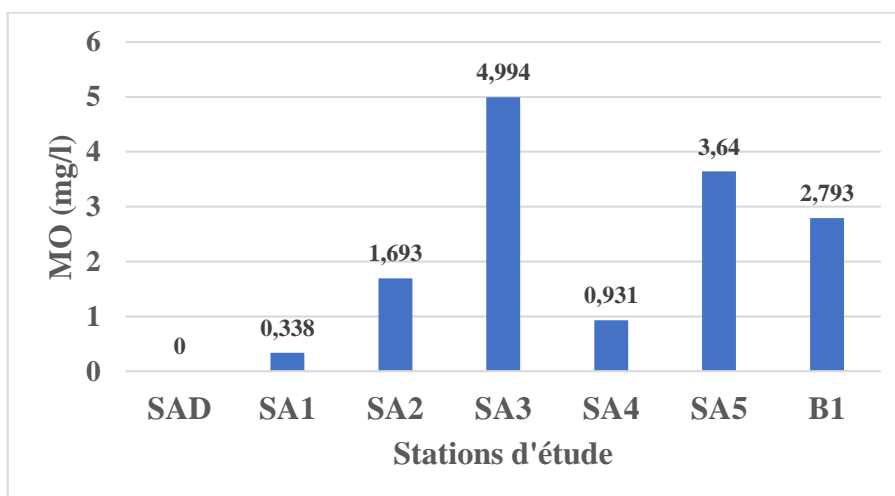


Figure 31 : Les concentrations de la MO dans les stations d'étude

5.4. Paramètres de minéralisation globale

5.4.1. Les Chlorures

Pour l'ensemble des échantillons, les valeurs de Cl^- varient entre 1,26 et 4,96 mg/l (figure 32), Elles sont largement en dessous de la norme (<200 mg/l). Cela montre que les concentrations des chlorures dans nos cours d'eau sont très faibles.

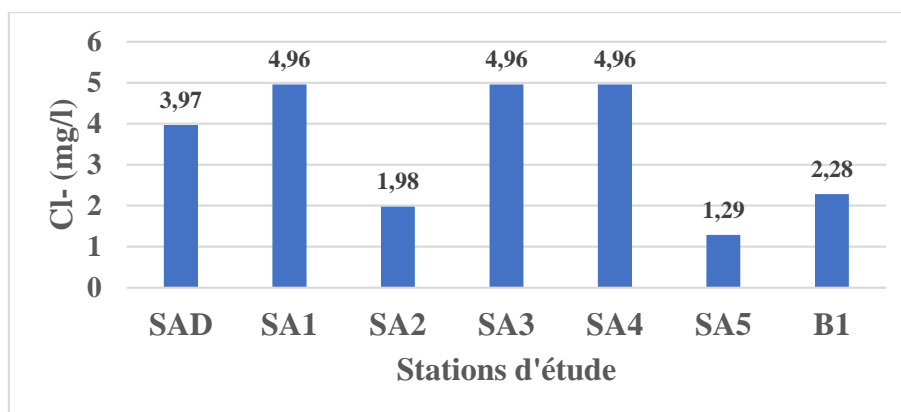


Figure 32 : Les valeurs de Cl^- des stations d'étude

5.4.2. Le Magnésium

Les teneurs en Mg^{2+} d'assif Sahel varient entre -13,12 et 26,73 mg/l, on remarque que la concentration de magnésium dans la station SA1 est nulle (figure 33).

La station la plus concentrée est celle d'oued Boubhir (B1) avec 39,36mg/l, proche de la valeur maximale établie par l'OMS (<50mg/l).

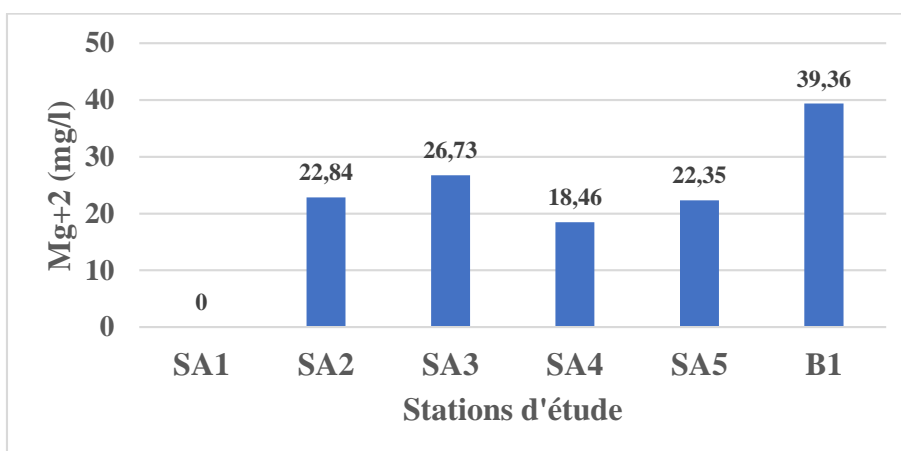


Figure 33 : Les concentrations de magnésium dans les stations d'étude

5.4.3. Dureté TH

Les valeurs de la dureté de nos stations d'étude (figure 34) sont toutes inférieures à 500mg/l d'après la norme OMS.

L'eau est classifiée comme "douce" ou "dure". Les valeurs suivantes s'appliquent à ces termes
50 mg/l : eau très douce.

de 50 - 120 mg/l : eau douce.

de 120 - 240 mg/l : eau dure moyenne.

de 240 - 360 mg/l : eau dure.

> 360 mg/l : eau très dure.

Les résultats de la dureté des stations de assif Sahel varient entre 178 mg/l et 288 mg/l, l'eau est qualifiée de due moyenne, par contre la stations de l'oued Boubhir (s,s) (B1, l'eau est qualifiées de dure (288 mg/l).

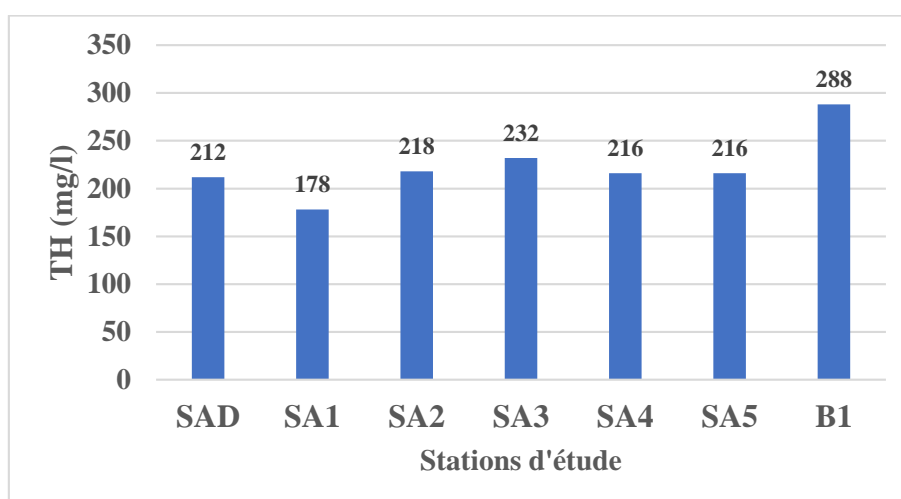


Figure 34 : Les variations de TH dans les stations d'étude

5.5. Paramètres des substances indésirables

5.5.1. L'Aluminium

L'aluminium fait partie des éléments indésirables dans l'eau, son absence signifie que ces eaux présentent une bonne qualité concernant le paramètre aluminium. Dans nos prélèvements, les valeurs d'Al sont nulles (très proche de 0) (figure 35), cela indique que l'eau est de bonne qualité.

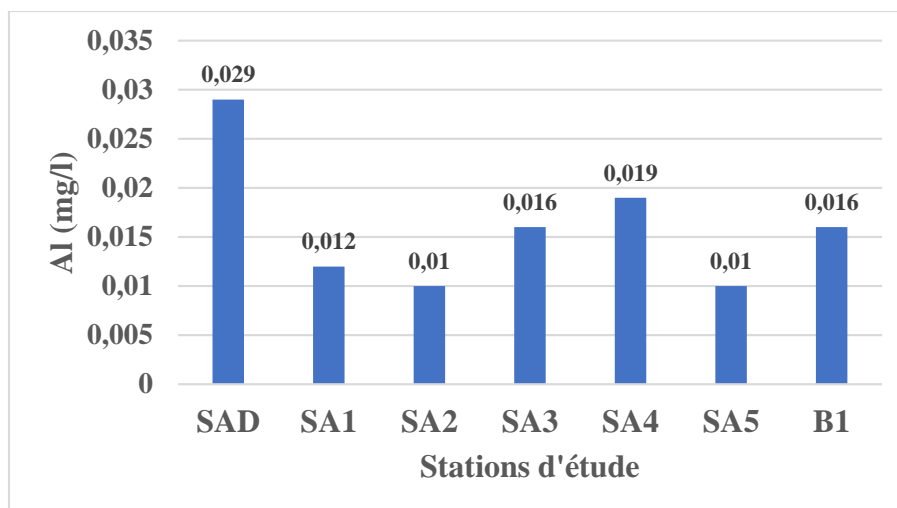


Figure 35 : Les concentrations de l'aluminium dans les stations d'étude.

5.5.2. Le Fer

La teneur en fer dans toutes les stations est quasi nulle, la seule station qui montre une concentration un peu élevée est SA3 avec 0,107 mg/l (figure 36), cette valeur est inférieure à la norme établie par l'OMS.

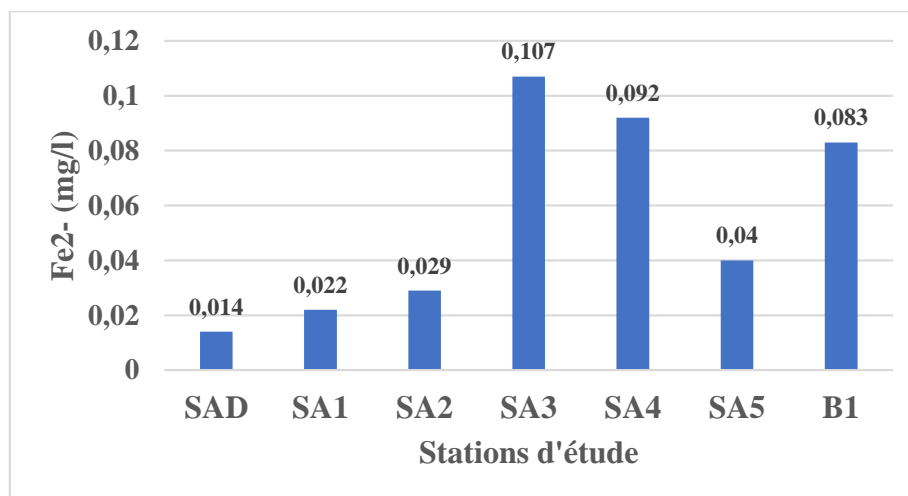


Figure 36 : Les concentrations de Fer dans les stations d'étude.

Cette concentration peut être due à la présence de trace de fer dans les structures géologiques sous-jacentes.

6. 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 2 cours d'eau ont été effectuées après 48h de prélèvement et durant l'analyse au laboratoire, les 7 échantillons n'ont pas été dilués avec l'eau distillée. Les résultats sont consignés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Résultats de l'analyse bactérienne des 7 stations d'étude

	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1	Norme Algérienne
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totaux (UFC/100ml)	84	196	228	>300	>300	>300	>300	0
Escherichia – coli (UFC/100ml)	256	168	340	>300	>300	296	>300	0

>300 : non dénombrable

6.1. Streptocoques fécaux

Les analyses bactériologiques effectuées montrent l'absence totale des streptocoques fécaux dans tous les échantillons. Ce qui confirme l'absence de la contamination fécale.

6.2. Coliformes totaux

Les valeurs de coliformes totaux augmentent de l'amont vers l'aval, elles varient entre 84 UFC/ml et >300 UFC/ml, ce qui est en relation directe avec l'intensification de l'impact anthropique exercé dans les cours moyen et inférieur du réseau hydrographique étudié.

6.3. Escherichia – coli

Le dénombrement des E. Coli a révélé des concentrations élevées, les stations de moyenne montagne et basse altitude ont montré des concentrations supérieures à 300 UFC/ml.

7. Discussion générale

Le réseau hydrographique de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) a fait l'objet d'une étude faunistique des macroinvertébrés benthiques ainsi que l'évaluation de la qualité de l'eau par les voies biologiques (IBGN), physico-chimique et bactériologique.

L'ensemble des stations étudiées est bien oxygéné, ce qui attribue au phénomène de l'autoépuration d'eau la dégradation aisée de la matière organique.

Huber (1998), signale que les milieux lotique à l'état naturel sont des milieux généralement bien oxygénés, car le mélange air-eau est favorisé par le courant et ses turbulences qui permettent une augmentation de la teneur en O₂ dissous (Thomas, 2006).

Les résultats des stations de haute altitude (SAD, SA1 et SA2) reflètent l'excellente qualité de ces dernières, avec une présence de plusieurs groupes faunistiques liée à une diversification du milieu. Ces stations présentent une faune benthique exigeante (polluo-sensible) et indicatrice de l'excellente qualité biologique et préservée de toute pollution. La faune benthique est bien diversifiée avec l'indice de Margalef moyen de 3,85 et une richesse taxonomique moyenne de 23 taxa. Les Plécoptères sont inféodés à ce secteur ainsi que la plupart des Trichoptères et des Coléoptères. Ces milieux sont riches et équilibrés.

Les résultats des analyses physicochimiques confirment celles de l'étude biologique, toutes les valeurs obtenues sont dans la norme. Les paramètres relatifs à la pollution tels que l'ammonium, les nitrites, les nitrates, la matière organique..., sont quasi nuls dans ces 3 stations de l'amont.

Assif Sahel dans sa partie amont (1200 à 1140 m d'altitude) se caractérise par un substrat grossier riche en débris végétaux, une vitesse du courant très rapide (mis à part SAD : moyenne), une végétation bourdante assez fournie assurant un bon recouvrement ce qui aide au maintien, de la température de l'eau assez basse et absence de pollution. En effet, Younes-Baraillé (2004) signale que les torrents de montagne offrent généralement une bonne qualité biologique liée à l'isolement, les températures basses et la bonne oxygénation.

Par rapport aux résultats bactériologiques, la présence des coliformes totaux et des E. Coli dans les cours d'eaux est naturelle, sachant que dans les stations de référence (SAD, SA1 et SA2), le nombre des bactéries enregistrées est très faible par rapport aux autres stations étudiées.

La station SA3 située dans la moyenne montagne, présente une dégradation importante de la qualité de l'eau accompagnée d'une réduction de l'effectif des taxons due aux perturbations du milieu avec le rejet des ordures ménagères sur les rives et les réseaux d'assainissements. La plupart des taxons polluo-sensibles sont disparus au détriment des taxons tolérant la présence de la matière organique qui prolifèrent. Les analyses physique-chimiques prouvent que cette station est assez polluée, une coloration de 20 Hazen a été enregistré avec une augmentation des concentrations de certains paramètres tels que : le Fer, les Chlorures, le Magnésium, l'Ammonium, les RS et la matière organique. L'étude bactériologique indique que notre échantillon renferme une charge très importante en coliforme totaux et E. Coli, ces bactéries consomment l'oxygène dissous pour dégrader la matière organique qui se trouve au niveau dans cette station.

Les résultats d'IBGN de la station SA4 montrent une nette dégradation du milieu et la disparition totale des taxons polluo-sensibles. Une augmentation des concentrations des Chlorures, l'Ammonium, les Nitrites et les Nitrates, la raison principale de la présence de ces paramètres dans les cours d'eau pourrait être due à la pratique agricole qui consiste à appliquer abondamment des engrais industriels ou du fumier, leur présence excessive peut provoquer un problème dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Le dénombrement des bactéries a révélé des quantités énormes de E. Coli et coliforme totaux cela est due au pâturage dans le secteur.

La station Sahel (SA5) située en aval du cours d'eau, reçoit les rejets urbains des différentes agglomérations, enregistre une qualité hydrobiologique médiocre, et une faible diversité taxonomique, un groupe indicateur bas, montrant une dégradation de la qualité du milieu, ainsi que l'indice de Margalef le plus bas (1,72). Les paramètres de pollution sont plus élevés témoignant de la présence de matière organique. Un nombre très important de coliforme totaux a été signalé, en revanche, les E. Coli ont été diminué jusqu'à 296 UFC.

Pour finir, la station de basse altitude B1 montre une richesse taxonomique faible et un groupe indicateur de 5. En effet, la station est sous l'influence d'une décharge sauvage sur les rives, les engrais et pesticides utilisés pour l'agriculture et le pâturage. La dégradation qui en résulte est limitée puisqu'on obtient une classe 2 pour la qualité générale, l'abondance élevée des taxons dans cette station est probablement expliquée par la prolifération des taxons tolérants la présence de la pollution et l'élévation de la température de l'eau (Naididae, Tubificidae, *Baetis*, Simuliidae...). La plupart des paramètres physico-chimiques enregistrés sont en concentrations élevées, et montrent des valeurs supérieures à celles des autres stations comme : les Sulfates, le TH, le Magnésium et les MES.

En effet, les matières en suspensions ont un effet important sur la qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques (Bilotta & Brazier, 2008). La vie aquatique est vraiment affectée par les concentrations élevées (Varol et *al.*, 2012). La pollution urbaine dans le secteur fait augmenter le nombre des bactéries dans l'eau (E. Coli et coliforme totaux).

Conclusion

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est d'effectuer un inventaire général de la faune benthique de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) et d'évaluer la qualité de l'eau par les voies biologique, physico-chimique et bactériologique.

Sept stations échelonnées entre 200 m et 1200 m d'altitude ont été choisies pour cette étude, 16184 individus ont été récoltés répartis en 47 familles et 54 genres.

L'abondance stationnelle varie entre un minimum de 856 individus pour la station SA1 et un maximum de 6040 individus pour la station SA5.

La richesse taxonomique fluctue entre 16 taxons (stations SA5 et B1) et 39 taxons (SA2). Les stations les plus alticoles (1140 et 1200 m d'altitude) présentent une richesse taxonomique moyenne de 28 taxons qui est essentiellement rhéophile et sténotherme d'eau froide. Les stations de moyenne montagne, de piémont et de basse altitude sont relativement et 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.

En effet, l'indice de Margalef est plus élevé dans les stations d'altitude (avec une moyenne de 3,85%) ce qui témoigne de la grande capacité d'accueil de milieu (substrat grossier riche en débris végétaux, courant rapide, recouvrement important, température de l'eau basse, pas de pollution...).

Sur le plan quantitatif, les Diptères et les Ephéméroptères sont les dominants avec respectivement 46,19% et 41,59% de la faune totale. Ils sont abondants et présents dans toutes les stations. Ils sont suivis par ordre d'abondance par les Hydracariens (4,02%), les Oligochètes (2,71%), les Plécoptères (1,88%) et les Coléoptères (1,51%). Les autres groupes zoologiques (Trichoptères, Hyménoptères, Héteroptères, Mollusques, Crustacés, Collembolés, Planipennes et Arachnides) ne constituent qu'une faible proportion de la faune totale récoltée.

Sur le plan qualitatif, les Diptères sont les plus diversifiés avec 9 familles suivis par les Coléoptères avec 8 familles et 12 genres, les Trichoptères avec 6 familles et 7 genres, les Plécoptères avec 5 familles et 7 genres, les Ephéméroptères avec 4 familles et 4 genres, les Héteroptères et les Crustacés avec 3 familles et 3 genres chacun. Les autres groupes zoologiques sont moins diversifiés.

L'évaluation de la qualité hydrobiologique des stations étudiées par la voie biologique (IBGN) a montré que la qualité hydrique est hétérogène, elle varie d'excellente à médiocre.

Les résultats montrent une pollution qui se traduit par des variations dans la composition faunistique. Beaucoup de taxons caractéristiques des eaux propres (Plécoptères, Trichoptères) tendent à disparaître alors que d'autres, indice d'une forte charge en matière organique, se développent. La valeur d'IBGN chute de 11 points (de 19 à 8).

Le bilan physico-chimique indique une variabilité des paramètres mesurés :

- Les paramètres organoleptiques : la couleur, enregistre une bonne qualité de l'eau pour les stations amont et une coloration légère au niveau des stations SA3 et B1.
- Les paramètres physico-chimiques : selon la norme OMS, les résultats obtenus montrent une bonne qualité de l'eau de toutes les stations (très bonne oxygénation, température idéale, absence de turbidité et résidus secs...)
- Les paramètres de pollution : toutes les stations enregistrent des mesures en dessous de la norme OMS. Les stations d'aval et de moyenne montagne montrent une augmentation de ces paramètres tels que l'ammonium (SA3), les ortho phosphates (B1), les nitrites et nitrates (SA4)...
- Les paramètres de minéralisation globale : la présence de ces paramètres dans toutes les stations est sous formes des traces.
- Les paramètres indésirables : les traces de l'aluminium et du fer enregistrés au niveau des stations d'étude sont généralement hétérogènes sur tous les cours d'eau.

Les concentrations des paramètres étudiés sont presque tous conformes aux normes de potabilité établis par l'OMS donc, l'eau de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) ne présente aucune pollution chimique.

L'analyse bactériologique indique que les stations étudiées renferment une charge importante des coliformes totaux et E. Coli surtout à partir de la station SA3 en raison d'une contamination récente par des matières fécales.

En perspective, la conservation des milieux aquatiques naturels est essentielle puisqu'elles abritent des macro-invertébrés qui constituent les organismes les plus couramment utilisés pour la bio-surveillance et l'évaluation de l'état de santé globale des systèmes aquatiques

Des campagnes de sensibilisations auprès des agricultures doivent être menées afin d'attirer leur attention sur les risques et dangers de l'usage excessive des fertilisants et les répercutions qu'ils peuvent avoir sur la faune benthique.

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.

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 Northern 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.

BENZINA, I., 2018. Diversity of benthic macroinvertebrates and streams quality in the national park of Belezma (Northern-East, Algeria). International Journal of Health and Life Sciences 2454-5872.

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

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

BILOTTA, G.S. AND BRAZIER, R.E. (2008) Understanding the Influence of Suspended Solids on Water Quality and Aquatic Biota. *Water Research*, 42, 2849-2861.

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.

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.

BOULINIER T., DANCHIN E., ET MASSOT M., 1998. conspecific reproductive success and breeding habitat selection: implications for the study of coloniality.

Bourema M., & Mehal Y. 2012. Etude Hydrobiologique de deux affluents du sous bassin versant de l'oued Boubhir : Assif Ousserdoun et assif Sahel. Mémoire d'ingénieur d'état en sciences biologique : Ecologie Animal. U.M.M.T.O, 65 p.

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

C

CHERAIRIA M., ADLER P., SAMRAOUI B., 2014. Biodiversity and bionomics of the blackflies (Diptera: Simuliidae) of Northeastern Algeria. *Zootaxa* 3796(1), 166-174.

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. 5ème 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. Hétéroptères 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

ECHAUBARD M. et NEVEU A., 1975. Perturbation qualitative et quantitative de la faune benthique d'un ruisseau à truites, la Couse Pavin (PUY-DE-DOME), due aux pollutions agricoles et urbaines. Lab. Zool., Biol animal et écologique. INA-INRA : 24p.

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 TRICHOPTERES>> 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 (éme) 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.

FRUGET J.F., DESSAIX J., 2002. Biodiversity of macroinvertebrate communities as describer of hydraulic variability: the example of two by-passed sections of the Middle-Rhone River. France.

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

GAUJOUX 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 Armoricaains).

H

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)

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

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

K

KACI L. & KOULOUGLI L., 2013. Etude hydrobiologique de deux affluents du sous bassin versant de l'Oued Boubhir : faunistique et évaluation biologique de la qualité de l'eau. Mémoire Master, U.M.M.T.O. 24-25pp.

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

LAKHDARA, D., BOUSLAMA, Z, BELABED, A., 2014. Caractérisation des macro invertébrés et les amphibiens dans différents plans d'eau de l'extrême Nord-est Algérien. *European journal of scientific research.* 1450-216.

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 différent 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 biogeography des insectes aquatiques du réseau hydrographique du Sébaou. Thèse Magister, Univ. MouloudMammeri 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: theSebaouwadi. *AnnlLimnol.*, 36 (2): 123-133 pp.

LOUNACI A., BROSSE S., AIT MOULOUD S., LOUNACI-DAOUDI D ET MEBARKI M. 2000(b). Current knowledge of benthic invertebrate diversity in an Algerian stream: a species check-list of the Sebaou River bassin (Tizi-Ouzou). Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse., 136: 43-55 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.

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.

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

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.

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

O

OHIO EPA., (1987). Interoffice Communication Regarding ARMCO's Elimination of Blast Furnace Blowdown in Outfall 001. From Mike Zimmerman, Southwest District Office. To Bob Phelps and John Kirwin, Industrial Waste Water, Central Office, August 21, 1987."

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 d'hydrologie.

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

R

RAAB N., et YACINE L., 2018. Contribution à l'étude écologique et biogéographique des Trichoptères de l'Assif Sahel et de l'Oued Boubhir

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.

RAYMOUD 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 (Diptera). 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 Parie.

S

SANOGO S. & KABRE T.J.A; 2014. Dynamique de structuration spatio-temporelle de populations de familles d'invertbres 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.

SANOGO S., KABRE T.J.A. & CECCHI P., 2014. Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés de la Volta au Burkina Fso. International journal pf biological and Chemical Sciences, 8 (3), 1005-1029.

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).

SELLAM N., VIÑOLAS A., FATAH Z. & MOULAI R. 2016. L'utilisation des Coleoptera, Ephemeroptera et Diptera comme bioindicateurs de la qualité des eaux de quelques Oueds en Algérie. Butlleti de la InstitucióCatalana d'Història Natural, 80, 47-56.

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

Si Mehand & Yahiaoui 2017, Contribution faunistique et évaluation biologique de la qualité de l'eau de l'Assif Sahel et du Oued Boubhir

SQUILBEN M. & YOURASSOWSKY C. 2005. 2. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général ; p 16.

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. Socle 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-Compté, Besançon*, 4 (3) : 11-22.

W

WOODIWISS, F., (1960). «Trent Biotic Index Pollution». 2nd. *Quinquennial Abstracts of Statistics Relating to the Trent Watershed*.

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 wilaya 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 moyennes mensuelles et totaux pluviométriques (en mm) certaines localités de la région d'étude (période 1994-2014).

Source : ANRH Tizi Ouzou

Stations	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
Azazga (430m)	48,7	82	141	181	178	105	101	136	65,3	9,2	3,1	7	1057
Tizi Ouzou (220m)	40,5	67	132	150	154	89,3	76,1	92	57,7	8,8	3,8	6	877
Boubhir (220m)	47	75	118,2	155	145	83	92,7	121	65,3	9,1	5,2	10,7	928

Annexe2 : Tableaux des températures en °C enregistrées a Tizi Ouzou (de 2012-2020). Source : O.N.M de Tizi Ouzou

Année															
2012		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °C	9,9	8,5	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	mini	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	20,07	34,2	35,7	30,1	32,3	28,1	21,8	17,4	295,6	24,6

Année															
2013		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	6.9	5.2	10.4	11.3	12.8	15.5	20.3	20.3	19.1	18.1	17.9	7.4	156.2	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

Année															
2014		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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

Année															
2015		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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

Année															
2016		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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

Année															
2017		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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

Année															
2018		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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

Année															
2019		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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	300.1	25.0

Année															
2020		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Tot	Moy
T°Moy/mensu	en °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	mini	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	22.0	28.7	31.7	37.3	36.5	30.5	36.3	22.7	16.5	308.8	25.7

Annexe 3 : Températures moyennes mensuelles de l'air en °C (Maximales, Minimales, Moyennes) enregistrées à Tizi Ouzou (Période 2012-2020) source : O.N.M de Tizi Ouzou

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

Annexes

Annexe 4

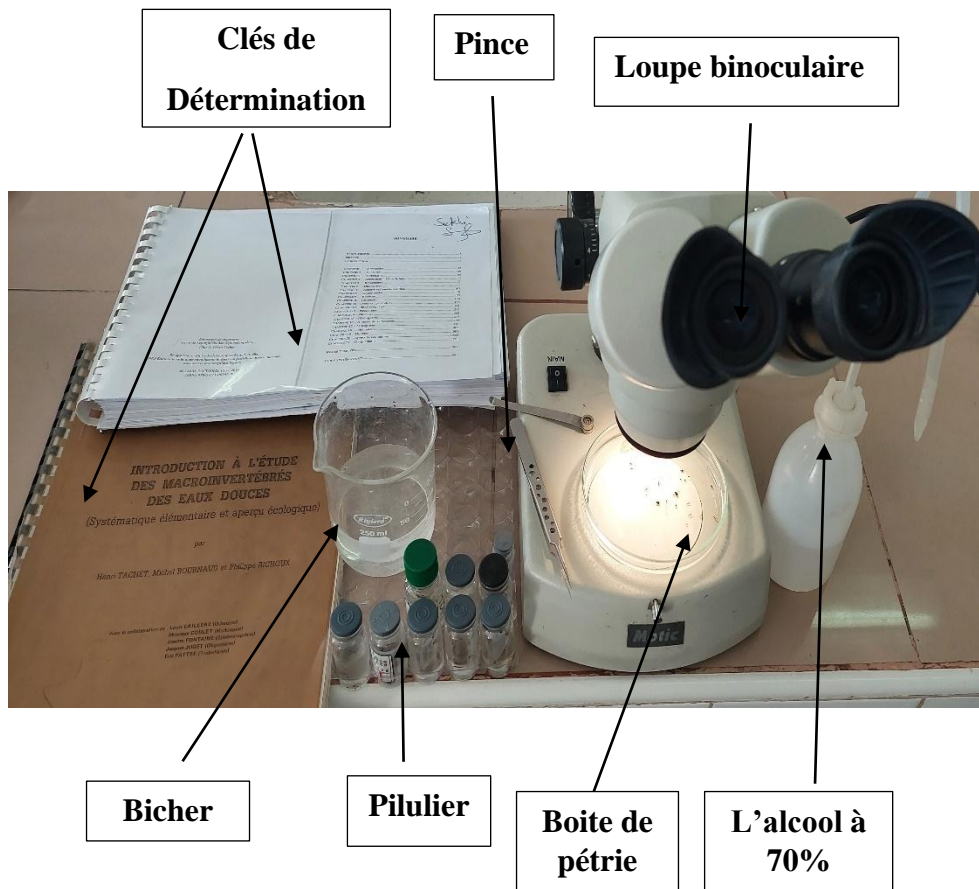


Photo1 : matériels de la détermination faunistique

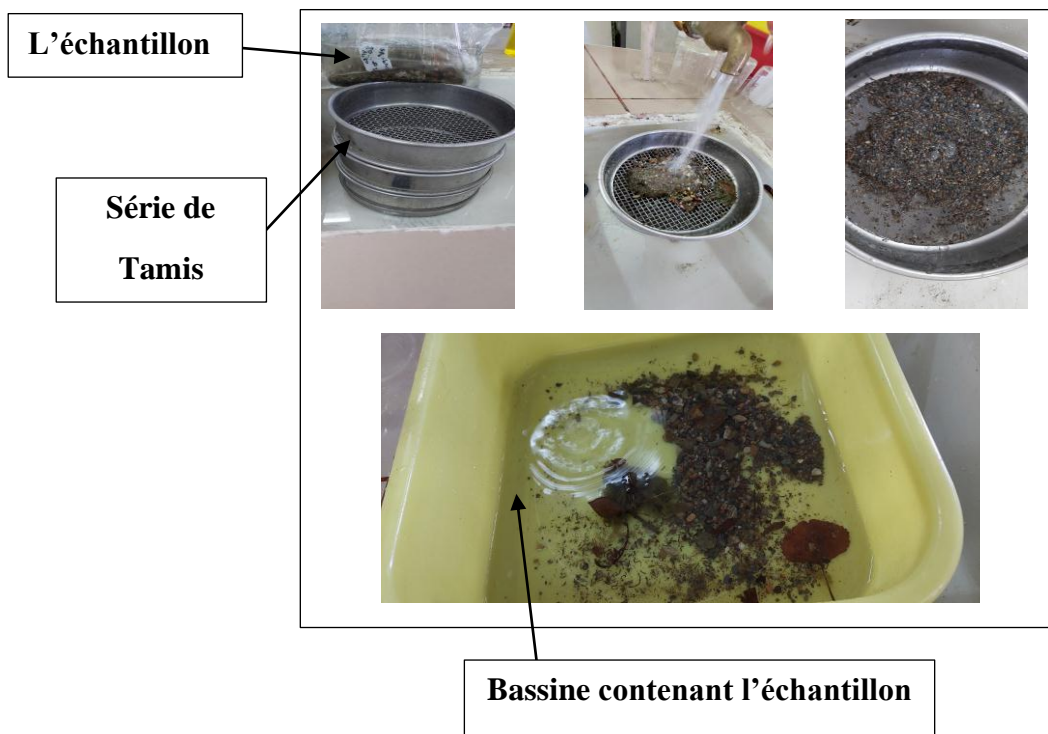


Photo2 : les étapes de lavage

Annexe 5 : 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	44	40	36	32	28	24	20	16	12	9	6	3
	GI		45	41	37	33	29	25	21	17	13	10	7	4	1
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

Annexe 6



Ph1 : Spectrophotomètre



Ph2 : Turbidimètre



Ph3 : Conductimètre



Ph4 : pH mètre



Ph5 : Hôte



Ph6 : Dessiccateur



Ph7 : Rampe de filtration



Ph8 : Oxymètre



Ph9 : Incubateur (étuve)



Ph10 : Balance analytique



Ph11 : Rampe de filtration et pompe à vider



Ph12 : Bain marie

Photos de 1 à 12 : Matériels de laboratoire physique-chimique et microbiologique

Annexe 7

Méthodes d'analyses des paramètres Physico-chimiques

- **Détermination du potentiel d'hydrogène**

Selon la norme internationale ISO 10523, la détermination du pH se fait comme suit :

- Vérifier le PH mètre avec une solution tampon
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée
- Prendre environ 100 ml de l'échantillon à analyser dans un bécher
- Régler l'agitateur avec une faible vitesse
- Tremper l'électrode dans le bécher
- Agiter un moment puis noter la valeur du PH donnée par le PH mètre

- **Détermination de la turbidité**

La détermination de la turbidité se mesure comme suit :

- Homogénéiser doucement l'échantillon avant la mesure
- Rincer la cellule de mesure avec l'échantillon à analyser
- Remplir la cellule et la sécher
- Insérer la cellule dans l'adaptateur de mesure du turbidimètre
- Le résultat est exprimé en NTU

- **Détermination de la conductivité :**

Selon la norme internationale ISO 7888, le mode opératoire est le suivant :

Remplir un bécher avec de l'eau à analyser

Mettre l'électrode dans le bécher puis appuyer sur la touche enter

La valeur de la conductivité s'affiche sur l'écran de l'appareil en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou (ms/cm)

- **Détermination de l'oxygène dissous :**

Remplir un bécher avec l'échantillon à analyser

Placer l'électrode dans l'échantillon

Agiter correctement l'échantillon afin de retirer les bulles d'air de l'eau

Le résultat de mesure s'affiche sur l'oxymètre lorsque la valeur de mesure est stabilisée

Le résultat est donné en concentration (mg/l) ou en taux de saturation (pourcentage d'oxygène dissous)

- **Détermination de l'ammonium : NH_4^+**

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

- Prendre 40 ml de chaque échantillon à analyser et 40 ml de l'eau distillée dans des fioles de 50 ml
- 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 pour mettre le zéro ensuite faire passer chaque échantillon
- Les résultats sont indiqués en mg/l

• **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

• **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/l

• **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 et de l'eau distillée dans des fioles de 50 ml
- 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 PO_4^{3-}

-Mesurer avec un spectrophotomètre

• **Détermination du Fer : Fe**

Le mode opératoire est le suivant :

-Prendre environ 5 à 10 ml de chaque échantillon dans le code-barres ;

-Remuer jusqu'à ce que le réactif soit dissous dans l'eau ;

-Laisser 15 minutes ;

-L'apparition de la couleur rouge indique la présence du Fe ;

-Mesurer avec un spectrophotomètre ;

• **Détermination de l'aluminium : Al**

La méthode est comme suit :

-Prendre le code barre à LK301 ;

-Ajouter 2 ml de la solution A (LK301 A) ;

-Ajouter 3 ml de l'échantillon à analyser ;

-Ajouter une cuillère du réactif B (LK301 B) ;

-Fermer la cuve et mélanger le contenu jusqu'à dissolution du lyophilisat ;

-Laisser 25 minutes ;

-Bien nettoyer l'extérieur de code barre puis mesurer avec un spectrophotomètre

• **Détermination des sulfates**

-Prendre 10 ml de l'échantillon dans une cellule ;

-Ajouter le réactif (sulfate 4) et laisser 5 minutes ;

-Lire la mesure sur le spectrophotomètre

• **Détermination de la matière en suspension :**

-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 (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) ;

$$\text{MES} = \frac{P2 - P1}{V}$$

MES : concentration de la matière en suspension

P2 : poids du filtre avant filtration.

P1 : poids du filtre après filtration

V : le volume filtré

• **Détermination des résidus secs :**

- Tarer la balance analytique, lavée la capsule en verre, rincée à l'eau distillée et sécher ;
- 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

Expression des résultats :

$$\text{RS (mg/l)} = \frac{M0 - M1}{V} \times 10^6$$

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)

• **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 oxydable 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 ;
- 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 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, peut alors se calculer comme suit :

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

$V_{\text{Echantillon}}$ = volume en ml de la solution de potassium utilisé pour le titrage de l'échantillon

V_{BL} = volume en ml de la solution de potassium utilisée pour l'essai à blanc

V_{Retour} = volume en ml de la solution de potassium titrée utilisée pour le dosage de retour

M_{O_2} = masse molaire de l'oxygène

- **Détermination de la dureté totale (TH)**

Introduire 50ml de l'eau à analyser dans une fiole conique de 250ml

Ajouter 4 ml de la solution tampon (pH=10) et 3 gouttes de solution Mordant noir (la solution se colore en violet)

Titre goutte à goutte avec la solution EDTA en agitant la solution

Le virage est atteint dès que la couleur de la solution commence à virer du violet au bleu

Prendre le volume utilisé de la solution d'EDTA

$$F_c = V_{\text{versé}} / V_{\text{theorique}} \text{ (10,288ml)}$$

$$TH = V_2 * 2 * F_c * F \text{ (°F)}$$

- **Détermination des Chlorure (Cl⁻)**

Prendre 100ml de l'échantillon

Ajouter 1ml de chromate de potassium K_2CrO_4 à 10%

Titre avec les nitrates d'argent $AgNO_3$ jusqu'à l'apparition de la couleur rouge brique

Noter le volume de nitrate d'argent versé

$$[Cl^-] = (V_s - V_b) * C * F * F_c / V_a$$

V_s : volume en ml de la solution $AgNO_3$ utilisé pour le dosage de l'échantillon

V_b : volume en ml de la solution d' $AgNO_3$ utilisé pour le dosage du blanc

V_a : volume en ml de l'échantillon pour essai

C : la concentration réelle exprimé en mol/l de la solution d' $AgNO_3$ éventuellement corrigé du coefficient correcteur

F : masse molaire de $Cl^- * 1000$ (mg/mol)

F_c : facteur de correction de la solution $AgNO_3$

- **Détermination du Magnésium :**

La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne de l'eau analysée (Rodier, 2009)

La détermination du magnésium est donnée par la formule suivante :

$$[Mg^{2+}] = [(C_1 * (V_2 - V_1) * A') / V_0] * F_c * 100 * F \text{ (mg/l)}$$

V2 : volume total d'EDTA en ml après dosage de l'échantillon pour la détermination de TH

V1 : volume d'EDTA en ml après dosage de l'échantillon pour la détermination du calcium

Fc : facteur de correction de l'EDTA

F : facteur de dilution

A' : la masse molaire de magnésium (24,31g/mol)

V0 : le volume en ml de la prise d'essai (50ml)

C1 : concentration de la solution EDTA (0,01 mol/l)

Annexe 8

Méthodes d'analyses des bactéries

Commencer par allumer le bec benzène et l'hôte ;

Stériliser les mains, la pince et la rampe de filtration ;

Codifier les boîtes de Pétrie contenant le milieu de culture (gélose)

Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

Placer les filtres (membrane de nitrocellulose de 0,45 µm de porosité) en dessous de l'entonnoir

Verser 100ml de l'échantillon 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 Pétrie

Placer les boîtes dans l'étuve d'incubation à 37°C pendant 24 heures

La lecture : Les colonies bleues sont des *E.Coli*

Les colonies rouges sont des coliformes totaux.

Dénombrement des streptocoques fécaux :

Le mode opératoire est identique à celui des coliformes,

La gélose utilisée est appelée Slantz 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 9 : Résultats des paramètres physique-chimiques des stations d'étude.

Paramètres	SAD	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	B1	Norme OMS
O ₂ (mg/l)	8,96	9,24	9,29	8,63	9,14	8,94	8,68	<6.5
Conductivité (µS/cm)	350	323	363	387	378	432	529	<2100
Température (C°)	15,6	15,2	14,2	15,5	15	15,4	16	<25
PH	8,2	8,07	8,23	8,07	8,32	8,44	8,45	[6.5-9]
Turbidité (NTU)	0,75	0,59	0,77	1,41	1,59	1,74	2,02	<5
UV (nm)	0,006	0,002	0,002	0,26	0,2	0,025	0,043	-
Couleur (Hazen)	5	2	4	20	13	15	19	<15°
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0	0	0	0,21	0,12	0	0,03	<0.5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,04	0,09	0,09	0,74	0,84	0,55	0,48	≤ 50
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0	0	0	0,089	0,111	0,031	0,098	<0.2
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	0,02	0,02	0	0,1	0,12	0,08	0,11	<5
SO ₄ ⁻² (mg/l)	30	13	29	43	36	36	48	<400
Al (mg/l)	0,029	0,012	0,01	0,016	0,019	0,01	0,016	<0.2
Fe ₂ ⁻ (mg/l)	0,014	0,022	0,029	0,107	0,092	0,04	0,083	<0.3
Cl ⁻ (mg/l)	3,97	4,96	1,98	4,96	4,96	1,29	2,28	<200
TH (mg/l)	212	178	218	232	216	216	288	<500
Mg ^{*2} (mg/l)	22.36	-13,12	22,84	26,73	18,46	22,35	39,36	<50
MES (mg/l)	0	2	6	6	1	2	11	-
RS (mg/l)	290	254	344	346	306	306	177	<1500
MO (mg/l)	0	0,338	1,693	4,994	0,931	3,640	2,793	-

Annexe 10 : Grille de classification des eaux superficielles utilisées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)

	Bonne	Moyenne	Polluée	Excessivement pollué
O ₂ (mg/l)	>7	5 à 7	3 à 7	<3
Conductivité (µS/cm)	<400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000
Température (C°)	<20	20 à 22	20 à 25	25 à 30
PH	6,5 à 8,5	6 à 8,5	6 à 9	5,5 à 9,5
NH ₄ ⁺ (mg/l)	≤ 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3
NO ₂ ⁻ (mg/l)	≤ 0,01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	>3
NO ₃ ⁻ (mg/l)	≤ 10	10 à 20	20 à 40	>40
PO ₄ ⁻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
Coliforme Totaux	0 à 50	50 à 500	500 à 5000	>5000
Escherichia coli	0 à 20	20 à 2000	2000 à 20000	>20000
Streptocoques	0 à 20	20 à 2000	2000 à 20000	>20000

Liste des abréviations

Liste des abréviations

°C : degré Celsius

EDTA : Éthylène Diamine Tétra-Acétique.

E-coli : Escherichia coli.

°F : degré Français.

g/l : Gramme par Litre.

h: heure.

ISO: International Organization for Standardization

MO : Matière Organique.

ml : millilitre.

mg/l : Milligramme par Litre.

mS/cm: Micro Siemens par Centimètre.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

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

pH : Potentiel Hydrogène.

SEAAL : Societe d'Eau et D'assainissement d'Alger.

µm: Micro Mètre.

µg/l: Microgramme par Litre.

Al : altutude

m : metre

Abstract

The aim of this study was to determine the diversity of benthic macroinvertebrates in Assif Sahel and Oued Boubhir (s.s) and to assess water quality through biological, physico-chemical and bacteriological pathways.

Seven lotic stations were prospected between 200 and 1200 m altitude on 05/20/2022 and benthic samples were taken using the Surber net. The water is sampled at each station and has undergone various physico-chemical and bacteriological analyses.

This work has identified a total of 16184 individuals belonging to 14 zoological groups, 47 families and 54 genera.

The stationary abundance varies between a minimum of 856 individuals (SA1) and a maximum of 6040 individuals (SA5). Quantitatively, Diptera and Ephemeroptera are the dominant ones with respectively 46.19% and 41.59% of the total fauna. Qualitatively, Diptera are the most diverse with 9 families followed by Coleoptera with 8 families and 12 genera.

The taxonomic richness varies from 16 taxa (stations SA5 and B1) to 39 taxa (station SA2). These stations record respectively the lowest (1.8) and the highest (5.24) Margalef indices, the latter testifying to the large reception capacity of the environment.

Biological assessment of water quality by IBGN method shows that mountain streams record high values of taxonomic diversity and indicator group which reflect excellent water quality with the predominance of a pollution-sensitive benthic fauna. Unlike the piedmont and low-altitude stations, which are subject to various anthropogenic disturbances, which have poor water quality with the presence of a fauna that is essentially polluo-resistant and tolerant to the presence of organic matter.

The physico-chemical balance indicates a variability of the parameters measured, the high altitude stations do not present any chemical pollution, on the other hand the low altitude stations record traces of pollution parameters (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻...) Bacteriological analysis indicates that the stations studied contain a significant load of total coliforms and E. Coli, especially from station SA3 due to recent contamination by feces.

Key words: benthic macro-invertebrates, IBGN, physico-chemical, bacteriological, assif Sahel, oued Boubhir (s.s).

Résumé

La présente étude avait pour but de déterminer la diversité des macroinvertébrés benthiques de l'assif Sahel et de l'oued Boubhir (s.s) et d'évaluer la qualité de l'eau par les voies biologique, physico-chimique et bactériologique.

Sept stations lotiques ont été prospectées entre 200 et 1200 m d'altitude le 20/05/2022 et les prélèvements benthiques ont été réalisés à l'aide du filet Surber. L'eau est prélevée dans chaque station et a fait l'objet de différentes analyses physico-chimique et bactériologique.

Le présent travail a permis de recenser un total de 16184 individus appartenant à 14 groupes zoologiques, 47 familles et 54 genres.

L'abondance stationnelle varie entre un minimum de 856 individus (SA1) et un maximum de 6040 individus (SA5). Sur le plan quantitatif, les Diptères et les Ephéméroptères sont les dominants avec respectivement 46,19% et 41,59% de la faune totale. Sur le plan qualitatif, les Diptères sont les plus diversifiés avec 9 familles suivis par les Coléoptères avec 8 familles et 12 genres.

La richesse taxonomique varie de 16 taxons (stations SA5 et B1) à 39 taxons (station SA2). Ces stations enregistrent respectivement des indices de Margalef le plus faible (1,8) et le plus élevé (5,24), ce dernier témoigne de la grande capacité d'accueil du milieu.

L'évaluation biologique de la qualité de l'eau par la méthode de l'IBGN montre que les torrents de montagne enregistrent des valeurs élevées de diversité taxonomique et de groupe indicateur ce qui reflètent une excellente qualité de l'eau avec la prédominance d'une faune benthique polluo-sensibles. Contrairement aux stations de piémont et de basse altitude, qui sont soumises aux diverses perturbations anthropiques, qui présentent une qualité de l'eau médiocre avec la présence d'une faune essentiellement polluo-résistantes et tolérantes à la présence de la matière organique.

Le bilan physico-chimique indique une variabilité des paramètres mesurés, les stations de haute altitude ne présentent aucune pollution chimique, par contre les stations de basses altitude enregistrent des traces de paramètres de pollution (NH_4^+ , NO_2^- , $\text{NO}_3^- \dots$)

L'analyse bactériologique indique que les stations étudiées renferment une charge importante des coliformes totaux et E. Coli surtout à partir de la station SA3 en raison d'une contamination récente par des matières fécales.

Mots clés : macro-invertébrés benthique, IBGN, physico-chimique, bactériologique, assif Sahel, oued Boubhir (s.s).

