

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 Sciences Agronomiques

Département de biologie



Mémoire



En vue de l'obtention du diplôme
Master en Sciences de la Nature et de la vie

Spécialité: Ecologie Animale

Thème

Etude biologique et physico-chimique des eaux de surface de 8 stations de l'Oued Sébaou (Tizi-Ouzou _ Algérie)

Réalisé par:

M^{elle} IZOURARI Thiziri & M^{elle} KENNAS Imene.

Soutenu devant le jury composé de:

Président	Mr LOUNACI A.	Professeur	UMMTO
Promotrice	Mme HAOUCHINE S.	M.A.A	UMMTO
Co-promoteur	Mr BAIKECHE L.	Docteur	UMMTO
Examinatrice	Mme SEKHI S.	M.C.B	UMMTO
Invité	Mr HADDADI N.	Ingénieur au laboratoire SEAAL	

2024-2025

Remerciement

Avant toute chose, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé, la patience et la force nécessaires pour mener à bien ce travail.

Ce mémoire est l'aboutissement de plusieurs mois d'efforts, d'investissements personnels et de travail sur le terrain comme au laboratoire. Sa réalisation n'aurait été possible sans le soutien, l'accompagnement et l'implication de plusieurs personnes, que nous tenons à remercier chaleureusement.

*Nous exprimons notre sincère gratitude à **Madame Haouchine**, notre promotrice, pour son encadrement, ses conseils et ses orientations qui nous ont permis de mieux structurer notre travail.*

*Nos remerciements vont tout particulièrement à **Monsieur Baikeche**, notre co-promoteur, pour sa disponibilité constante, sa rigueur, ainsi que son engagement à chaque étape du projet. Sa présence active, tant sur le plan scientifique que logistique, a été d'un grand soutien.*

*Nous adressons également nos remerciements à **Monsieur Haddadi N.**, ingénieur au laboratoire de la station de traitement des eaux du barrage de Taksebt, pour son accueil au sein de la **SEAAL** et pour son aide précieuse dans la réalisation des analyses physico-chimiques.*

*Nous remercions **Monsieur Lounaci**, pour avoir mis à notre disposition les moyens nécessaires au sein du laboratoire aquatique, ainsi que **Bougrida** et **Tahanout** pour leur assistance précieuse lors des travaux pratiques consacrés à l'étude de la faune benthique.*

*Nous tenons aussi à remercier les **membres du jury** pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce mémoire.*

*Nos pensées les plus sincères vont à nos **familles**, pour leur soutien moral, leur patience et leurs encouragements indéfectibles tout au long de ce parcours.*

*Enfin, nous remercions nos **amis**, pour leur présence, leur entraide et les échanges partagés tout au long de ce parcours.*

Dédicace

Ce mémoire est l'empreinte d'un parcours partagé, construit avec patience, courage et solidarité. Chaque mot témoigne d'un effort collectif, nourri par le soutien et la présence de ceux qui comptent.

À mes chers parents, pour votre amour inépuisable, vos sacrifices silencieux, et votre soutien indéfectible. Vous êtes la source de ma force, de ma volonté et de ma persévérance.

À mon oncle maternel, ce deuxième père qui a su être présent à chaque étape, par ses conseils, son affection et sa générosité. Sa présence m'est précieuse.

À ma chère binôme, avec qui j'ai partagé les efforts, les doutes, les réussites et les longues heures de travail. Merci pour ta complicité et ton engagement sans faille.

À mes amis, pour leur présence réconfortante, leurs encouragements constants et les moments de légèreté partagés au fil de ce parcours.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment, ce travail vous est dédié, avec toute ma gratitude.

THIZIRI

Dédicace

Ce mémoire, bien plus qu'une simple production académique, est le fruit d'un long parcours rempli d'efforts, de doutes, de persévérance, mais aussi de soutien et d'amour. Il est le reflet de toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation et à mon cheminement personnel. À vous, je dédie ce travail.

À mon cher papa et ma douce maman, mes piliers, mes repères. Merci pour votre amour inépuisable, vos sacrifices et vos prières qui m'ont accompagnée dans les moments de doute comme dans les moments de réussite. Vous êtes la source de ma force, l'exemple de mon courage, et la raison de ma persévérance.

À ma sœur Ahlem et mes frères sidahmed, zizou, ghanou pour leur affection sincère, leurs encouragements constants, et leur présence réconfortante qui m'a donné la force d'aller jusqu'au bout.

À ma précieuse binôme, avec qui j'ai partagé les efforts, les joies, les obstacles et les réussites. Merci pour ta patience, ton sérieux et cette belle collaboration humaine et scientifique.

Et enfin, à toutes les personnes proches ou moins proches qui ont cru en moi, m'ont encouragée, en particulier mes chères amies, dont la présence et les mots ont souvent été une source de réconfort et de motivation. Que chacun y trouve ici l'expression de ma reconnaissance la plus sincère.

Merci à vous tous.

IMENE

Sommaire

Introduction

Région et site d'étude

I. Présentation du bassin versant du Sébaou	3
I.1. Situation géographique	3
I.2. Réseau hydrographique.....	5
I.3. Cadre géologique de la région d'étude	5
I.4. Climatologie.....	6
I.4.1. Précipitations.....	7
I.4.2. Températures :	9
I.5. Couvert végétal	10
I.6. Perturbations anthropiques.....	11
I.6.1. Origine urbaine.....	12
I.6.2. Origine agricole	12
I.6.3. Origine industrielle	12
I.6.4. Origine mécanique	12
II. Sites d'étude et méthodes	14
II.1. Description des stations	16
II.1.1. Station Baghlia	16
II.1.2. Station Bougdoura	17
II.1.3. Station Draa Ben Khedda	18
II.1.4. Station Tamda.....	19
II.1.5. Station Boubhir.....	20
II.1.6. Station Abi Youcef.....	21
II.1.7. Assif El Djemaa.....	22
II.1.8. Station Thakhoukht.....	22

Matériels et méthodes

III. Matériels et méthodes pour l'étude physico-chimique	23
III.1. Technique de prélèvement de l'eau.....	23
IV. Méthode d'analyse physico-chimique	24

IV.1. Paramètre physique	24
IV.1.1. Température	24
IV.1.2. Turbidité.....	25
IV.1.3. Couleur.....	26
IV.1.4. Ultraviolet	26
IV.1.5. Matière en suspension MES.....	27
IV.1.6. Matière organique	28
IV.2. Paramètre physico-chimique.....	30
IV.2.1. Ph	30
IV.2.2. Oxygène dissout O ₂	31
IV.2.3. Conductivité	32
IV.2.4. Total des solides dissouts (TDS).....	32
IV.2.5. Salinité :	32
IV.2.6. Résidu sec	33
IV.2.7. Titre alcalimétrique (TA)	34
IV.2.8. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	35
IV.3. Paramètres chimiques – éléments nutritifs.....	36
IV.3.1. Ammonium	36
IV.3.2. Ortho phosphate	37
IV.3.3. Nitrites.....	38
IV.3.4. Nitrates	39
IV.4. Paramètres chimiques majeurs – Minéraux dissous	40
IV.4.1. TH (Dureté).....	40
IV.4.2. Magnésium.....	41
IV.4.3. Calcium (Ca ²⁺)	42
IV.4.4. Bicarbonate	43
IV.4.5. Sulfate	44
IV.4.6. LesChlorures	44
IV.5. Oligo-éléments et métaux	45
IV.5.1. Le Fer	45
IV.5.2. Aluminium	46
IV.5.3. ManganèseMn ²⁺	47

V. Indice de qualité de l'eau (IQE)	48
V.1. Définition de l'Indice canadien de qualité de l'eau (CCME WQI).....	48
V.2. Méthodologie de calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (CCME WQI).....	49
V.3. Justification du choix des paramètres pour le calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (IQE).....	50
VI. Matériels et méthodes pour l'étude biologique.....	52
VI.1. Méthode d'échantillonnage.....	52
VI.2. Conservation des échantillons.....	52
VI.3. Tri et détermination.....	53
VII. Méthode d'analyse de la faune benthique	54
VII.1. Indices écologiques de composition et de structure.....	54
VII.1.1. Les indices écologiques de composition.....	55
VII.1.1.1. Richesse spécifique.....	55
VII.1.1.2. Abondance relative des espèces.....	55
VII.1.1.3. Occurrence relative des espèces	55
VII.1.2. Les indices écologiques de structure	56
VII.1.2.1. Indice de la diversité de Shannon (1949).....	56
VII.1.2.2. Indice d'équitabilitéou d'équirépartition (PIELOU, 1966)	57
VII.1.2.3. Indices biotiques	57

Résultats et discussions

VIII. Evaluation physico-chimique de la qualité de l'eau.....	59
VIII.1. Température.....	59
VIII.2. pH	60
VIII.3. Oxygène dissout	61
VIII.4. Turbidité :	61
VIII.5. Matière en suspension	62
VIII.6. Conductivité électrique (CE).....	63
VIII.7. TDS (Solide dissous totaux).....	64
VIII.8. Dureté totale (TH)	64
VIII.9. Calcium	65
VIII.10. Magnésium	66

VIII.11. Matière organique.....	67
VIII.12. Ammonium.....	68
VIII.13. Nitrites (NO ₂ ⁻).....	69
VIII.14. Nitrate (NO ₃ ⁻).....	70
VIII.15. Orthophosphates (PO ₄ ³⁻).....	71
VIII.16. Fer (Fe).....	72
VIII.17. Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	73
VIII.18. Chlorures (Cl ⁻).....	74
VIII.19. Résidu sec.....	76
VIII.20. Salinité.....	77
VIII.21. TA.....	77
VIII.22. TAC (Titre Alcalimétrique Complet).....	77
VIII.23. Carbonates (CO ₃ ²⁻).....	78
VIII.24. Couleur et Absorbance UV.....	78
VIII.25. Aluminium.....	78
IX. Évaluation de la qualité de l'eau par l'indice canadien (CCME WQI) :	79
X. Résultats faunistique.....	80
X.1. Analyse globale de la faune benthique.....	81
X.1.1. Analyse de l'abondance stationnelle des macroinvertébrés.....	85
X.1.2. Richesse taxonomique.....	86
X.1.3. Occurrence et abondance des taxons.....	87
X.2. Analyse quantitative et qualitative de la faune benthique.....	91
X.2.1. Les Ephéméroptères.....	91
X.2.2. Les Diptères.....	93
X.2.3. Les Coléoptères.....	95
X.2.4. Les Trichoptères.....	97
X.2.5. Les Oligochètes.....	98
X.2.6. Les autres groupes faunistique.....	100
X.2.6.1. Les Hétéroptères.....	100
X.2.6.2. Les Mollusques.....	100
X.2.6.3. Les Hirudinées.....	101
X.2.6.4. Les Hydracariens.....	101

X.2.6.5. Les Collemboles	101
X.3. Etude de la diversité	101
X.4. Evaluation biologique de la qualité de l'eau	103
X.4.1. Principe et calcul de l'Indice Biotique	104
X.4.2. Cartographie de la qualité de l'eau	106
Conclusion	109

Annexe

Référence

Résumé

Liste des abréviations

ARNH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

SSE-NNO : Sud-Sud-Est – Nord-Nord-Ouest.

E-O : Est-Ouest

O.N.M : Office National de la Météorologie

SEAAL : Société des eaux et de l'assainissement d'Alger

IQE : Indice de Qualité de l'Eau

ICQE : Indice Canadien de Qualité de l'Eau

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

CCME : Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement

DCE : la Directive Cadre Européenne sur l'Eau

°C : Degré Celsius

UV : Ultraviolet.

MES : Matière en suspension.

RS : Résidus secs.

pH : Potentiel Hydrogène.

ms/cm : Micro Siemens par Centimètre.

ml : Millilitre.

mg/l : Milligramme par Litre.

µm : Micro Mètre.

MO : Matière Organique.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

TDS : Total des solides dissouts

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

CE : Conductivité électrique

BAG : Baghlia

Liste des abréviations

BOU :Bougdoura

DBK :Draâ Ben Khedda

TAM:Tamda

BHR:Boubhir

ABY : Abi Youcef

ADJ :AssifDjemâa

TKH:Takhokht)

Ib :Indice biotique

Ip : Indice de pollution

US : unité systématique.

Liste des figures

Figure 1 : Situation générale de la région d'étude.....	4
Figure 2 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées dans quelques localités de la wilaya de Tizi-Ouzou : période 2000-2020 (O.N.M.de Tizi-Ouzou).....	7
Figure 3 : Températures moyennes mensuelles à Tizi-Ouzou : période 2000-2020 (données O.N.M de TiziOuzou, 2021).....	9
Figure 4: carte de localisation des stations.....	15
Figure 5 : présentation graphique des températures des deux campagnes pour chaque station.....	59
Figure 6 : Représentation graphique du pH des deux campagnes pour chaque station.....	60
Figure 7 : Représentation graphique du taux d'oxygène lors des deux campagnes pour chaque station.....	61
Figure 8 : Représentation graphique de la turbidité de l'eau des deux campagnes pour chaque station.....	62
Figure 9 : Représentation graphique des MES de chaque station lors des deux campagnes.....	63
Figure 10 : Représentation graphique des MES de chaque station lors des deux campagnes.....	63
Figure 11 : Représentation graphique des TDS de chaque station lors des deux campagnes.....	64
Figure 12 : Représentation graphique de la dureté de chaque station lors des deux campagnes.....	65
Figure 13 : Représentation graphique du calcium de chaque station lors des deux campagnes.....	66
Figure 14 : Représentation graphique de magnésium de chaque station lors des deux campagnes.....	67
Figure 15 : Représentation graphique de la matière organique de chaque station lors des deux campagnes.....	68

Figure 16 : Représentation graphique de l'ammonium de chaque station lors des deux campagnes.....	69
Figure 17 : Représentation graphique des nitrites de chaque station lors des deux campagnes.....	70
Figure 18 : Représentation graphique des nitrates de chaque station lors des deux campagnes.....	71
Figure 19 : Représentation graphique des ortho phosphate de chaque station lors des deux campagnes.....	72
Figure 20 : Représentation graphique du fer de chaque station lors des deux campagnes.....	73
Figure 21 : Représentation graphique des sulfates de chaque station lors des deux campagnes.....	74
Figure 22 : Représentation graphique des chlorures de chaque station lors des deux campagnes.....	75
Figure 23 : Représentation graphique des résidus secs de chaque station lors des deux campagnes.....	76
Figure 24: Répartition globale de la faune benthique dans les stations d'études.....	85
Figure 25 : Répartition de l'abondance de la faune benthique dans les stations d'étude.....	86
Figure 26 : Nombre de taxons identifiés par station.....	87
Figure 27 : abondance des taxons dans les stations étudiées.....	89
Figure 28 : occurrence des taxons dans les stations étudiées.....	90
Figure 29 : Abondance relative des Ephéméroptères étudiés.....	92
Figure 30 : Répartition des Ephéméroptères dans les stations d'étude.....	93
Figure 31 : Abondance relative des Diptères étudiés.....	94
Figure 32 : Distribution des Diptères dans les stations d'étude.....	95
Figure 33 : Abondance relative des dans les stations d'étude.....	96

Figure 34 : Distributions des Coléoptères dans les stations d'étude.....	96
Figure 35 : Abondance relative des Trichoptères recensés.....	97
Figure 36 : Distribution des Trichoptères dans les stations d'étude.....	98
Figure 37 : Abondance relative des Oligochètes recensés.....	99
Figure 38 : Répartition des Oligochètes dans les stations d'étude.....	100
Figure 39 : Evolution des indices H' et E dans les stations étudiées.....	103
Figure 40 : Carte des résultats de l'indice biotique au niveau des stations d'étude (Baiekeche, 2024).....	107

Liste des photographies

Photo 1 : élevage (tamda).....	13
Photo 2 : Prélèvement d'eau à usage agricole (Baghlia).....	13
Photo 3 : Accumulation de déchets solides (bougoura)	13
Photo 4 :déchets ménagers et commerciaux (baghlia).....	13
Photo 5 : décharge au bord de la route (boubhir).....	13
Photo 6 :décharge de grande ampleur (boubir).....	13
Photos 7 (A ; B) : station Baghlia.....	16
Photos 8 (A ; B) : station Bougdoura.....	17
Photo 9 (A ; B) : station Draa ben kheda.....	18
Photos 10 (A ; B) : station Tamda	19
Photos 11 (A ; B) : station Boubhir.....	20
Photos 12 (A ; B) : station Abi Youcef.....	20
Photos 13 (A ; B) : station assif djemaa.....	21
Photos 14 (A ; B) : station takhokht.....	22
Photo 15 : conductimètre.....	25
Photo 16 : turbidimètre.....	26
Photo 17 (A ; B ; C) : spectrophotomètre et cellule de mesure de la couleur et de l'UV respectivement.....	27
Photo 18 (A ; B) : balance analytique et entonnoir.....	28
Photos 19 (A ; B ; C) : ébullition, décoloration et titrage de la matière organique.....	29
Photo 20 :pH-mètre.....	31
Photo 21 : oxymètre.....	31
Photo 22 : conductimètre.....	33
Photos 23 (A ; B) : balance de mesure et capsule.....	34
Photo 24 : titrage du TA.....	35

Liste des photographies

Photo 25 : préparation des échantillons pour la mesure de TAC.....	36
Photo 26 : Réaction chimique de l'ammonium.....	37
Photo 27 : Réaction chimique des ortho phosphate.....	38
Photo 28 : réaction chimique des nitrites.....	39
Photo 29 : réaction chimique des nitrates.....	40
Photo 30 : Dosage de la dureté par titrage : avant et après réaction.....	41
Photo 31 : Dosage du calcium par titrage : avant et après réaction.....	42
Photo 32 : Réaction chimique sulfate.....	44
Photo 33 : Dosage du chlorure par titrage : avant et après réaction.....	45
Photos 34 (A ; B) : Préparation des échantillons pour l'analyse du fer.....	46
Photo 35 : Analyse de l'aluminium à l'aide du kit LCK 301.....	47
Photo 36 : filet surber.....	52
Photos 37 (A ; B) : Matériel utilisé pour le lavage au laboratoire.....	53
Photos 38 (A ; B) : dernière étape du lavage.....	53
Photo 39 : Matériel utilisé pour le tri et détermination au laboratoire.....	54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des superficies par sous bassin (ANRH).....	3
Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées à certaines localités de la vallée du Sébaou (période 2000-2020 ; O.N.M, 2021).....	8
Tableau 3 : Températures moyennes mensuelles à Tizi-Ouzou : période 2000-2020 (données O.N.M de TiziOuzou, 2021).....	9
Tableau 4 : Variation de la concentration d'oxygène dissous de l'eau en fonction de la température (DEGREMENT, 2005).....	24
Tableau 5 : Classes de turbidité usuelles (NTU, néphélobimétrie turbidité unit) (KHENNANE., 2015).....	25
Tableau 6 : Classification des eaux d'après leurs pH (RODIER., 1996).....	30
Tableau 7 : Classification des eaux selon la conductivité (BAHROUN., 2016).....	32
Tableau 8 : Classification des eaux selon les résidus sec(Lounnas, 2008).....	33
Tableau 9 : Grille de la qualité des eaux en fonction du phosphate (ANRH,2009).....	37
Tableau 10 : Classification de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (CCME WQI) (Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.).....	49
Tableau 11 : Valeurs de l'indice canadien de qualité de l'eau (CCME WQI) et classes de qualité associées pour l'ensemble des stations étudiées.....	79
Tableau 12 : Répartition de la faune benthique dans les stations d'étude.....	81
Tableau 13 : Nombre de taxons par groupe faunistique.....	84
Tableau 14 : Indices de diversité H' et E	101
Tableau 15 : Tableau standard de détermination des indices biotiques d'après TUFFERY et VERNEAUX (1967).....	105
Tableau 16 : Qualité de l'eau en fonction des indices biotiques d'après TUFFERY et VERNEAUX, (1967).....	106
Tableau 17 : Les résultats relatifs à la qualité de l'eau dans les huit stations étudiées lors de la campagne d'échantillonnage.....	106

L'eau est l'un des éléments les plus essentiels à la vie sur Terre. Elle constitue non seulement un facteur indispensable au fonctionnement des organismes vivants, mais elle participe aussi activement aux grands équilibres climatiques et écologiques de la planète. Pourtant, malgré son importance vitale, l'eau douce est aujourd'hui l'un des milieux les plus vulnérables, confrontée à des pressions croissantes dues aux activités humaines. L'urbanisation, les rejets domestiques et industriels, l'agriculture intensive ou encore le changement climatique ont fortement contribué à la dégradation de la qualité des eaux de surface, menaçant ainsi les écosystèmes aquatiques et la biodiversité qu'ils abritent (Sanogo & Kabre, 2014 ; Agropolis, 2007).

Dans ce contexte, l'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau est devenue un enjeu majeur. Cette évaluation repose sur deux approches complémentaires : d'une part, l'analyse physico-chimique, qui permet de mesurer directement les concentrations de substances dans l'eau ; d'autre part, l'approche biologique, basée sur l'étude des communautés benthiques, notamment les macroinvertébrés. Ces organismes, sensibles aux modifications de leur environnement, réagissent rapidement aux pollutions et constituent d'excellents bioindicateurs de l'état des milieux (Fossati et al., 2001 ; De Villiers et al., 2005). L'intégration de ces méthodes est désormais largement reconnue pour établir un diagnostic fiable de la qualité des hydrosystèmes (Karr et al., 1986 ; Ohio EPA, 1987).

En Kabylie, de nombreux travaux ont été consacrés à la faune benthique et à l'évaluation écologique des cours d'eau, notamment ceux de Lounaci (1987, 2000), Ait Mouloud (1988), Lounaci-Daoudi (1996), Mebarki (2001), Haouchine (2011), Sekhi et al. (2016), Hami & Haddadi (2021), et Boudjema & Boudali (2023), pour ne citer que les plus récents. Cependant, le bassin versant de l'Oued Sébaou, bien que stratégique, reste encore insuffisamment étudié dans sa globalité, notamment en ce qui concerne l'interaction entre les pressions physico-chimiques et la réponse biologique intégrée.

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail, dont l'objectif est d'évaluer la qualité écologique des eaux de surface du bassin versant de l'oued Sébaou. Pour cela, une approche intégrée a été adoptée, combinant l'analyse physico-chimique de l'eau, l'étude de la faune benthique, et l'utilisation d'indices écologiques. Ce travail s'appuie sur des campagnes d'échantillonnage menées sur huit stations représentatives, afin de mieux comprendre l'impact des pressions environnementales sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques.

L'ensemble de l'étude est structuré en trois chapitres : le premier présente la région d'étude et les sites retenus, le deuxième expose la méthodologie adoptée, et le troisième est consacré à l'analyse et à la discussion des résultats.

I. Présentation du bassin versant du Sébaou

I.1. Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Sébaou se situe dans le nord de l'Algérie, à environ 80 km à l'est d'Alger. Il couvre une superficie de près de 2 500 km² et appartient à l'unité hydrologique des bassins côtiers algérois, sous le code 02 selon la classification de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Sur le plan administratif, le bassin s'étend sur deux wilayas :

- Tizi-Ouzou, qui englobe les zones du haut et du moyen Sébaou.
- Boumerdès, qui couvre la partie aval, soit le bas Sébaou, avec une superficie d'environ 220 km² et un périmètre de 62,6 km.

D'un point de vue géographique, le bassin est compris entre les latitudes 36°27' et 36°55' Nord et les longitudes 3°55' et 4°53' Est.

Il est naturellement délimité comme suit (figure 1) :

- Au nord : par la chaîne littorale et la mer Méditerranée ;
- À l'est : par le bassin versant de la Soummam ;
- À l'ouest : par le bassin versant de l'Isser ;
- Au sud et sud-est : par la chaîne calcaire du Djurdjura.

Le bassin versant du Sébaou est structuré en six sous-bassins hydrographiques, répartis de manière inégale entre le haut, le moyen et le bas Sébaou (**tableau 1**) :

Tableau 1 : Répartition des superficies par sous bassin.

Région	Code des sous bassin versant du Sébaou	Nom des sous bassin versant du Sébaou	Superficie en Km ²	Périmètre en Km
Haut Sébaou	02-15	Assif n Boubhir	532	102.4
	02-16	Oued Sebaou Rebta	432	112
	02-17	Oued Aissi	468	98.6
Moyen Sébaou	02-18	Oued Sébaou Rebta	304	82
	02-19	Oued Bougdoura	5444	94.2
Bas Sébaou	02-20	Oued Sébaou Maritime	220	62.6

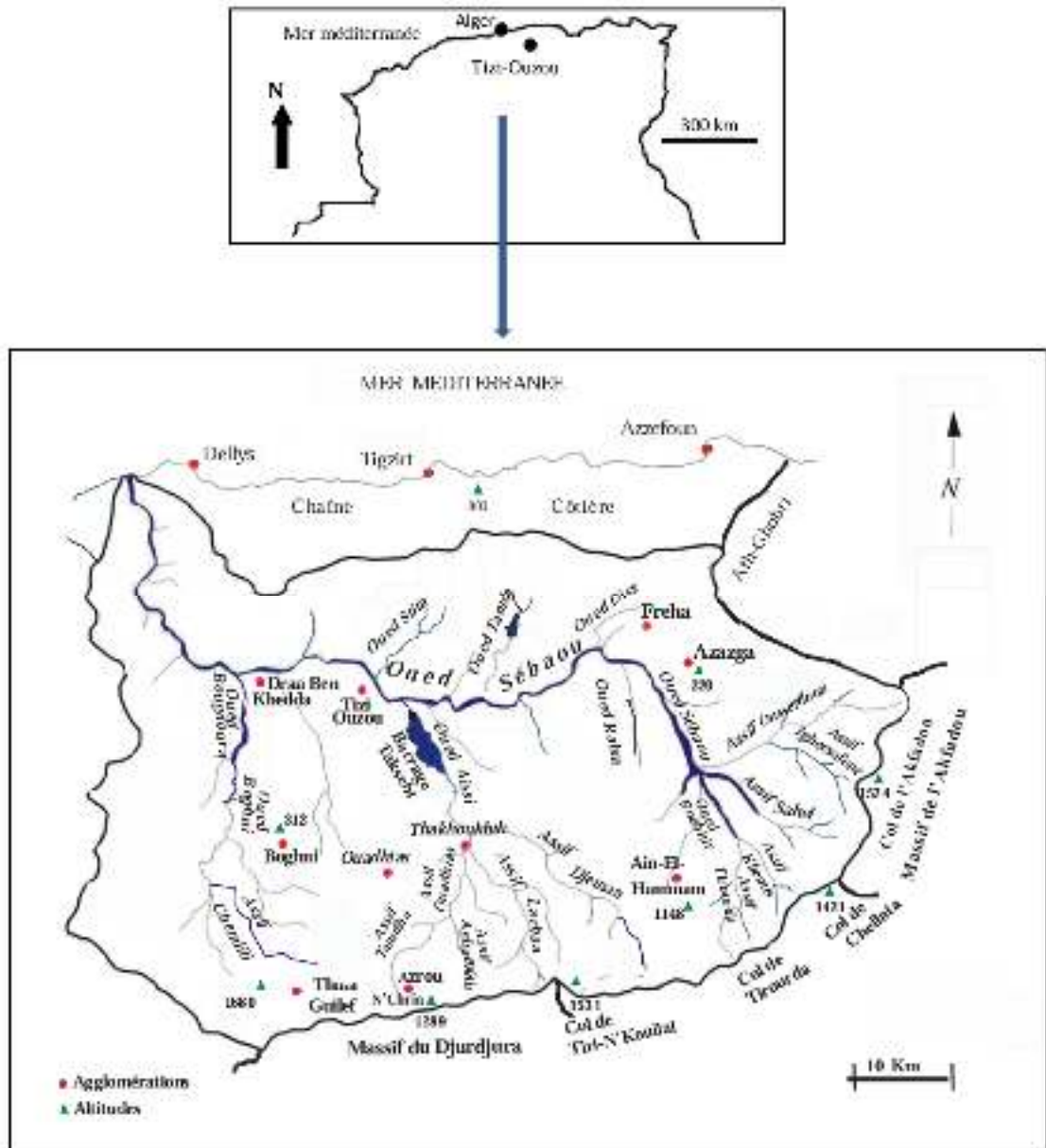


Figure 1 : Situation générale de la région d'étude (Lamine, 2021.).

I.2. Réseau hydrographique

L'Oued Sébaou est l'un des plus grands cours d'eau de la haute Kabylie. D'une manière générale, le réseau hydrographique est dense et très hiérarchisé, le drainage s'effectue par une multitude d'oueds répartis en trois axes d'écoulements principaux :

- Les oueds de rive droite : proviennent de la chaîne littorale, l'oued Dis avec le plus fort débit, prend sa source du djebel Tamgout et débouche dans l'oued Sébaou juste après son premier coude majeur au niveau de Fréha.
- Les oueds de rive gauche : l'oued Bougdoura et l'oued Aissi sont les deux principaux affluents de l'oued Sébaou, qui prennent leur source dans la chaîne du Djurdjura, au sud du bassin versant à des altitudes respectives 1900, 2000 m.

L'Oued Sébaou s'allonge sous trois formes de direction :

- Dans la partie amont (Haut Sébaou): l'oued suit une direction SSE-NNO jusqu'à un coude majeur, situé entre Azazga et Fréha.
- Dans la partie médiane (Moyen Sébaou): l'oued prend une direction E-O, il forme son premier coude avec le haut Sébaou au niveau de la cluse de Belloua.
- Dans la partie avale (Bas Sébaou): l'oued marque son deuxième coude au niveau de Tademaït et empreinte la direction NNO-SSE (Tababouchet., 2017).

I.3. Cadre géologique de la région d'étude

La géologie du bassin versant de l'Oued Sébaou, situé en Grande Kabylie, influence fortement le régime hydrologique local, notamment à travers la perméabilité des formations lithologiques, la dynamique de ruissellement, l'infiltration, ainsi que la formation des crues (Belagoune, 2012). Trois grandes unités géologiques principales caractérisent cette région :

- **La dorsale calcaire du Djurdjura**

Cette chaîne montagneuse constitue une unité structurale majeure, formée de terrains sédimentaires plissés et fracturés, principalement d'âge secondaire et tertiaire, avec une sédimentation calcaire intense durant l'époque liasique (Flandrin, 1952). Le Djurdjura est fortement karstifié, ce qui favorise l'apparition de sources en altitude et de gouffres profonds. Son faciès lithologique, composé de roches calcaires, cristallines et cristallophylliennes, lui confère une résistance à l'érosion linéaire tout en jouant un rôle hydrogéologique essentiel.

- **Le socle Kabyle (ou métamorphique)**

Il est constitué de formations cristallophylliennes variées, telles que les micaschistes, gneiss, schistes, granites et pegmatites (Yakoub, 1996). Par sa topographie et sa nature géologique, ce socle canalise les eaux de pluie vers les affluents de l'Oued Sébaou, jouant ainsi un rôle dans l'alimentation en eau des cours d'eau de surface.

- **Les dépressions sédimentaires**

Ces vallées encaissées, situées entre les reliefs, telles que celles des Ouacifs et de Mechtras (300–400 m) et la dépression du col de Tirourda (1956 m), sont remplies de dépôts sédimentaires. Elles participent au stockage temporaire de l'eau et influencent les écoulements de surface dans la région.

I.4. Climatologie

Toutes les espèces sont soumises dans leur milieu de vie à l'action de facteurs climatiques variés, qui influencent leur comportement, leur distribution spatiale et leur dynamique écologique (Dajoz, 1975).

Le climat de l'Algérie est fortement contrasté, marqué par une influence maritime au Nord et une tendance continentale subdésertique au Sud. Les vents dominants proviennent généralement du Nord et du Nord-Est. Dans ce contexte, la région de la Kabylie du Djurdjura, située au Nord de l'Afrique et en bordure de la Méditerranée occidentale, est soumise à un climat méditerranéen.

Ce climat se caractérise par :

- Une saison estivale chaude et sèche, avec une sécheresse marquée de juillet à septembre.
- Des hivers relativement froids et humides, accompagnés de précipitations souvent intenses et d'une forte variabilité interannuelle (ABDESSELAM, 1995 ; MEDDDOUR, 2010).

I.4.1. Précipitations

La région de Tizi-Ouzou, soumise à un climat méditerranéen, présente un régime pluviométrique marqué par une forte variabilité saisonnière. Les précipitations sont essentiellement concentrées entre octobre et avril, période au cours de laquelle tombe plus de

85 % du total annuel. Les mois de décembre et janvier enregistrent les plus fortes valeurs, avec des moyennes mensuelles dépassant les 120 mm dans la majorité des stations. À l'inverse, les mois de juillet et août sont les plus secs, avec des précipitations souvent inférieures à 5 mm. Cette répartition permet de distinguer deux grandes saisons : une période humide s'étendant d'octobre à la mi-mai, et une période sèche couvrant le reste de l'année.

La **Figure 2** illustre les précipitations moyennes mensuelles enregistrées entre 2000 et 2020 dans plusieurs localités de la wilaya de Tizi-Ouzou. On y observe une augmentation progressive des pluies à partir de septembre, atteignant un pic en Décembre et Janvier, puis une baisse irrégulière jusqu'en été. Cette tendance est confirmée par les valeurs reportées dans le **Tableau 2**, qui présente en détail les quantités moyennes mensuelles relevées dans quatre localités représentatives de la vallée du Sébaou : Azazga, Boubhir, Fréha et Tizi-Ouzou. Ces données mettent en évidence des variations spatiales liées à la localisation géographique et à l'altitude, tout en confirmant la dominance de la saison humide dans la dynamique hydrologique du bassin versant.

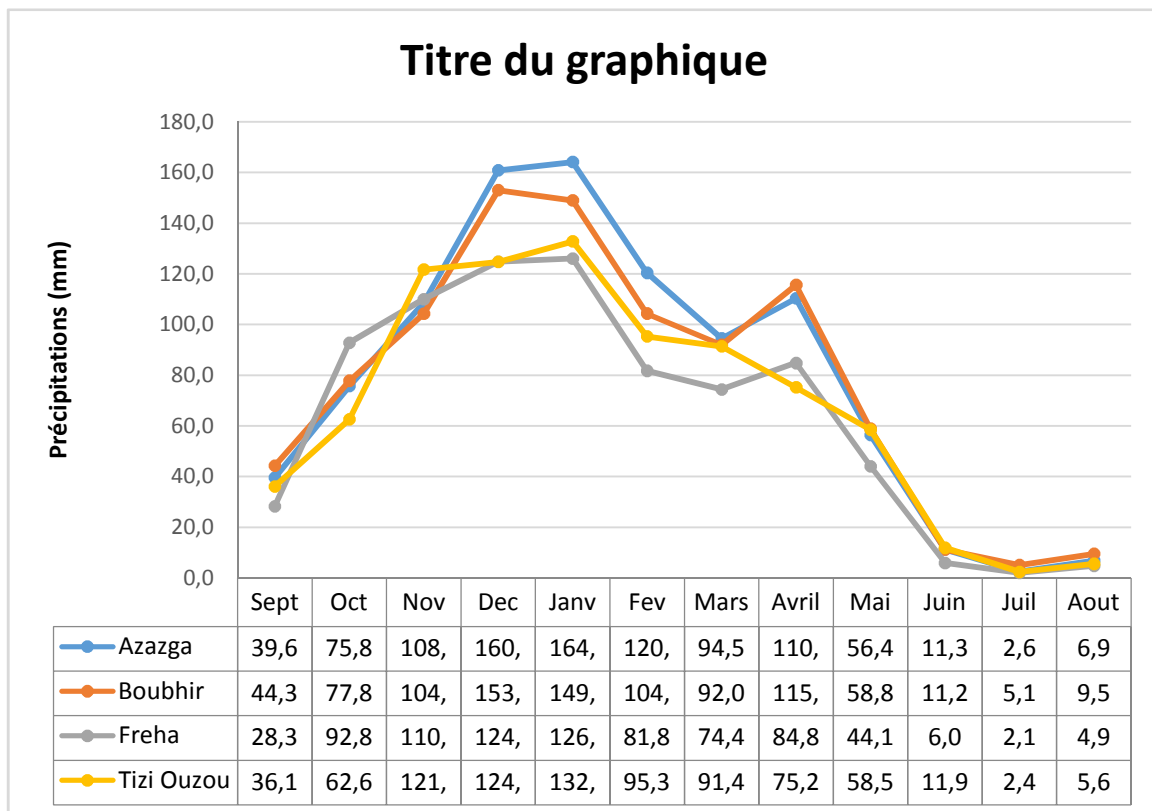


Figure 2 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées dans quelques localités de la wilaya de Tizi-Ouzou : période 2000-2020 (Baikeche, 2024).

Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles enregistrées à certaines localités de la vallée du Sébaou (période 2000-2020 ; Baikeche, 2024).

Altitude /localisation	430	220	155	190
Mois	Azazga	Boubhir	Freha	TiziOuzou
Sept	39,6	44,3	28,3	36,1
Oct	75,8	77,8	92,8	62,6
Nov	108,6	104,2	110,0	121,7
Dec	160,9	153,0	124,8	124,7
Janv	164,1	149,0	126,0	132,8
Fev	120,4	104,3	81,8	95,3
Mars	94,5	92,0	74,4	91,4
Avril	110,3	115,6	84,8	75,2
Mai	56,4	58,8	44,1	58,5
Juin	11,3	11,2	6,0	11,9
Juil	2,6	5,1	2,1	2,4
Aout	6,9	9,5	4,9	5,6
Moy	951,2	924,8	779,8	818,2

I.4.2. Températures :

La température atmosphérique constitue un facteur écologique déterminant dans l'établissement du bilan hydrique et joue un rôle central dans la distribution des espèces vivantes, influençant ainsi leur écologie et leur biogéographie (Dajoz, 1979).

Les températures de l'air, enregistrées à Tizi-Ouzou entre 2000 et 2020, sont portées sur le **tableau 3** et présentées sur la **figure 3** (Baikeche, 2024). L'analyse de ces données révèle un contraste thermique marqué entre les saisons, typique du climat méditerranéen.

Les mois les plus froids sont décembre, janvier et février, avec des températures moyennes respectives de 12,68 °C, 11,44 °C et 11,42 °C, et des minimales atteignant 8,06 °C,

6,85 °C et 6,81 °C. En revanche, les mois les plus chauds, juillet et août, enregistrent des températures moyennes de 28,54 °C et 28,63 °C, avec des maximales de 35,82 °C et 35,22 °C.

L'amplitude thermique annuelle est donc importante, atteignant un écart de 29 °C entre les moyennes des températures minimales hivernales et les maximales estivales. Cette dynamique permet de distinguer deux grandes périodes : une saison froide de novembre à avril, et une saison chaude de mai à octobre.

Ce régime thermique influence directement les processus hydrologiques et biologiques, en modulant l'évaporation, la solubilité de l'oxygène dans l'eau, ainsi que la distribution des communautés aquatiques au sein du bassin versant.

Tableau 3 :Températures moyennes mensuelles à Tizi-Ouzou : période 2000-2020 (Baïkeche, 2024).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne
T°C moyennes minimales	6,85	6,81	8,95	11,42	13,81	17,53	21,26	22,03	19,12	15,63	12,17	8,06	13,64
T°C moy maximales	16,02	16,02	19,16	22,74	26,55	31,39	35,82	35,22	31,64	27,58	19,61	17,29	24,92
T°C moy mensuelles	11,44	11,42	14,06	17,08	20,18	24,46	28,54	28,63	25,38	21,61	15,89	12,68	19,27
DT (°C)	4,56	4,61	5,11	5,66	6,37	6,93	7,28	6,60	6,27	5,97	3,72	4,61	5,64

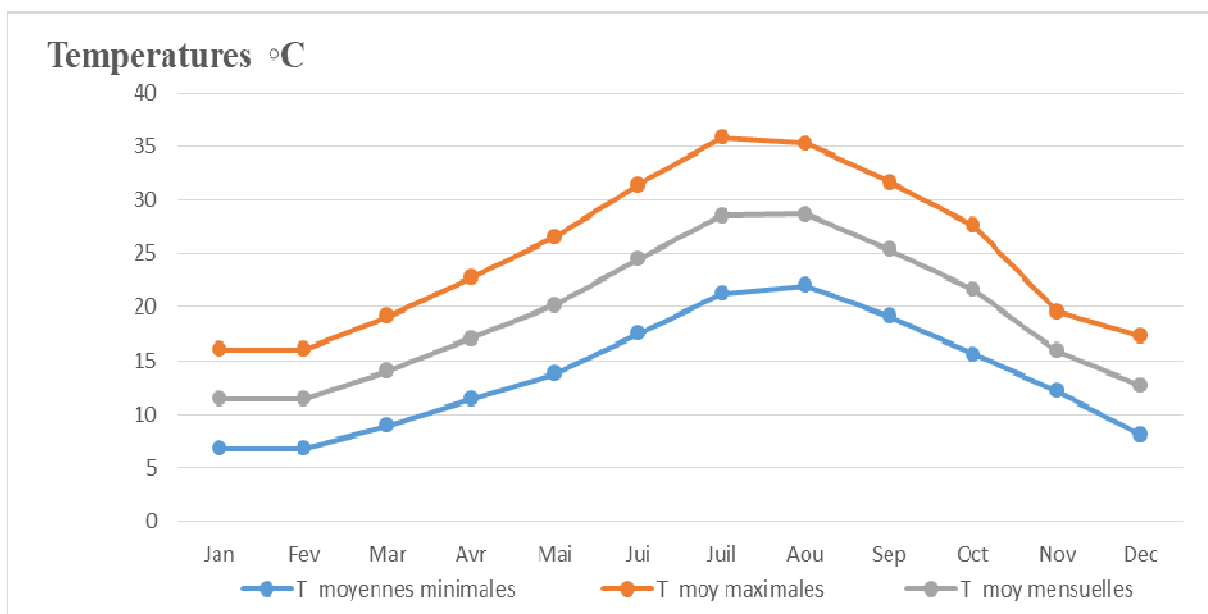


Figure 3 :Températures moyennes mensuelles à Tizi-Ouzou : période 2000-2020 (Baïkeche, 2024).

I.5. Couvert végétal

Le couvert végétal constitue un élément clé des écosystèmes aquatiques. Il intervient à la fois dans la régulation des écoulements de surface et dans le maintien de la température de l'eau, notamment en période estivale. Il représente également une source importante de matière organique pour de nombreuses espèces aquatiques, influençant ainsi la composition et la répartition de la faune benthique (Lounaci, 2005).

La région du Sébaou, à dominante agricole, se caractérise par une grande diversité de formations végétales, réparties selon les particularités du milieu. Le couvert végétal y joue un rôle important dans la préservation de l'équilibre physique et écologique. Sa répartition est principalement déterminée par des facteurs tels que le type de sol, le climat, l'altitude et la nature des roches. Voici plusieurs types de végétation que l'on distingue dans la région

- Sur le versant nord de la chaîne calcaire, entre 1000 et 1600 m d'altitude, la végétation est dominée par le cèdre et différentes espèces de chênes. Cette zone est marquée par des affleurements de grès et de schistes.
- En basse altitude, on trouve surtout le maquis et les oliviers, accompagnés de genêts, lentisques, lauriers-roses et roseaux le long des oueds, typiques d'un environnement méditerranéen.
- Sur le versant sud et dans la basse vallée, où les sols sont marno-argileux et schisteux (GANI, 1988), poussent couramment le figuier, le frêne, le genêt et le figuier de barbarie. L'eucalyptus est également très présent, notamment sur les terrasses alluviales de l'oued Aissi.

I.6. Perturbations anthropiques

La pollution des milieux aquatiques résulte de l'introduction directe ou indirecte de composés chimiques ou de déchets d'origine domestique et industrielle, altérant les propriétés physico-chimiques de l'eau et menaçant la stabilité écologique des écosystèmes aquatiques.

Dans le réseau hydrographique étudié, l'impact anthropique varie d'une région à une autre, selon l'altitude des stations étudiées.

Dans la partie amont du bassin versant de l'oued Sébaou, les principales sources de pollution sont d'origine domestique. Elles proviennent notamment de l'élevage, du pompage

des eaux pour l'irrigation, ainsi que des rejets d'eaux usées provenant des villages voisins. Ces pressions restent limitées et leurs effets sur les cours d'eau sont considérés comme faibles.

En revanche, dans la partie aval, la pollution devient plus marquée et provient de plusieurs sources. L'utilisation excessive d'engrais chimiques, d'herbicides et d'insecticides en agriculture entraîne une contamination des eaux de surface et souterraines. À cela s'ajoutent les rejets urbains liés à l'augmentation de la population et à la demande croissante en eau. Les eaux usées, provenant à la fois des centres de la vallée et des villages en hauteur, sont souvent rejetées directement dans le réseau hydrographique, aggravant ainsi la dégradation de la qualité de l'eau.

I.6.1. Origine urbaine

Dans la zone d'étude, les cours d'eau reçoivent des rejets domestiques provenant de plusieurs agglomérations proches, ainsi que des déchets issus de décharges publiques mal gérées (figure1) (figure2) (figure3) (figure4). En été, l'absence de systèmes d'assainissement efficaces, combinée à la baisse du débit et aux fortes températures, aggrave la pollution. Les cours d'eau deviennent alors des égouts à ciel ouvert, menaçant la vie aquatique et la santé humaine. De plus, les lixiviats issus de l'enfouissement des déchets peuvent contaminer les eaux de surface par ruissellement et les nappes souterraines par infiltration.

I.6.2. Origine agricole

L'intensification de l'agriculture dans la région contribue fortement à la dégradation de la qualité des eaux (photo 2). L'utilisation massive d'engrais chimiques (nitrates, phosphates), de pesticides et d'herbicides entraîne une pollution progressive des eaux souterraines et de surface. À cela s'ajoutent les rejets liés à l'élevage (photo 1) et à l'aviculture, dont les déchets organiques favorisent la prolifération de substances nutritives en excès, perturbant l'équilibre biologique des milieux aquatiques. Ce type de pollution est bien visible dans le bassin versant de l'oued Sébaou, où les pratiques agricoles intensives sur les berges contribuent à l'eutrophisation des eaux. Le pompage intensif pour l'irrigation, notamment dans les zones en aval, appauvrit les ressources hydriques et accentue la pression sur la biodiversité aquatique. Il peut également dégrader la qualité des nappes, traditionnellement utilisées pour l'alimentation en eau potable des populations locales.

I.6.3. Origine industrielle

Plusieurs unités industrielles implantées le long des cours d'eau dans la wilaya de Tizi-Ouzou rejettent, parfois sans traitement, leurs effluents dans l'oued Sébaou, entraînant une altération chimique notable de ses eaux.

I.6.4. Origine mécanique

L'extraction des matériaux comme le sable et les graviers perturbe la structure des oueds en modifiant leur morphologie et en remettant en suspension les particules fines. Cette perturbation limite la productivité primaire et entraîne une dégradation progressive des écosystèmes aquatiques.



Photo 1 : élevage (Tamda)



photo 2 : Prélèvement d'eau à usage agricole (Baghlia)



Photo 3: Accumulation de déchets solides (Bougdoura)



photo 4: Déchets ménagers et commerciaux (Baghlia)



hoto5: Décharge au bord de la route (Boubhir)



photo 6: Décharge de grande ampleur (Boubhir)

II. Sites d'étude et méthodes

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de la qualité des eaux de surface du bassin versant de l'oued Sébaou a été réalisée à partir d'un réseau d'échantillonnage comprenant huit stations réparties stratégiquement tout au long de son cours. Le choix de ces stations repose sur une combinaison de critères environnementaux, géographiques et pratiques, tels que leur position en amont ou en aval du bassin, le degré d'influence anthropique (proximité des centres urbains, présence de rejets domestiques ou industriels), la diversité des habitats aquatiques rencontrés, ainsi que l'accessibilité et la sécurité des sites au moment des prélèvements sur le terrain. La carte suivante illustre la localisation précise des huit (8) stations étudiées, elles sont représentées par des carrées noires.

- ✓ Station 1 : Baghlia (BAG)
- ✓ Station 2 : Bougdoura (BOU)
- ✓ Station 3 : Draâ Ben Khedda (DBK)
- ✓ Station 4 : Tamda (TAM)
- ✓ Station 5 : Boubhir (BHR)
- ✓ Station 6 : Abi Youcef (ABY)
- ✓ Station 7 : AssifDjemâa (ADJ)
- ✓ Station 8 : Thakhoukht (TKH)

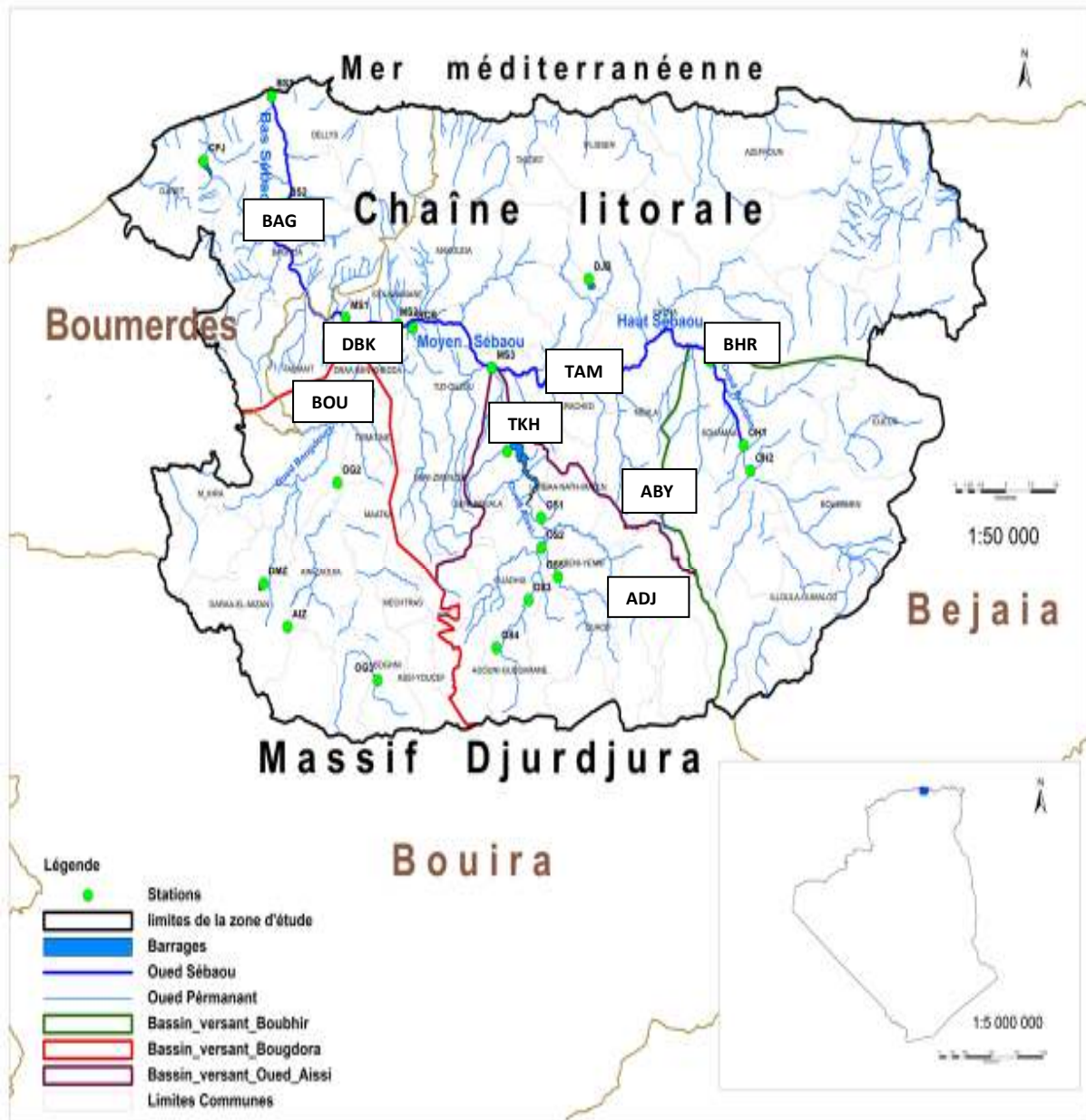


Figure 4 : carte de localisation des stations (Baïkeche, 2024)

II.1. Description des stations

II.1.1. Station Baghlia

La station de Baghlia est située dans la partie avale du bassin versant du Sébaou, à environ 2 km au sud du centre urbain de Baghlia (wilaya de Boumerdès), sur le cours de l'oued du même nom. Elle est précisément localisée à une latitude nord de $36,833142^\circ$ et une longitude est de $3,867943^\circ$, à une altitude estimée à 50 mètres. La distance qui la sépare de la mer Méditerranée, au niveau du Cap Djinet, est d'environ 15 km.

Le lit mineur présente une largeur moyenne de 8 mètres pour une profondeur moyenne de 50cm. Le lit majeur atteint quant à lui une largeur de 25 mètres, avec une profondeur pouvant varier entre 80cm et 1 mètre en période de crue. L'écoulement y est modéré, caractérisé par un courant fluide mais peu rapide.

La granulométrie du substrat est hétérogène, composée de galets, de graviers et de sable, répartis de manière variable. Les berges sont occupées par un couvert végétal semi-dense, constitué principalement de roseaux (*Phragmites australis*), de calycotomes et d'autres espèces hygrophiles. Un développement notable d'algues filamenteuses est également observé sur les substrats immergés, notamment durant la période estivale.

Le site est fortement marqué par une pollution organique significative, comme en témoignent la présence de déchets solides, de rejets d'eaux usées domestiques et d'odeurs nauséabondes.

**A****B****Photos7 (A ; B): Station Baghlia.**

II.1.2. Station Bougdoura

La station est implantée sur l'oued Bougdoura, un affluent en rive droite de l'oued Sébaou, dans sa partie médiane, à proximité de zones agricoles et périurbaines. Le site est localisé à une latitude nord de 36,690806° et une longitude est de 3,941464°, à une altitude d'environ 90 mètres.

Le lit mineur présente une largeur moyenne de 8 mètres pour une profondeur d'eau avoisinant les 35 cm. L'écoulement est fluide et régulier. Le substrat est hétérogène, composé de sable grossier, de graviers fins et de petits galets.

La végétation riveraine est modérément distante du cours d'eau, elle est composée d'eucalyptus dispersés, de roseaux et de quelques cactus sur les talus. Le développement algal reste limité.

Toutefois, le site subit plusieurs pressions anthropiques, notamment des rejets de déchets domestiques, des écoulements issus de réseaux d'assainissement non maîtrisés.

**A****B**

Photos 8 (A ; B) : Station Bougdoura.

II.1.3. Station Draa Ben Khedda

La station de Draâ Ben Khedda est située dans la moyenne vallée de l'oued Sébaou, dans la wilaya de TiziOuzou. Elle se localise à une latitude nord de $36,747557^\circ$ et une longitude est de $3,993603^\circ$, à une altitude approximative de 75 mètres. La distance qui la sépare du littoral méditerranéen est d'environ 25 km en direction est.

Le lit mineur présente une largeur moyenne de 10 mètres pour une profondeur stable avoisinant les 28 cm. Le site est caractérisé par un écoulement lent, voire quasi stationnaire par endroits.

Le substrat est majoritairement composé de galets de taille moyenne à grande, entrecoupés par des zones à granulométrie plus fine dans les secteurs calmes. Les berges

présentent un couvert végétal clairsemé et discontinu. Quelques algues vertes sont observées, bien que leur développement demeure localisé.

On note la présence d'activités anthropiques en amont et à proximité du site notamment une centrale à béton et des rejets industriels.

**A****B**

Photo 9 (A ; B) : Station Draa ben kheda.

II.1.4. Station Tamda

La station de Tamda est située à proximité de la commune de TiziOuzou, dans la zone intermédiaire du bassin versant. Elle est positionnée à une latitude Nord de $36,703927^\circ$ et une longitude est de $4,191311^\circ$, à une altitude estimée à 150 mètres. Sa distance à la mer Méditerranée est d'environ 70 km.

Le lit mineur du cours d'eau présente une largeur moyenne de 13 mètres pour une profondeur de la lame d'eau avoisinant 27cm. La pente, relativement faible (environ 1 %), engendre un écoulement lent à modéré.

Le substrat est dominé par des galets et des graviers (70 %), avec une fraction de sable plus fine représentant environ 30 %. Le couvert végétal en bordure est peu développé : il se compose essentiellement d'herbacées et de quelques arbustes clairsemés. Le sol reste globalement nu sur une large portion du site, ce qui favorise un ensoleillement intense sur l'ensemble du lit du cours d'eau.



A

B

Photo 10 : Station Tamda.

II.1.5. Station Boubhir

La station de Boubhir est localisée à proximité de la commune d'Iloula, à environ 15 km de celle-ci. Elle se situe à une latitude nord de $36,640532^\circ$ et une longitude est de $4,386606^\circ$, à une altitude d'environ 180 mètres. La distance qui la sépare de la mer Méditerranée est estimée à 70 km.

Le lit mineur présente une largeur moyenne de 6,30 mètres, avec une profondeur de la lame d'eau atteignant 68cm, ce qui traduit un écoulement de débit moyen. Le site est caractérisé par une pente modérée de l'ordre de 1,5 %.

Le substrat est essentiellement constitué de galets et de graviers (80 %), complété par une proportion moindre de sable (20 %). Le couvert végétal riverain est peu dense, formé principalement d'herbacées et d'arbustes épars. Cependant, les rives présentent des signes évidents de perturbation, notamment sous l'infrastructure du pont, où s'accumulent divers déchets solides.



A



B

Photos 11 (A ; B) : Station Boubhir.

II.1.6. Station Abi Youcef

Le cours d'eau de montagne Abi Youcef prend sa source à plus de 750 mètres d'altitude, s'écoulant à travers un relief accidenté, escarpé et rocheux. Sur une distance d'environ 13,5 km, il suit un tracé sinueux dans les creux des montagnes, formant de nombreuses cascades en période de hautes eaux.

Présentant une pente moyenne d'environ 7 %, il s'oriente du Sud vers le Nord, entre 1000 m et 850 m d'altitude, avant de se jeter dans l'Assif El Djemaa. Ce cours d'eau se caractérise par un lit étroit, d'une largeur moyenne comprise entre 3 et 5 mètres, et une profondeur ne dépassant généralement pas 70 cm.

Son débit est rapide et irrégulier, principalement alimenté par la fonte des neiges et les précipitations saisonnières. Le lit est composé de rochers, de blocs et de graviers, favorisant un écoulement turbulent, marqué par la présence de torrents, remous et petites chutes d'eau.



A



B

Photo 12 (A ; B) : Station Abi Youcef.

II.1.7. Assif El Djemaa

La station d'échantillonnage d'Assif El Djemaa est située dans la partie amont du bassin versant du Sebaou, à environ 6 km de la commune d'Aqbil. Elle se localise précisément à une latitude nord de $36,543715^\circ$ et une longitude est de $4,281334^\circ$, à une altitude approximative de 500 mètres. La distance qui la sépare de la mer Méditerranée est de 82 km.

Le lit mineur du cours d'eau présente une largeur moyenne de 2,6 mètres et une profondeur moyenne de la lame d'eau de 28cm. La pente du site est modérée, estimée à 2,1 %, ce qui favorise un écoulement relativement rapide mais stable. Le substrat du lit est majoritairement constitué de galets et de graviers (60 %), associés à des sables et des limons (40 %).

Le couvert végétal en bordure du site est clairsemé, composé principalement d'arbustes, de graminées et de plantes à larges feuilles, généralement éloignées des rives. Cette configuration permet une exposition solaire importante sur la majeure partie du cours d'eau.

En amont de cette station, plusieurs pressions anthropiques ont été identifiées, notamment la présence d'un réseau d'assainissement, d'une centrale à béton et d'un élevage avicole (poulailler).



A



B

Photo 13 (A ; B) : Station assif El Djemaa.

II.1.8. Station Thakhoukht

La station de Thakhoukht est située dans la région de TiziOuzou, à environ 15 km du cours de l'Oued Aïssi. Elle est géographiquement positionnée à une latitude nord de $36,609769^\circ$ et une longitude est de $4,151970^\circ$, à une altitude approximative de 200 mètres. La distance qui la sépare de la mer Méditerranée est estimée à 65 km.

Le lit mineur présente une largeur moyenne de 11,15 mètres, avec une profondeur de la lame d'eau atteignant 48cm. Le site est caractérisé par une pente modérée de l'ordre de 1,5 %, générant un écoulement de débit moyen à relativement faible.

Le fond du cours d'eau est constitué majoritairement de galets et de graviers (60 %), associés à des éléments plus fins tels que les sables et les limons (40 %). Le couvert végétal sur les berges est relativement dense, composé d'arbustes, de broussailles et d'arbres typiques des écosystèmes méditerranéens, notamment le chêne vert. Cette végétation s'étend jusqu'aux rives, bien que la présence de zones plus dégagées permette un ensoleillement partiel du plan d'eau.

L'environnement immédiat est marqué par la présence d'activités anthropiques, notamment de nombreux poulaillers et élevages bovins.



A

B

Photo 14 (A ; B) : Station Thakhoukht

Dans le cadre de cette étude, une approche combinée a été adoptée pour évaluer la qualité des eaux de surface du bassin versant du Sébaou. Elle repose à la fois sur des analyses physico-chimiques et sur l'étude biologique des macroinvertébrés benthiques. Ce chapitre présente de manière détaillée les différentes étapes de la méthodologie employée

III. Matériels et méthodes pour l'étude physico-chimique

III.1. Technique de prélèvement de l'eau

Avant toute analyse de la qualité de l'eau, un échantillonnage rigoureux est nécessaire pour garantir la représentativité de la masse d'eau au moment et à l'endroit du prélèvement (Afnor).

Selon Rodier, le prélèvement consiste à collecter, suivant un protocole précis, une portion représentative des eaux de surface de l'oued Sébaou. Cette étape est essentielle, car la qualité des résultats analytiques dépend directement des conditions dans lesquelles les échantillons sont prélevés.

Dans le cadre de cette étude, l'échantillonnage a été réalisé dans 8 stations réparties le long des principaux oueds du bassin versant de l'oued Sébaou. Deux campagnes ont été menées : la première le 8 mars 2025, la seconde le 12 avril 2025, afin d'évaluer l'évolution de la qualité physico-chimique au fil du temps.

À chaque station, le même protocole a été suivi :

- Avant tout, le prélèvement s'est fait sans perturber les sédiments du fond, pour ne pas fausser les résultats.
- La température de l'eau a été mesurée sur le terrain à l'aide d'un thermomètre classique, à environ 15 cm sous la surface.
- Les échantillons ont été prélevés dans la direction principale de l'écoulement.
- Une distance suffisante a été respectée par rapport aux berges et aux obstacles.
- Le prélèvement a été effectué en contre-courant pour assurer la représentativité.
- L'eau a été recueillie dans des bouteilles en plastique de 1,5 L, rincées plusieurs fois avec l'eau du site.
- Les bouteilles ont été remplies à ras bord, étiquetées avec le nom de la station et la date.
- Elles ont ensuite été placées dans une glacière à basse température, à l'abri de la lumière.

Les échantillons ont été conservés pendant 24 heures à basse température, dans des glacières réfrigérées, avant d'être transportés au laboratoire où les analyses physico-chimiques ont été effectuées. Le matériel utilisé lors des prélèvements sur le terrain est détaillé dans (l'annexe 1).

IV. Méthode d'analyse physico-chimique

Après la collecte des échantillons sur le terrain, les analyses physico-chimiques des échantillons d'eau ont été réalisées au niveau du laboratoire de la SEAAL (annexe 2), équipé pour le traitement et l'analyse des principaux paramètres de la qualité des eaux de surface, conformément aux normes en vigueur.

Les méthodes de mesure appliquées pour chaque paramètre sont décrites ci-dessous.

IV.1. Paramètre physique

IV.1.1. Température

Il est indispensable de connaître la température exacte de l'eau; car c'est un facteur important de vie pour les cours d'eau.

Un changement de la température affecte les propriétés de l'eau. Elle influe sur la solubilité de l'oxygène dans l'eau comme le montre le **tableau 4** et sur la cinétique des réactions biochimiques, par conséquent la température influe également sur le pouvoir auto-épuration des cours d'eau (Degrement, 2005).

Tableau 4: Variation de la concentration d'oxygène dissous de l'eau en fonction de la température (Degrement, 2005).

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30
Oxygène dissous (mg/l)	14.26	12.37	10.92	9.76	8.84	8.11	7.53

La température a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (**photo 15**) comme suit :

- La sonde thermométrique est plongée dans un bécher contenant l'eau échantillonnée.
- Après un temps de stabilisation de 1 à 2 minutes, une lecture stable est obtenue.
- Les valeurs de la température (en °C) ont été enregistrées.



Photo 15 : Conductimètre

IV.1.2. Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau, ou la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (Lounas., 2009).

La clarté de l'eau peut être considérée de la façon représentée dans le tableau suivant :

Tableau 5:Classes de turbidité usuelles (NTU, néphélométrie turbidité unit) (khennane., 2015).

NTU<5	Eau claire.
NTU<30	Eau légèrement trouble.
NTU>50	Eau trouble.

La mesure de la turbidité a été réalisée à l'aide d'un turbidimètre(**photo 16**) fonctionnant selon la méthode néphélométrique. Pour cela, une cuve propre a été remplie avec l'échantillon d'eau à analyser Une fois le turbidimètre mis en marche, nous avons attendu la stabilisation de la lecture. Dès que la valeur a commencé à diminuer, nous avons appuyé sur la touche "entrée" afin de figer la mesure. La valeur affichée à l'écran a été relevée comme résultat de la turbidité de l'échantillon. La cuve a ensuite été insérée dans l'appareil.



Photo 16 : Turbidimètre.

IV.1.3. Couleur

La coloration de l'eau de surface est à l'origine de présence des éléments colorés provenant de diverse source, notamment :

- Les substances minérales : plus précisément le fer et le manganèse, provenant de la nature.
- L'eutrophisation et la décomposition de matière organique.
- L'industrie chimique.

Une coloration de l'eau est indésirable, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité (Degerment, 1989).

La mesure de la couleur a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre selon les étapes suivantes :

- Sélection du programme "couleur" sur l'appareil.
- Préparation du blanc afin d'étalonner le spectrophotomètre.
- Placement de l'échantillon dans une cuve transparente.
- Lecture du résultat affiché sur l'écran de l'appareil.
- Mention du résultat obtenu.

IV.1.4. Ultraviolet

Ce paramètre est utilisé pour détecter certains composés absorbants, en particulier les matières organiques dissoutes. Il est souvent mesuré à 254 nm pour évaluer la matière organique naturelle (Joret et Levi, 1998).

La mesure des UV a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV (photo 17), selon une méthode similaire à celle utilisée pour la couleur :

- Sélection du programme UV sur l'appareil.
- Préparation du blanc pour l'étalonnage de l'appareil.
- Utilisation d'une cuve transparente en quartz.
- Lecture du résultat affiché sur l'écran.
- Mention du résultat obtenu

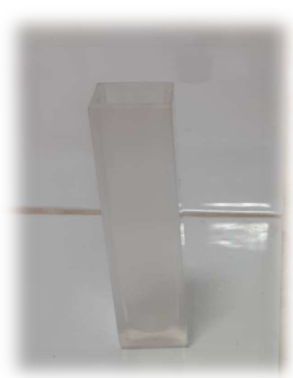
**A****B****C**

Photo 17 (A ; B ; C) : Spectrophotomètre et cellule de mesure de la couleur et de l'UV respectivement.

IV.1.5. Matière en suspension MES

C'est la quantité de l'ensemble des particules organiques (MVS) ou minérale (MMS) non dissoutes de la pollution (matière non décantables et colloïdales).

L'analyse de ce paramètre permet de déterminer le degré de pollution urbaine et industrielle (Metahri, 2012).

La présence des matières en suspension, diminue la concentration en oxygène dissous, ce qui rend les activités des micro-organismes faibles et par conséquent une diminution du phénomène d'autoépuration (Hadeef et Hasni, 2017).

Pour mesurer les matières en suspension (MES), nous avons procédé comme suit :

- Le filtre a d'abord été pesé à vide afin de déterminer sa masse initiale (M_0).

- Il a ensuite été placé dans l'entonnoir du système de filtration sous vide en acier inoxydable.
- Après avoir bien agité les bouteilles, 100 ml de l'échantillon ont été versés dans l'entonnoir.
- La pompe à vide a été activée pour accélérer la filtration et permettre la rétention des matières en suspension sur le filtre.
- Une fois la filtration terminée, le filtre a été retiré avec précaution, puis placé dans une étuve à 105°C pendant 24 heures afin d'éliminer toute trace d'humidité.
- Le filtre sec a ensuite été pesé pour déterminer sa masse finale (M1).

La concentration des MES, exprimée en mg/L, a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{MES} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{M1} - \text{M0}}{100} \times 1000 \times 1000$$

Avec :

- **M1**: masse du filtre séché avec les matières en suspension (g)
- **M0**: masse du filtre à vide (g)
- **100**: volume de l'échantillon filtré (mL)
- **1000**: facteur de conversion pour obtenir la concentration en mg/L



A



B

Photo 18 (A ; B) : Balance analytique et entonnoir.

IV.1.6. Matière organique

La matière organique est un caractère fondamental des écosystèmes aquatiques. Elle est constituée d'un grand complexe des composés hétérogènes. La MO est naturelle (MON) lorsqu'elle provient des eaux naturelles, mais dans certains cas elle est d'origine anthropique lorsqu'elle provient des rejets urbains, industriels ou agricoles.

Dans le milieu aquatique la matière organique prend deux formes :

- La matière organique d'origine autochtone : résultant naturellement dans le milieu aquatique par l'activité phytoplanctonique et microbienne.
- La matière organique d'origine allochtone ou terrestre : c'est à l'origine de lessivage des sols et la percolation des eaux dans les sols) (Rodier, 2009).

Nous avons mesuré la matière organique comme suit :

- Nous avons versé 100 ml de notre échantillon dans des béchers.
- Ensuite, nous avons ajouté 20 ml de H₂SO₄ (acide sulfurique) et 20 ml de KMnO₄ (permanganate de potassium) à chaque bécher.
- Nous avons laissé la solution atteindre l'ébullition et avons maintenu cette température pendant 10 minutes.
- Après cette étape, nous avons décoloré la solution en ajoutant de l'oxalate de sodium (Na₂C₂O₄).
- Ensuite, nous avons procédé à un titrage à chaud avec du KMnO₄ jusqu'à ce que la solution devienne d'un rose pâle.

Le volume d'oxalate de sodium utilisé a été noté, et à partir de cela, nous avons calculé la concentration en KMnO₄ en utilisant la formule suivante :

$$IKMnO_4 = \frac{(Vt - Vb)}{vr} \times 16$$

Où :

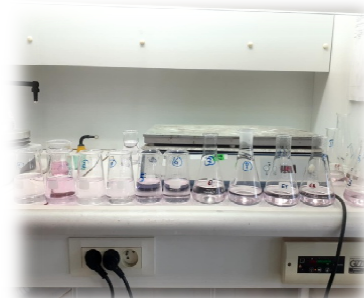
- **Vt**: volume de permanganate de potassium utilisé pour l'échantillon (mL).
- **Vb**: volume de permanganate utilisé pour le blanc (mL).
- **Vr**: volume d'échantillon analysé (mL).
- **16** : facteur de conversion utilisé pour exprimer le résultat en mg/L d'O₂ équivalent.



A



B



C

Photos 19 (A ; B ; C) : Ebullition, décoloration et titrage de la matière organique.

IV.2. Paramètre physico-chimique

IV.2.1. Ph

Le potentiel hydrogène est un paramètre de mesure de l'acidité de l'eau par la mesure de la concentration des ions d'hydrogène H^+ , c'est un indicateur de pollution des eaux naturelles. Il a une échelle comprise entre 0 (eau très acide) à 14 (eau très alcaline), par contre 7 c'est la valeur normale de la plupart des eaux de surface. L'eau acide (avec un pH faible) augmente le risque d'une contamination par les métaux sous forme ionique qui sont toxiques à tous les niveaux trophiques. En outre l'eau très basique (avec un pH élevé) provoque une contamination par l'ammoniac.

Généralement la valeur normale de pH des eaux de surface s'étend entre 6 et 8 pour les eaux non contaminées (**tableau 6**)

Tableau 6: Classification des eaux d'après leurs pH (RODIER., 1996).

pH<5	Acidité forte : présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH=7	pH neutre.
7<pH<8	Neutralité approchée : majorité des eaux de surface.
5,5<pH<8	Majorité des eaux souterraines.
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre(**photo 20**)

- L'appareil a été mis en marche en appuyant sur le bouton ON/OFF.
- Un bécher contenant l'échantillon a été placé sur un agitateur magnétique.
- L'électrode du pH-mètre a été immergée dans l'échantillon en cours d'agitation.
- Une fois la valeur stabilisée, la lecture affichée sur l'écran a été notée



Photo 20 : pH-mètre.

IV.2.2. Oxygène dissout O₂

L'oxygène dissout est un paramètre important pour la vie aquatique. Son origine concernant l'eau de surface, c'est l'atmosphère en plus de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. Sa variation en concentration varie quotidiennement selon les saisons à cause de différents facteurs comme la pression atmosphérique, la température de l'eau, l'agitation de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, et la concentration des nutriments.

L'impact des activités des organismes aquatiques ainsi que la décomposition de matière organique peut conduire à un appauvrissement de l'oxygène dans l'écosystème (l'anaérobie). (Beupoil et Bornens, 1997).

La concentration en oxygène dissout a été mesurée à l'aide de la méthode électrochimique, en utilisant une sonde oxymétrique, selon les étapes suivantes :

- Immersion de l'électrode dans l'échantillon d'eau.
- Attente de la stabilisation des résultats.
- Lecture et mention de la concentration obtenue, exprimée en mg/L.



Photo 21 : Oxymètre.

IV.2.3. Conductivité

La conductivité électrique est un phénomène physique qui consiste à laisser passer librement les charges électriques dans un corps, solide ou liquide. Une solution d'électrolytes contient des ions mobiles qui facilitent le déplacement du courant, et donc la conductivité électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. Sur le **tableau 7** nous avons reporté la classification des valeurs de la conductivité et l'appréciation de la qualité de l'eau en parallèle.

Tableau 7: Classification des eaux selon la conductivité (Bahroun., 2016).

Type d'eau	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Eau de minéralisation très faible	$CE < 10$
Eau de minéralisation faible	$CE < 200$
Eau de minéralisation peu concentré	$200 < CE < 400$
Eau de minéralisation moyenne	$400 < CE < 600$
Eau de minéralisation importante	$600 < CE < 1000$
Eau de minéralisation excessive	$CE > 1000$

La conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre comme suit :

- La sonde thermométrique est plongée dans un bécher contenant l'eau échantillonnée.
- Après un temps de stabilisation de 1 à 2 minutes, une lecture stable est obtenue.
- Les valeurs de la conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) ont été enregistrées.

IV.2.4. Total des solides dissouts (TDS)

Le total des solides dissouts (TDS) correspond à la concentration des substances dissoutes présente dans l'eau. Il s'agit principalement de sels inorganiques issus d'activité anthropique, ainsi que de quelque matière organique d'origine naturelle. (Chaden, 2014).

IV.2.5. Salinité :

La salinité désigne la concentration des sels minéraux dissous dans l'eau (Chlorure de Sodium, Chlorure de Magnésium, Sulfate de Magnésium, etc.) et elle est variable d'un endroit à un autre. Elle est exprimée soit par la valeur de conductivité électrique (CE) soit par les résidus secs (RS) (Hider, 2019).

L'évaluation de la salinité et du TDS (Total Dissolved Solids) a été effectuée à l'aide d'un conductimètre (photo 22)

- Dans un premier temps, la sonde du conductimètre a été immergée dans l'échantillon d'eau.
- L'appareil a été ensuite réglé sur le mode salinité ; après stabilisation de la mesure, la valeur de la salinité s'est affichée à l'écran.
- Par la suite, le conductimètre a été reprogrammé en mode TDS, et une fois la stabilisation atteinte, la valeur correspondante du TDS a également été enregistrée.



Photo 22 : Conductimètre.

IV.2.6. Résidu sec

Les résidus secs sont des indicateurs exprimant le degré de minéralisation, et donne une idée générale concernant la teneur en substance dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux) (Mekaoussi, 2014)

Tableau 8: Classification des eaux selon les résidus sec (Lounnas, 2008).

RC	<50mg/l	50-500mg/l	500-1500mg/l	>1500mg/l
Type de l'eau	Très faiblement minéralisé.	Faiblement minéralisé.	Moyennement minéralisée.	Fortement minéralisé.

Pour déterminer les résidus secs de nos échantillons, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Les capsules vides ont été pesées à l'aide d'une balance de précision afin de connaître leur masse initiale (Pi).
- 50 ml d'échantillon ont ensuite été versés dans chaque capsule.

- Les capsules ont été placées dans une étuve à 105°C pendant 4 heures, afin de faire évaporer toute l'eau.
- Après ce temps, elles ont été laissées à refroidir dans un dessiccateur, pour éviter toute réabsorption d'humidité.
- Une fois refroidies, les capsules ont été pesées pour obtenir la masse finale (Pf) incluant les résidus.

Enfin, la concentration en résidus secs (mg/L) a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Résidu sec} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{Pf} - \text{Pi})}{50} \times 1000 \times 1000$$

Avec :

- **Pf**: masse finale de la capsule avec les résidus (g)
- **Pi**: masse initiale de la capsule vide (g)
- **50**: volume de l'échantillon prélevé (mL)
- **1000**: facteur de conversion pour obtenir la concentration en mg/l

**A****B****Photos 23 (A ; B) : Balance de mesure et capsule.**

IV.2.7. Titre alcalimétrique (TA)

Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions d'hydroxydes (OH^-) et à la moitié des ions de carbonates (CO_3^{2-}). Cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3 (Rejsek., 2002).

Pour déterminer l'alcalinité (TA), nous avons utilisé un titrage à l'acide sulfurique sur un échantillon de 100 ml.

- 6 gouttes de phénolphthaléine, indicateur coloré, ont été ajoutées à l'échantillon. (Cet indicateur est incolore en milieu acide et devient rose en milieu basique.)

- Le titrage a été effectué avec de l'acide sulfurique (H₂SO₄), jusqu'à la disparition complète de la coloration rose, signe que le point d'équivalence a été atteint (pH ≈ 8,2).
- Le volume d'H₂SO₄ utilisé a été noté.

Le titre alcalimétrique (TA) a ensuite été calculé en °F à l'aide de la formule suivante :

$$\text{TA} = v \times 10$$

V : volume titré (mg/l)



Photo 24 : Titrage du TA.

IV.2.8. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Correspondant à l'alcalinité totale au pH de 4,5 ce qui revient à déterminer les ions d'hydrogénocarbonates (HCO₃⁻), les ions de carbonates (CO₃²⁻) et les ions d'hydroxydes (OH⁻).

Pour la détermination du TAC (Titre Alcalimétrique Complet), nous avons réalisé un titrage acide-base sur un échantillon de 100 ml.

- L'échantillon a été versé dans un erlenmeyer propre.
- 2 à 3 gouttes de rouge de méthyle ont été ajoutées comme indicateur coloré. (Le rouge de méthyle donne une couleur jaune en milieu basique — pH > 6,2.)

- Le titrage a été effectué avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl), jusqu'au passage de la couleur jaune à rouge, correspondant au point d'équivalence (pH ≈ 4,4).
- Le volume d'HCl utilisé a été noté avec précision.

Le TAC a ensuite été calculé en degrés français (°F) à l'aide de la formule suivante :

$$\text{TAC} = V \times 10$$

Avec :

V : volume titré (mg/l)



Photo 25 : Préparation des échantillons pour la mesure de TAC.

IV.3. Paramètres chimiques – éléments nutritifs

IV.3.1. Ammonium

L'ammonium est parmi les deux formes de l'azote en plus de l'ammoniac (NH₃⁺). Il est fréquent dans les eaux de surface et résulte de la décomposition de la matière organique végétale et animale de l'eau. L'ammonium se transforme, par l'oxydation bactérienne dans un milieu aérobie faible, en nitrites et nitrates. L'ammonium n'est pas nuisible en lui-même, mais l'augmentation du pH dans le milieu entraîne la présence d'un gaz soluble dans l'eau et toxiques pour la faune et la flore aquatique qui est « l'ammoniac », ce dernier est nuisible à une concentration de 0,1 mg/l (Bremond et al. 1973 ; Villers et al. 2005).

L'analyse des ions ammonium (NH₄⁺) a été effectuée en procédant ainsi :

- 40 ml de l'échantillon ont été prélevés dans une fiole jaugée de 50 ml.
- 4 ml de réactif coloré ont été ajoutés, entraînant une coloration jaune.
- 4 ml de dichloroisocyanurate de sodium ont également été ajoutés pour renforcer la réaction.

- La solution a ensuite été complétée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Le mélange a été laissé au repos pendant 1 heure pour permettre le développement complet de la couleur.
- Après ce temps, la solution a été transférée dans une cuve, puis placée dans un spectrophotomètre UV-visible.
- La concentration en ammonium a été lue directement sur l'écran de l'appareil exprimée en mg/l



Photo 26 : Réaction chimique de l'ammonium.

IV.3.2. Ortho phosphate

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (RODIER, 2005).

Tableau 9: Grille de la qualité des eaux en fonction du phosphate (ANRH,2009).

Formes du phosphate	Situation normale	Pollution modérée	Pollution notable	Pollution importante
Valeurs PO ₄ ³⁻	≤ 0,01	0,01-0,1	0,1-3	>3

Pour doser les orthophosphates dans l'échantillon, nous avons suivi les étapes suivantes :

- 40 ml de l'échantillon d'eau ont été prélevés dans une fiole jaugée de 50 ml.
- 1 ml d'acide ascorbique a été ajouté, suivi de 2 ml de réactif d'hyptamolybdate d'ammonium.
- La solution a été laissée au repos pendant 15 minutes, puis agitée lentement.

- L'interaction a été prolongée durant encore 30 minutes pour permettre le développement de la coloration.
- Le volume a ensuite été complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- La solution obtenue a été transférée dans une cellule en quartz, puis analysée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.
- La concentration en orthophosphates a été lue directement sur l'écran de l'appareil, exprimée en mg/L.

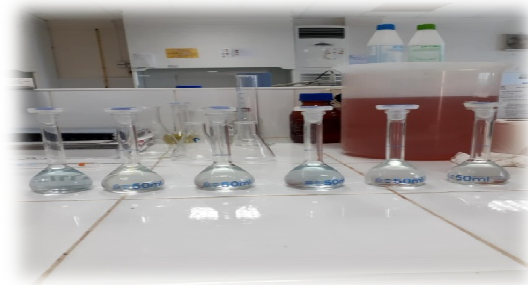


Photo 27: Réaction chimique des ortho phosphate.

IV.3.3. Nitrites

Les ions nitrites (NO_2^-) sont un stade intermédiaire entre l'ammonium (NH_4^+) et les ions nitrates (NO_3^-). Les bactéries nitrifiantes transforment l'ammonium en nitrites. Cette opération, nécessite une forte consommation d'oxygène, c'est la nitrification (SevrinReyssac et *al.*, 1995).

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température. (SevrinReyssac et *al.*, 1995).

Pour doser les ions nitrite (NO_2^-), nous avons procédé comme suit :

- 40 ml de l'échantillon ont été prélevés.
- 1 ml de réactif coloré spécifique aux nitrites a été ajouté à la solution.
- La réaction a été laissée au repos pendant 20 minutes pour permettre le développement de la coloration.
- La solution a ensuite été analysée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.
- La valeur de la concentration en NO_2^- affichée à l'écran a été relevée et notée.



Photo 28 : Réaction chimique des nitrites.

IV.3.4. Nitrates

Les nitrates sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau, qui sont directement Assimilables par les plantes (Bliefretetal.,2001).

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau. Les bactéries nitratantes transforment les nitrites en nitrates.

Les nitrates ne sont pas toxiques, mais des teneurs élevées en nitrates provoquent une prolifération algale qui contribue à l'eutrophisation du milieu(SevrinReyssacetal.,1995).

Pour doser les ions nitrate (NO_3^-), nous avons procédé comme suit :

- 10 ml de l'eau à analyser ont été prélevés dans un bécher propre.
- 3 gouttes de NaOH (hydroxyde de sodium) ainsi que 1 ml de salicylate de sodium ont été ajoutés à la solution.
- La préparation a ensuite été placée dans une étuve réglée entre 75°C et 88°C, jusqu'à évaporation complète à sec.
- Le résidu obtenu a été laissé à refroidir, puis dissous dans 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4).
- Après dissolution, la solution a été laissée reposer pendant 10 minutes.
- Enfin, 15 ml d'eau distillée et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium (sel de Seignette) ont été ajoutés à la solution.

Après l'ajout du tartrate double de sodium et de potassium, la solution développe progressivement une coloration jaune. Cette couleur est proportionnelle à la concentration en nitrates présente dans l'échantillon.

Pour obtenir le résultat final la solution colorée est versée dans une cuve en quartz adaptée à la lecture UV-visible. La cuve est ensuite insérée dans le spectrophotomètre, préalablement

calibré à une longueur d'onde spécifique La valeur de la concentration en NO_3^- affichée à l'écran a été relevée et notée.



Photo 29 : Réaction chimique des nitrates.

IV.4. Paramètres chimiques majeurs – Minéraux dissous

IV.4.1. TH (Dureté)

La dureté (ou titre hydrotimétrique) est un paramètre correspondant aux concentrations des cations métalliques dans l'eau, majoritairement les ions de calcium (Ca^{2+}) et les ions de magnésium (Mg^{2+}) sont responsables (Anonyme, 2020).

La dureté se détermine en fonction de valeur de THt :

- Entre **00 et 10°F**= eau très douce.
- Entre **10° et 20°F**= eau moyennement douce.
- Entre **20° et 30°F**= eau dure.
- **>30°F**= eau très dure (Si Abderahmane, 2016).

Pour doser la dureté totale, nous avons commencé par prélever 50 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer.

- Nous avons ajouté 4 ml de solution tampon.
- Puis, 2 à 3 gouttes de la solution de noir ériochrome T (NET) ont été incorporées, ce qui a donné une coloration rose.
- La burette a été remplie avec la solution d'EDTA.
- Le titrage a été réalisé en ajoutant l'EDTA goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'un virage de couleur bleu violet clair.

Le volume d'EDTA utilisé a été noté, et les calculs ont été effectués en utilisant la formule suivante :

$$\mathbf{TH = V2 \times 2 \times Fc \times F}$$

Avec :

- **V2**: volume de titrant utilisé pour la dureté totale (ml).
- **2** : facteur de conversion spécifique à la méthode (en fonction de la molarité du titrant et des ions mesurés).
- **Fc**: facteur de dilution de l'échantillon.
- **F** : facteur de correction (s'il y a des ajustements spécifiques liés à la méthode ou au titrant).



Photo 30: Dosage de la dureté par titrage : avant et après réaction

IV.4.2. Magnésium

Le magnésium est classé au huitième rang du tableau périodique parmi les plus répandus dans la nature et il occupe 2,5% de la masse de croûte terrestre. Il est d'origine des carbonates de magnésium des roches sédimentaires et des minéraux ferromagnésiens éléments des roches ignées. Il est l'un des éléments essentiels de la dureté en plus du calcium (Reggam, 2015).

La concentration en magnésium (Mg^{2+}) a été déterminée par calcul avec la formule suivante :

$$Mg^{2+} = \left[\frac{C1(V2 - V1) \times a'}{V0} \right] \times Fc \times 1000 \times F$$

Avec :

- **C1**: concentration de l'EDTA (mol/L).
- **V2** : volume d'EDTA utilisé pour la dureté totale (mL).
- **V1**: volume d'EDTA utilisé pour la dureté calcique (mL).
- **a'**: facteur de conversion vers la masse molaire du magnésium (g/mmol).
- **V0**: volume de l'échantillon titré (mL).
- **Fc**: facteur de dilution (s'il y a eu dilution).

- **F** : facteur de correction spécifique à la méthode.
- **1000**: facteur de conversion pour obtenir la concentration en mg/l.

IV.4.3. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est généralement résultant de la dissolution des calcaires et des marnes, mais son excédent revient aussi à la dissolution du gypse. Dans l'eau, il est considéré comme un élément significatif de la dureté (Saidi, 2014).

Pour le dosage du calcium, nous avons prélevé 50 ml de l'échantillon dans un erlenmeyer de 100 ml.

- 2 ml de solution de NaOH ont été ajoutés à l'échantillon.
- Une pincée d'indicateur de murexide a été incorporée.
- La solution a été bien agitée pour homogénéiser le mélange.

Le titrage a ensuite été réalisé à l'aide d'une solution d'EDTA, jusqu'au changement de couleur indiquant une teinte violette. Enfin nous avons calculé les valeurs de Ca^{2+} avec la formule suivante :

$$\text{Ca}^{2+} = \left(\frac{\text{C1} \times \text{V1} \times \text{a}}{\text{V0}} \right) \times \text{Fc} \times 1000 \times \text{F}$$

Avec :

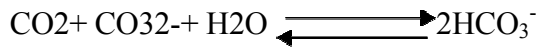
- **C1**: concentration de la solution titrée (EDTA) en mol/l.
- **V1**: volume d'EDTA utilisé lors du titrage (ml).
- **a**: équivalent en masse molaire 40.08 g/mol pour Ca^{2+} .
- **V0**: volume de l'échantillon analysé (ml).
- **Fc**: facteur de correction.
- **1000**: facteur de conversion pour passer de g/ml à mg/L.
- **F**: facteur de dilution.



Photo 31 : Dosage du calcium par titrage : avant et après réaction.

IV.4.4. Bicarbonate

Les bicarbonates CO_3^{2-} sont peu solubles dans l'eau par rapport aux bicarbonates HCO_3^- , la présence de ces deux composés est liée au phénomène de respiration et de photosynthèse.



Au cours de la photosynthèse, les cellules phytoplanctoniques prélèvent de l'eau du dioxyde de carbone CO_2 . Le sens de la réaction est dirigé vers la gauche, ceci entraîne une augmentation de CO_3^{2-} et une diminution de HCO_3^- (Henry et Beaudry, 1992).

Au cours de la respiration, le sens de la réaction est dirigé vers la droite puisqu'il y'a libération du dioxyde de carbone CO_2 donc une diminution des carbonates (Henry et Beaudry, 1992).

La concentration en bicarbonates (HCO_3^-) a été déterminée par calcul, à partir du volume d'acide sulfurique utilisé lors du titrage de l'alcalinité totale (TAC), en appliquant la formule suivante :

$$\text{HCO}_3^- = \frac{(\text{V}_2 \times \text{N} \times 1000) \times \text{M}_2}{\text{V}}$$

Avec :

- **V₂**: volume d'acide utilisé lors du titrage de l'alcalinité totale (mL).
- **N**: normalité de l'acide titrant (eq/L).
- **M₂**: masse molaire du bicarbonate (HCO_3^-), en g/mmol (ou équivalent).
- **V**: volume de l'échantillon analysé (ml).
- **1000**: facteur de conversion pour obtenir la concentration en mg/l.

La concentration en carbonates (CO_3^{2-}) a été calculée à partir du volume d'acide utilisé lors du titrage de l'alcalinité à la phénolphtaléine (TA), avec la formule suivante :

$$\text{CO}_3^{2-} = \frac{((\text{V}_1 \times \text{N} \times 1000) \times \text{M}_1)}{\text{V}}$$

Avec :

- **V₁**: volume d'acide utilisé lors du titrage à la phénolphtaléine (ml).
- **N**: normalité de l'acide titrant (eq/L).
- **M₁**: masse molaire du carbonate (CO_3^{2-}), en g/mmol (ou équivalent).
- **V**: volume de l'échantillon analysé (ml).
- **1000**: facteur de conversion pour obtenir la concentration en mg/l.

IV.4.5. Sulfate

Les sulfates existent déjà naturellement dans l'eau, ils sont apparentés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent principalement d'une source naturelle (gypse, pyrite, volcan), aussi bien industrielle (industrie pétrolière, tannerie, papeterie, industrie textile) ainsi que les produits utilisés dans le traitement agricole. Les teneurs normales des sulfates dans les eaux naturelles varient de 5 à 200 mg/l (Gaujous, 1995).

Un volume de 20 ml d'échantillon, y compris le blanc, a été transféré dans des fioles jaugées. À chacun des flacons, 5 ml de solution stabilisante des sulfates ont été ajoutés, suivis de 2 ml de chlorure de baryum ($BaCl_2$). Après un mélange vigoureux, les fioles ont été complétées avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. La solution a été laissée au repos pendant 15 minutes afin d'assurer une réaction complète. Enfin, la lecture de l'absorbance a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre, et les résultats ont été enregistrés pour l'interprétation.



Photo 32: Réaction chimique sulfate.

IV.4.6. Les Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium ($NaCl$) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (KAHOUL et TOUHAMI, 2014).

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1 000 mg/L (Arc-et-Senans, Doubs) (Rodier et al, 2009).

Pour déterminer la concentration en ions chlorure (Cl^-), nous avons réalisé un titrage au nitrate d'argent en présence d'un indicateur.

- 100 ml de l'échantillon ont été versés dans un erlenmeyer.
- Quelques gouttes d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) ont été ajoutées, donnant à la solution une couleur jaune claire.
- Le titrage a été effectué avec une solution de nitrate d'argent (AgNO_3) (Les ions Ag^+ réagissent avec les ions Cl^- pour former un précipité blanc d' AgCl).
- Le titrage a été poursuivi jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge orangé, indiquant que tous les ions Cl^- ont réagi et qu'un excès d' Ag^+ forme un composé coloré.
- Le volume d' AgNO_3 utilisé a été noté.

La concentration en ions Cl^- a été calculée en mg/L à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Cl}^- = \frac{(\text{Vt} - \text{Vb}) \times \text{C} \times \text{F} \times \text{Fc}}{\text{V}}$$

Avec :

- **Vt**: volume de titrant utilisé pour l'échantillon testé (mL).
- **Vb**: volume de titrant utilisé pour le blanc (mL).
- **C**: concentration du titrant (mol/L ou équivalent).
- **F**: facteur de correction spécifique à la méthode (si applicable).
- **Fc**: facteur de dilution de l'échantillon (s'il y a eu dilution).
- **V**: volume de l'échantillon analysé (mL).

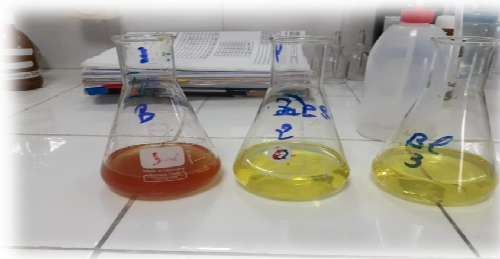


Photo 33 : Dosage du chlorure par titrage : avant et après réaction.

IV.5. Oligo-éléments et métaux

IV.5.1. Le Fer

Le fer est un élément indispensable à la forme de vie. Il existe sous deux formes, le fer ferreux (Fe^{2+}), le fer ferrique (Fe^{3+}).

On trouve souvent ce fer complexé dans les puits et les eaux de surface : il leur donne une couleur jaune ou marron. Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui est précipité sous forme d'hydroxyde, $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Sous l'action de l'oxygène, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique et il est difficile de les doser séparément. Il est tout aussi difficile de distinguer nettement entre fer en solution, en suspension, à l'état colloïdal, sous forme de complexes minéraux ou organiques.

Pour l'analyse, un volume de 50 ml d'échantillon a été transféré dans un erlenmeyer, puis complété avec 5 ml de persulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$). Le mélange a été chauffé à 200°C pendant 40 minutes sur une plaque chauffante, puis laissé refroidir à température ambiante.

Une fois refroidi, les réactifs suivants ont été ajoutés successivement :

- 1 ml de thioglycolate.
- 2 ml de solution tampon.
- 2 ml de phénanthroline.

La solution a ensuite été placée à l'abri de la lumière pendant 15 minutes pour permettre le développement optimal de la coloration. Enfin, l'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV, et la valeur obtenue a été enregistrée.

**A****B****Photos 34 (A ; B) : Préparation des échantillons pour l'analyse du fer.**

IV.5.2. Aluminium

L'aluminium est généralement peu présent dans l'eau naturelle, mais sa concentration peut augmenter à cause de certaines industries ou d'un pH trop acide.

Pour analyser la concentration en aluminium (Al^{3+}), nous avons suivi les étapes suivantes :

- Un volume de 100 ml de l'échantillon a été prélevé dans une fiole propre.
- 1 goutte d'acide nitrique (HNO_3) a été ajoutée afin d'acidifier la solution, puis celle-ci a été agitée.
- Dans des tubes LCK 301 :
 - 2 ml de la solution A ont été introduits.
 - suivis de 3 ml de l'échantillon acidifié.
 - puis d'une pincée de réactif B.
- Les tubes ont été fermés et agités jusqu'à dissolution complète des réactifs.
- La réaction a été laissée au repos pendant 15 minutes.

Enfin, la lecture de la concentration en aluminium a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre, et la valeur obtenue a été notée.



Photo 35: Analyse de l'aluminium à l'aide du kit LCK 301

IV.5.3. Manganèse Mn^{2+}

Le manganèse est un métal lourd que l'on trouve dans les milieux urbains. Leur origine est multiple, il provient des produits consommés au sens large par la population, aux effluents d'égouts, des eaux pluviales (Potelon, 1998).

Le manganèse est généralement associé au fer mais en quantité plus faible. C'est le Mn^{2+} qui est soluble dans les eaux naturelles bien que le manganèse présente de nombreux autres états d'oxydation (Rodier et *al.*, 1996).

Les eaux de surface en contiennent généralement que moins de 0,05 mg/l (Rodier et *al.*, 2005)

La procédure a été réalisée comme suit :

- Prélèvement de 100 ml de chaque échantillon dans des Erlenmeyers.

- Ajout de :
 - 5 ml d'acide nitrique (HNO₃).
 - 5 ml de nitrate de mercure.
 - 0,5 ml de nitrate d'argent (AgNO₃-).
- Mise en ébullition de la solution sur une plaque chauffante pendant 5 minutes.
- Ajout de :
 - 1 ml d'acide phosphorique.
 - 10 ml de persulfate d'ammonium (NH₄⁺).
- Nouvelle mise en ébullition sur la plaque chauffante pendant 10 minutes.
- Après refroidissement, la concentration en manganèse est déterminée par lecture spectrophotométrique.

V. Indice de qualité de l'eau (IQE)

L'évaluation de la qualité d'un cours d'eau repose généralement sur l'analyse d'un ensemble de paramètres physico-chimiques, souvent nombreux et parfois difficiles à interpréter dans leur globalité. Afin de faciliter cette interprétation et de permettre une comparaison spatio-temporelle des résultats, plusieurs outils de synthèse ont été développés.

Parmi eux, l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) qui figure parmi les plus couramment utilisés. Il permet de fournir une vision globale de l'état écologique d'un écosystème aquatique en regroupant plusieurs variables environnementales en une seule valeur synthétique, sans unité, traduisant ainsi le niveau global de qualité de l'eau.

V.1. Définition de l'Indice canadien de qualité de l'eau (CCME WQI)

L'Indice canadien de qualité de l'eau (Canadian Water Quality Index – CCME WQI) est un outil développé par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) pour évaluer l'état global d'un plan d'eau à partir de plusieurs paramètres physico-chimiques. Il permet de condenser une grande quantité d'informations environnementales en une valeur numérique unique, comprise entre 0 (très mauvaise qualité) et 100 (qualité excellente).

Plus l'indice est élevé, plus l'eau est de bonne qualité. Voici un tableau qui présente cette classification selon la méthode canadienne :

Tableau 10: Classification de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (CCME WQI) (Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.)

Classe d'IQE (CCME WQI)	Qualité de l'eau	Usage possible
95 – 100	Excellente	Eau potable, vie aquatique sensible, baignade, irrigation, loisirs aquatiques.
80 – 94	Bonne	Eau potable (avec ou sans traitement), irrigation, protection de la vie aquatique.
65 – 79	Moyenne	Irrigation, industrie, certains usages domestiques après traitement.
45 – 64	Médiocre	Usage restreint, traitement nécessaire avant tout usage.
0 – 44	Très médiocre	Eau non utilisable sans traitement poussé ; forte pollution.

V.2. Méthodologie de calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (CCME WQI)

Cette méthode repose sur l'analyse simultanée de trois facteurs, désignés par F1, F2 et F3, qui reflètent respectivement l'étendue, la fréquence et l'amplitude des dépassements des seuils de qualité définis par les normes.

F1 – Étendue (*Scope*)

Ce facteur mesure la **proportion de paramètres** dont les valeurs dépassent les seuils fixés par les normes de qualité de l'eau (**Annexe 3**). Il permet ainsi d'identifier **combien de types de polluants différents** posent un problème dans l'échantillon.

$$F1 = \left(\frac{\text{Nombre total de paramètres mesurés}}{\text{Nombre de paramètres non conformes}} \right) \times 100$$

F2 – Fréquence (*Frequency*)

F2 évalue la **fréquence des dépassements** parmi l'ensemble des mesures effectuées. Il s'agit du **pourcentage de tests individuels** dont les résultats ne respectent pas les normes environnementales.

$$F2 = \left(\frac{\text{Nombre de tests non conformes}}{\text{Nombre total de tests}} \right) \times 100$$

F3 – Amplitude (*Amplitude*)

F3 mesure l'importance des dépassements lorsque les seuils de qualité sont dépassés. Il reflète à quel point les valeurs mesurées s'éloignent des limites acceptables.

Le calcul de F3 se déroule en trois étapes :

- ✓ Calcul de l'excursion pour chaque dépassement :
- ❖ Si la valeur mesurée est **au-dessus** de la norme :

$$\text{Excursion} = \left(\frac{\text{Norme}}{\text{Mesure}} \right) - 1$$

- ❖ Si la valeur mesurée est **en-dessous** de la norme minimale :

$$\text{Excursion} = \left(\frac{\text{Mesure}}{\text{Norme}} \right) - 1$$

- ✓ Calcul de la moyenne des excursions normalisées (nse) :

$$\text{nse} = \frac{\sum \text{Excursions}}{\text{Nombre total de tests}}$$

- ✓ Calcul de F3 :

$$F3 = \frac{\text{nse}}{0.01 \times \text{nse} + 0.01}$$

Calcul final de l'indice (CCME WQI)

Une fois les trois composantes calculées, la formule globale de l'indice est la suivante :

$$\text{CCME WQI} = 100 - \frac{\sqrt{(F1^2 + F2^2 + F3^2)}}{1.732}$$

1.732 correspond à la racine carrée de 3, permettant de normaliser le résultat final sur une échelle allant de 0 à 100.

V.3. Justification du choix des paramètres pour le calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (IQE)

Le calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (IQE ou CCME WQI) repose sur l'évaluation de plusieurs paramètres physico-chimiques représentatifs de l'état écologique des milieux aquatiques. Dans le cadre de cette étude, douze paramètres ont été sélectionnés en se

basant sur leur pertinence écologique, leur fréquence d'usage dans les indices internationaux, ainsi que sur les recommandations de référence établies par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME, 2001), l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017) et la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE).

Les paramètres choisis se répartissent comme suit :

- **Paramètres de base**

La température, le pH et l'Oxygène dissous sont des indicateurs fondamentaux des conditions physico-chimiques du milieu. Ces paramètres influencent la solubilité des gaz, la biodisponibilité des substances toxiques, et les processus biologiques aquatiques (CCME, 2001 ; OMS, 2017).

- **Paramètres indicateurs de pollution organique**

La turbidité, les MES (matières en suspension), l'Ammonium (NH_4^+) et les Nitrites (NO_2^-) permettent de détecter les rejets d'origine domestique ou urbaine, notamment les eaux usées, en phase plus ou moins avancée de dégradation. L'Ammonium et les Nitrites sont des formes réduites de l'azote particulièrement préoccupantes en raison de leur toxicité pour la faune aquatique (OMS, 2017 ; CCME, 2001).

- **Paramètres liés à la pollution par les nutriments**

Les Nitrates (NO_3^-) et les Phosphates (PO_4^{3-}) sont les principaux responsables des phénomènes d'eutrophisation, favorisant la croissance excessive d'algues et la diminution de l'Oxygène dissous. Ces paramètres sont systématiquement utilisés dans les évaluations de qualité des eaux de surface (DCE, 2000 ; OMS, 2017).

- **Paramètres de minéralisation et contamination métallique**

La Conductivité, le Fer total (Fe) et les Chlorures (Cl^-) reflètent la charge ionique globale et la possible influence des apports industriels, agricoles ou naturels. Une conductivité élevée ou une concentration anormale en Fer ou en chlorures peut indiquer une contamination d'origine anthropique (CCME, 2001 ; OMS, 2017).

Ces douze paramètres offrent une représentation équilibrée des différentes pressions susceptibles d'altérer la qualité de l'eau dans le bassin de l'Oued Sébaou, en couvrant les pollutions domestiques, agricoles et industrielles. Ils sont également conformes aux pratiques établies dans l'évaluation des eaux de surface selon les normes environnementales internationales.

VI. Matériels et méthodes pour l'étude biologique

VI.1. Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage de la faune benthique a été réalisé dans le but d'évaluer la structure des peuplements de macroinvertébrés et d'apprécier la qualité écologique des stations étudiées.

Les prélèvements ont été effectués le 24 mai 2023, sous des conditions hydrologiques stables, sur des stations entièrement lotiques (zones à courant). L'ensemble des échantillons a été recueilli à l'aide d'un filet de type trouble eau, muni de mailles de 275 μm et couvrant une surface d'échantillonnage de 0,05 m^2 .



Photo 36 : filet trouble eaux.

Le filet a été positionné à contre-courant, directement sur le fond du cours d'eau, dans des zones peu profondes (moins de 40 cm), et sur des substrats variés (galets, graviers, sables, limons). Le substrat présent dans la zone d'échantillonnage a été lavé et raclé manuellement ou à l'aide de bottes afin de détacher les macroinvertébrés benthiques, qui sont ensuite entraînés dans le filet. Les individus solidement fixés ont été retirés à l'aide d'une pince.

Le nombre de prélèvements par station n'a pas été uniformisé : il a été adapté en fonction des caractéristiques locales, notamment de la diversité des micro-habitats disponibles et des conditions d'accessibilité. L'objectif était d'assurer une représentativité suffisante de la faune présente dans chaque station.

VI.2. Conservation des échantillons

À l'issue de chaque prélèvement, les macroinvertébrés collectés ont été conditionnés dans des sachets en plastiques, immédiatement fixés avec une solution de formol à 8 % afin de préserver leur intégrité morphologique et d'éviter toute dégradation biologique.

Pour garantir le suivi et la traçabilité des échantillons, une étiquette manuscrite au crayon a été insérée à l'intérieur de chaque sachet. Cette étiquette mentionne de manière claire : la date de prélèvement, le nom de la station, le type de milieu échantillonné, ainsi que quelques informations contextuelles (conditions du site, observations particulières).

VI.3. Tri et détermination

Au retour au laboratoire, les échantillons fixés ont d'abord été lavés à l'eau claire afin d'éliminer la vase, les particules minérales et les débris végétaux. Cette opération a été effectuée à l'aide d'une série de tamis à mailles décroissantes, allant de 5 mm à 0,2 mm, permettant de séparer progressivement les macroinvertébrés du substrat brut (**photo 37**)

**A****B**

Photos 37 (A ; B) : Matériel utilisé pour le lavage au laboratoire.

Le contenu retenu dans le tamis de 0,2 mm, considéré comme la fraction faunistique exploitable, a été versé dans une bassine, puis homogénéisé et transféré dans des béciers de 250 ml en vue du tri.

**A****B**

Photos 38 (A ; B): dernière étape du lavage.

Un pré-tri manuel a ensuite été réalisé sous une loupe binoculaire, dans des boîtes de Pétri à fond quadrillé, à l'aide d'une pince fine (**photo 39**). La détermination taxonomique a été effectuée jusqu'au niveau de la famille ou du genre, selon les cas, en se référant principalement à la clé de détermination de : Tachet et al (1980, 2000).



Photo 39 : Matériel utilisé pour le tri et la détermination au laboratoire.

Des collections de référence disponibles au laboratoire d'hydrobiologie de l'Université de Tizi-Ouzou ont également été consultées pour appuyer l'identification.

Les individus déterminés ont ensuite été conservés dans des piluliers en verre remplis d'alcool éthylique à 70 %, avec une étiquette interne précisant le nom de la station, la date du prélèvement et le taxon identifié (ordre, famille, ou genre).

VII. Méthode d'analyse de la faune benthique

VII.1. Indices écologiques de composition et de structure

La qualité biologique de l'eau s'évalue principalement à travers la diversité faunistique, qui correspond au nombre d'espèces présentes et à la répartition des individus au sein de chaque espèce. Dans un biotope, plus les espèces sont nombreuses et leur abondance relative équilibrée, plus la diversité est élevée.

Pour quantifier cette diversité et mieux comprendre la structure des peuplements, on utilise des indices basés sur des expressions mathématiques. Ces indices fournissent une évaluation rapide de la diversité en tenant compte de l'abondance relative de chaque espèce.

Ils permettent également de comparer différents peuplements et d'analyser leur évolution dans l'espace et dans le temps (Dajoz, 1985).

VII.1.1. Les indices écologiques de composition

VII.1.1.1. Richesse spécifique

L'étape de base dans l'étude des communautés consiste à obtenir la richesse spécifique ou taxonomique, C'est-à dire le nombre de taxon ou d'espèce présente dans chaque prélèvement. Elle est considérée comme étant la première perception du milieu qui nous indique que plus il y a de taxons distincts (espèces, genres, familles..), plus la diversité est grande.

VII.1.1.2. Abondance relative des espèces

C'est un paramètre important pour la description d'un peuplement. Elle représente le nombre d'individus du taxon (i) par unité de surface ou de volume par rapport au nombre total d'individus (Ramade, 2003). Cet indice est variable dans l'espace et dans le temps.

Ces valeurs sont données par la formule suivante :

$$A(\%) = 100 \times \frac{ni}{N}$$

Avec :

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

N : Nombre total d'individus.

VII.1.1.3. Occurrence relative des espèces

Appelée aussi indice de constance au sens de DAJOZ (1985), la fréquence d'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 :

$$C(\%) = 100 \times \frac{Pi}{P}$$

Avec :

Pi : nombre de prélèvements où l'espèce i est présente.

P : nombre total de prélèvements.

En fonction de la valeur de OC (%), nous qualifions les espèces de la manière suivante :

- $C = 100\%$ Espèce omniprésente.
- $C \in] 100 - 75]$ Espèce constante.
- $C \in] 75 - 50]$ Espèce fréquente.
- $C \in] 50 - 25]$ Espèce commune.
- $C \in] 25 - 5]$ Espèce accessoire.
- $C < 5 \%$ Espèce rare.

VII.1.2. Les indices écologiques de structure

Les indices de structure sont représentés par l'indice de diversité de Shannon-Weaver et de l'équitabilité.

VII.1.2.1. Indice de la diversité de Shannon (1949)

Selon Blondel et al. (1973), cet indice est reconnu comme l'un des meilleurs outils pour évaluer la diversité. D'après Dajoz (1996), l'indice de diversité de Shannon-Weaver fournit des informations précieuses sur la diversité spécifique au sein de chaque milieu étudié. Il a pour modèle mathématique:

$$H' = - \sum p_i \text{Log}_2 p_i$$

Avec :

H' : est l'indice de diversité de Shannon-Weaver exprimé en unités bits.

P_i : n/N

n_i : est le nombre d'individus de l'espèce i

N : est le nombre total des individus toutes espèces confondues.

Log₂ : logarithme à base 2

Lorsque H' est faible (proche de 0), cela traduit une faible diversité, soit par un nombre réduit d'espèces, soit par la dominance de quelques-unes. À l'inverse, H' élevé (tendant vers l'infini) indique une forte diversité, caractérisée par une répartition équitable des abondances entre de nombreuses espèces.

La diversité maximale H'_{\max} , est représentée par la formule suivants :

$$H'_{\max} = \log_2 S$$

Avec :

H'max : Diversité maximale exprimé en bits

S : le nombre total des espèces présentes

VII.1.2.2. Indice d'équitabilité ou d'équirépartition (PIELOU, 1966)

C'est un rapport entre la diversité réelle et la diversité maximale (Blondel, 1979). Selon Dajoz (1985), l'équirépartition est très importante dans la caractérisation de la diversité. Elle permet de comparer deux peuplements ayant des richesses spécifiques différentes.

$$E = \frac{H'}{H'max}$$

Avec :

H' : l'indice de Shannon (1949)

H'max : l'indice de la diversité maximale.

L'équitabilité varie entre 0 et 1 :

- Lorsque E tend vers 1 : les espèces présentent des abondances proches les unes des autres (équitabilité maximale).
- Lorsque E tend vers 0 : une espèce domine largement le peuplement (équitabilité minimale).

Ainsi, plus la valeur de **E** est proche de 1, plus la répartition des individus entre les espèces est homogène. À l'inverse, une valeur proche de 0 indique une forte dominance d'une ou de quelques espèces.

VII.1.2.3. Indices biotiques

La biodiversité est reconnue comme un indicateur clé de la santé des écosystèmes, en raison de son rôle dans le fonctionnement, la stabilité et la résilience des milieux naturels. Depuis le début du XXe siècle, plusieurs études ont mis en évidence le lien entre la composition des communautés aquatiques et les caractéristiques environnementales, notamment en lien avec la pollution (Haredj & Chiheb, 2012). Ces constats ont conduit au développement de méthodes biologiques fondées sur l'analyse des peuplements faunistiques.

Selon Verneaux (1984), deux approches principales se distinguent :

- la comparaison avec une station de référence.
- l'attribution d'un indice de qualité basé sur la sensibilité écologique des espèces.

Ces indices biotiques, ou méthodes indicielles, permettent de caractériser l'état écologique des milieux aquatiques et viennent en complément des analyses physico-chimiques traditionnelles.

Parmi ces outils figure l'indice de pollution (IP), utilisé pour évaluer la qualité écologique des eaux à partir de la macrofaune benthique récoltée dans les cours d'eau. Son principe repose sur la comparaison entre un indice de référence (correspondant à une eau non polluée) et l'indice obtenu sur le terrain. Il permet ainsi d'estimer le degré de pollution affectant chaque station étudiée.

L'IP renseigne sur la tolérance ou l'intolérance des espèces présentes, et indique si leur composition traduit un bon ou un mauvais état écologique du milieu. Il constitue un outil complémentaire aux analyses physico-chimiques, dans la mesure où il prend en compte l'effet global des pressions naturelles ou anthropiques sur l'écosystème.

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

L'analyse des 28 paramètres physico-chimiques (tableau annexe) mesurés au cours des deux campagnes d'échantillonnage (mars et mai) réalisées dans les huit stations du bassin versant du Sébaou met en évidence des variations significatives à la fois entre les stations et entre les campagnes.

VIII.1. Température

Le graphique des températures révèle des variations notables entre les stations et les deux campagnes d'échantillonnage. Lors de la première campagne, les températures les plus élevées sont observées à TAM et DBK, avec 19,2 °C, suivies de près par BAG (19 °C). Ces valeurs suggèrent un réchauffement localisé des eaux, en lien avec un faible ombrage, une stagnation partielle et des apports anthropiques. À l'inverse, la station ADJ présente la température la plus basse du réseau avec 12,5 °C, traduisant un écoulement en zone plus froide et une alimentation par eaux de source. TKH et BHR enregistrent des températures modérées (14,8 °C et 17,8 °C respectivement), tandis que ABY et BOU se situent à 16 °C.

En seconde campagne, une hausse généralisée de la température est observée, avec un maximum de 24 °C atteint à BAG et BOU, suivi de DBK (23 °C) et TKH (20,4 °C). Cette élévation traduit un réchauffement saisonnier accentué, combiné à une réduction du débit. Les stations TAM, ADJ, et BHR enregistrent également des hausses, bien que plus modérées (entre 18,1 °C et 20,3 °C). La station ABY n'a pas été échantillonnée lors de cette campagne. Ces résultats montrent un gradient thermique dynamique, influencé à la fois par la saison, la localisation géographique, et les conditions hydrologiques propres à chaque station.

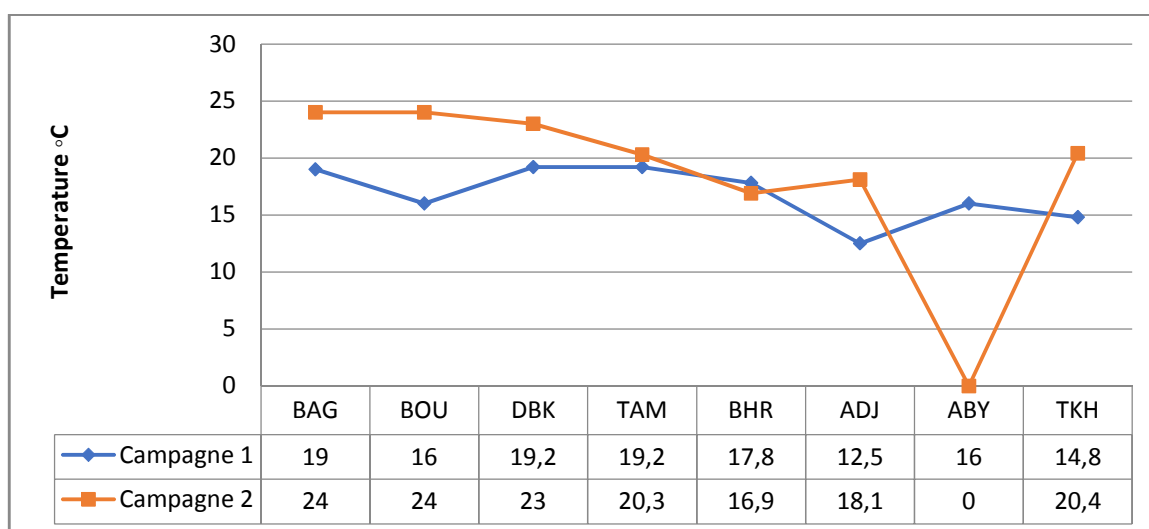


Figure 5 : Représentation graphique des températures des deux campagnes pour chaque station.

VIII.2. pH

Le graphique du pH révèle des eaux légèrement à modérément basiques dans l'ensemble des stations, avec des valeurs comprises entre 7.75 et 8.72.

La station BOU enregistre les valeurs les plus élevées pour les deux campagnes (8.49 en campagne 1 et 8.72 en campagne 2), suivie de TKH, qui présente un pH parfaitement stable de 8.44 pour les deux campagnes, traduisant une très bonne stabilité chimique du milieu. BHR et ABY, toutes deux en amont, affichent également des pH élevés : 8.47 pour BHR en campagne 1 (8.23 en campagne 2), et 8.29 pour ABY en campagne 1 (pas de mesure en campagne 2).

Les stations ADJ et TAM présentent des valeurs plus modérées, autour de 8.0 dans les deux campagnes, avec une légère baisse à ADJ entre la première (8.16) et la seconde campagne (8.03). La station DBK, avec 7.75 en première campagne puis 7.9 en seconde, reste la plus proche de la neutralité.

Enfin, BAG (Baghlia) enregistre un pH de 7.9 puis 8.22, traduisant une hausse significative de l'alcalinité.

L'ensemble de ces résultats montre que toutes les eaux du bassin sont bien tamponnées, sans signe d'acidification, avec une tendance alcaline marquée dans plusieurs stations, notamment en amont et à l'aval extrême.

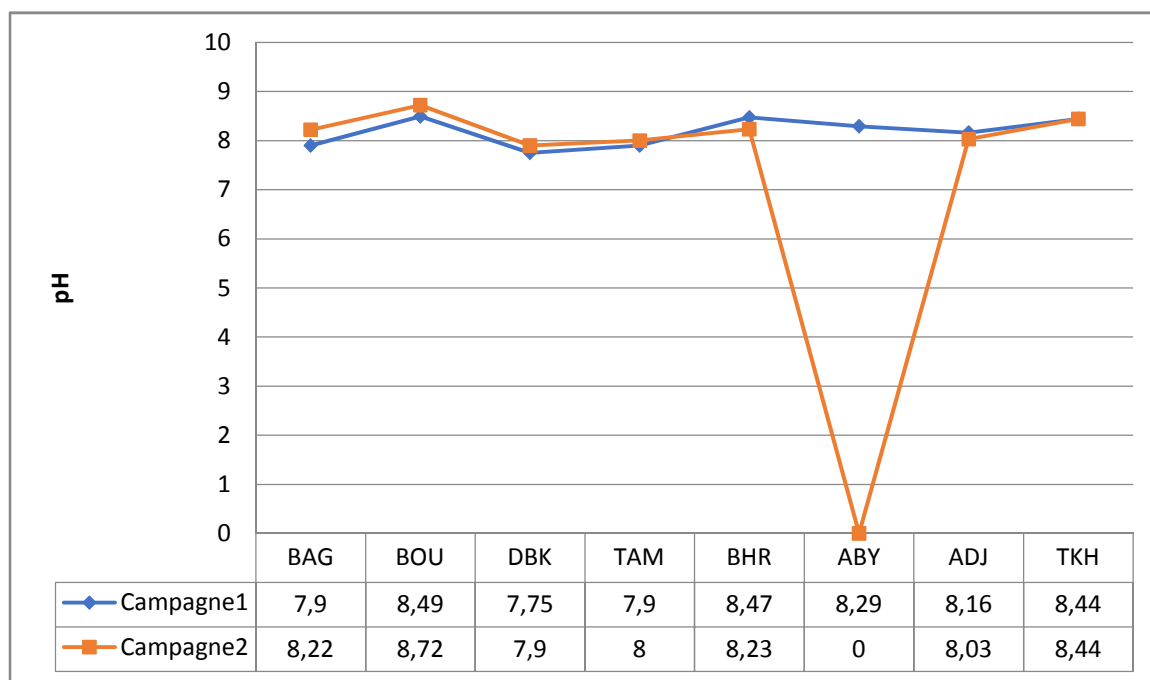


Figure 6 : Représentation graphique du pH des deux campagnes pour chaque station.

VIII.3. Oxygène dissout

Les teneurs en oxygène dissout sont globalement élevées, traduisant des conditions bien oxygénées dans la majorité des stations. Les valeurs maximales sont enregistrées à ADJ (10,19 – 9,98 mg/L) et BAG (10,52 mg/L en seconde campagne). BOU, TKH, ABY, et BHR conservent également des niveaux satisfaisants ($> 7,5$ mg/L), garants d'un bon équilibre aérobie. En revanche, DBK affiche une valeur extrêmement faible en première campagne (2,85 mg/L), probablement due à une pollution organique ponctuelle, avant une nette amélioration en seconde campagne (8,86 mg/L). TAM et BHR montrent une baisse significative entre les deux campagnes, suggérant une diminution de l'agitation de l'eau ou une charge organique accrue. Globalement, les résultats traduisent une bonne oxygénation générale, avec quelques anomalies ponctuelles et saisonnières.

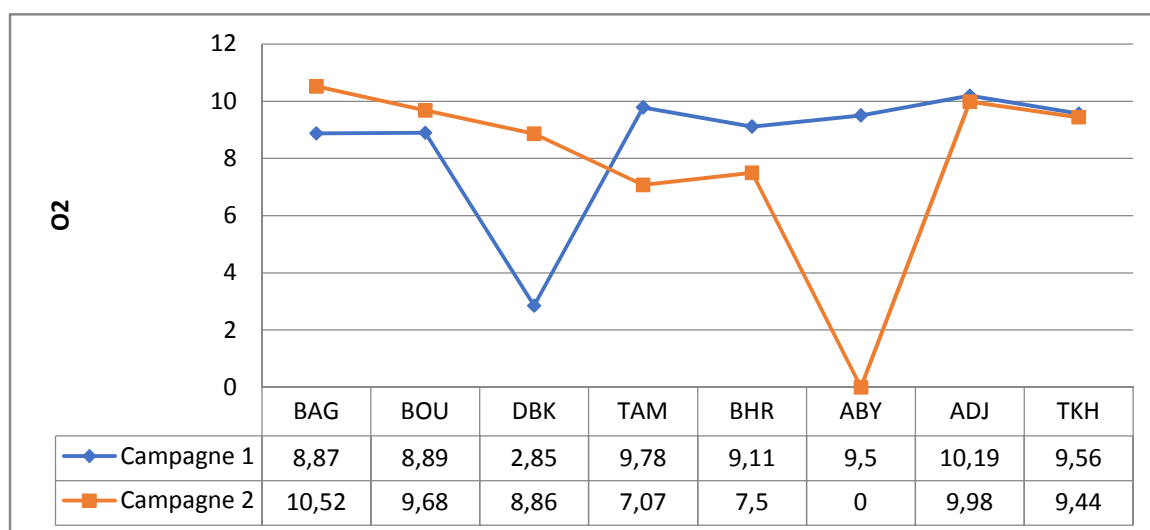


Figure 7 : Représentation graphique du taux d'oxygène lors des deux campagnes pour chaque station.

VIII.4. Turbidité :

La turbidité est nettement plus élevée à BAG (11,9 – 12,3 NTU), indiquant une charge importante en particules en suspension, probablement liée à des rejets directs ou à une érosion locale. BOU et DBK suivent avec des valeurs modérées mais stables (environ 7 NTU), traduisant une perturbation régulière du milieu. À l'opposé, les stations ABY (0,38 NTU), ADJ (0,87 – 0,86 NTU) et TKH (1,49 – 1,33 NTU) présentent les valeurs les plus faibles, révélant des eaux claires et peu troublées. TAM et BHR restent dans l'intervalle bas, bien qu'une légère hausse soit notée à BHR en deuxième campagne. Cette distribution montre que

la turbidité est fortement localisée, avec un maximum net à BAG, et n'augmente pas linéairement le long du cours d'eau.

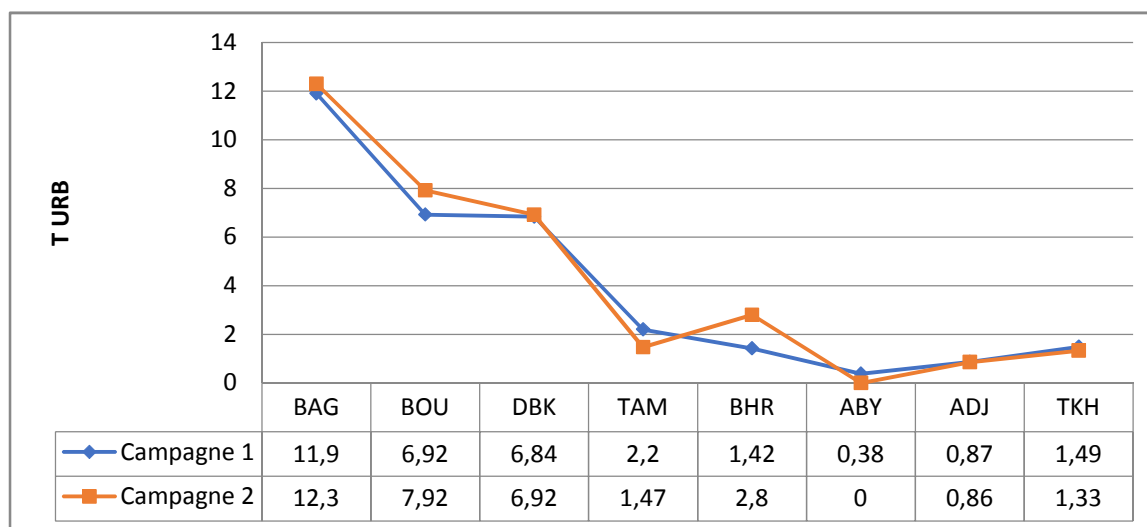


Figure 8 : Représentation graphique de la turbidité de l'eau des deux campagnes pour chaque station.

VIII.5. Matière en suspension

Les concentrations en matières en suspension (MES) varient fortement entre les stations et les deux campagnes, traduisant une perturbation physique inégale du milieu. La station BAG présente les valeurs les plus élevées et en nette augmentation entre les deux campagnes (31 ; 51 mg/L), suggérant lessivage important du bassin versant ou des rejets directs riches en particules. DBK et BOU affichent des niveaux modérés, stables à DBK (17–18 mg/L) mais en forte baisse à BOU (24 ; 11 mg/L), ce qui peut traduire une amélioration ponctuelle ou une variabilité hydrologique.

Les stations TAM, ABY, TKH et ADJ présentent des valeurs très faibles (≤ 4 mg/L en campagne 2), révélant une eau claire et peu chargée en particules. La baisse importante à ADJ (21 ; 1 mg/L) et à TKH (14 ; 2 mg/L) entre les deux campagnes témoigne d'une sédimentation naturelle ou d'un apaisement hydraulique. Globalement, les MES montrent une forte variabilité spatiale et saisonnière, avec des pics localisés qui reflètent des apports ponctuels ou des dynamiques de ruissellement différentes selon les stations.

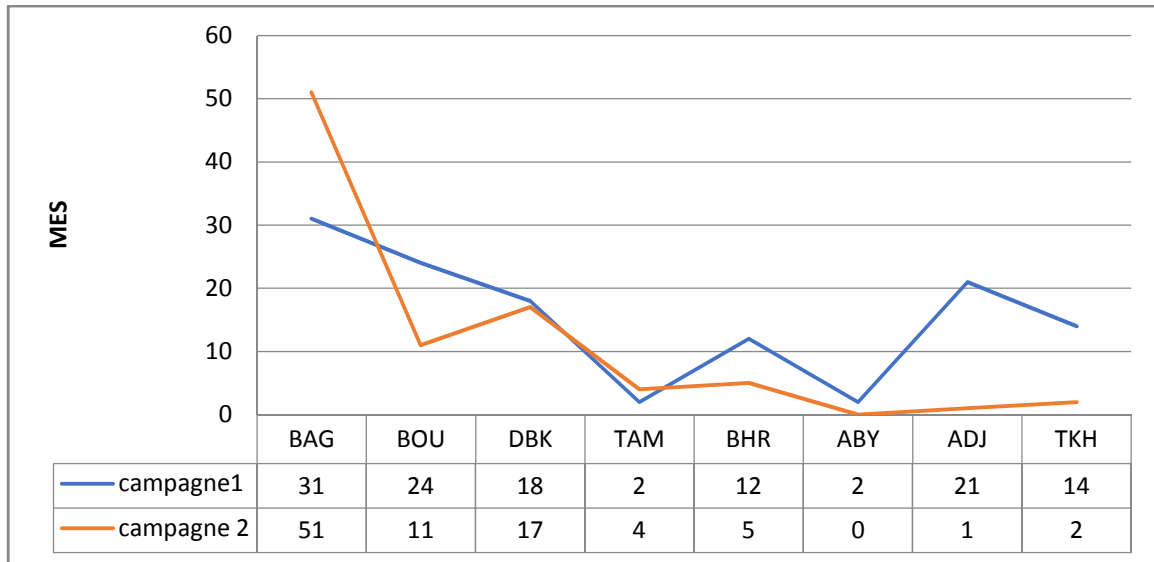


Figure 9 : Représentation graphique des MES de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.6. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique varie nettement selon les stations. Les valeurs les plus élevées sont relevées à BOU (1025 – 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et BAGH (1002 – 1084 $\mu\text{S}/\text{cm}$), traduisant une forte charge ionique probablement liée à des apports anthropiques directs. DBK suit avec des niveaux également élevés (965 – 975 $\mu\text{S}/\text{cm}$). À l’opposé, ABY (447 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mesurée uniquement en première campagne, présente la valeur la plus basse, caractéristique d’une eau peu minéralisée. Les autres stations comme TAM, ADJ, BHR et TKH affichent des valeurs intermédiaires, en progression modérée entre les deux campagnes. Cette distribution montre une minéralisation localisée, avec des pics spécifiques à certaines stations

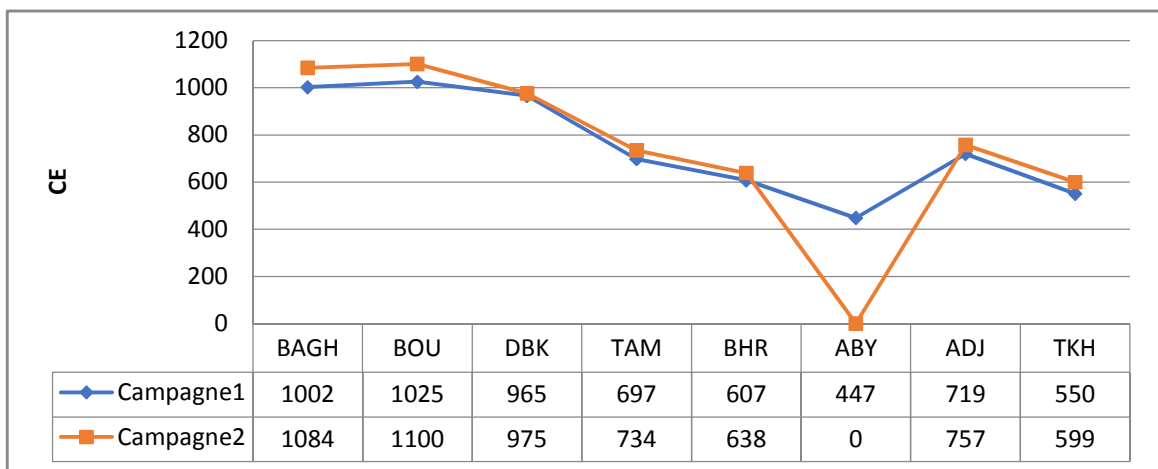


Figure 10 : Représentation graphique de la conductivité électrique de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.7. TDS (Solide dissous totaux)

Les concentrations en TDS sont élevées dans presque toutes les stations, traduisant une forte minéralisation de l'eau. Les valeurs les plus importantes sont relevées à BOU (1022 – 1125 mg/L) et BAG (999 – 1099 mg/L), ce qui suggère des apports importants en sels dissous, probablement liés à des rejets domestiques ou agricoles. DBK suit de près, avec des niveaux supérieurs à 950 mg/L. TAM, ADJ, BHR, et TKH présentent des valeurs intermédiaires (entre 600 et 800 mg/L), tandis que ABY (451 mg/L) est la station la moins chargée, confirmant sa position peu impactée. L'augmentation entre les deux campagnes dans la plupart des stations reflète probablement une concentration par évaporation ou réduction de débit.

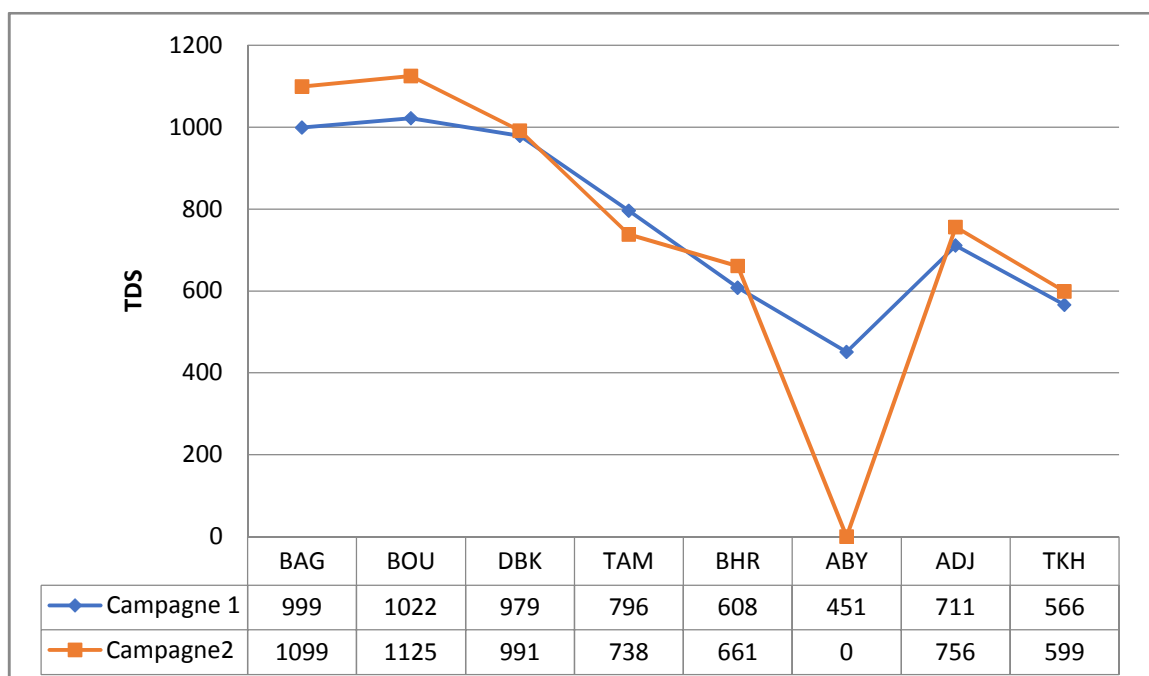


Figure 11 : Représentation graphique des TDS de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.8. Dureté totale (TH)

La dureté totale des eaux, exprimée en degrés français (°F), varie de 22,9 °F à 39,6 °F, ce qui indique une eau modérément à fortement minéralisée. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées aux stations BAG (38,8 – 39,6 °F), DBK (36,8 – 34,8 °F) et BOU (32,3 – 26,5 °F), tandis que TAM, BHR et ABY présentent des niveaux plus modérés.

Cette variabilité s'explique par une double influence. D'un côté, la géologie locale joue un rôle important : certaines stations, comme ABY et BHR, situées à proximité de la dorsale calcaire du Djurdjura, sont alimentées par des formations riches en roches carbonatées

(calcaires karstifiés), ce qui favorise la dissolution naturelle de calcium et de magnésium, principaux contributeurs de la dureté. D'un autre côté, dans les zones plus urbanisées ou agricoles, la dureté élevée observée à BAG, BOU et DBK peut être accentuée par des rejets anthropiques (domestiques ou agricoles), riches en sels minéraux.

Ainsi, la distribution de la dureté dans le bassin du Sébaou traduit une interaction étroite entre substrat géologique, localisation topographique et activités humaines.

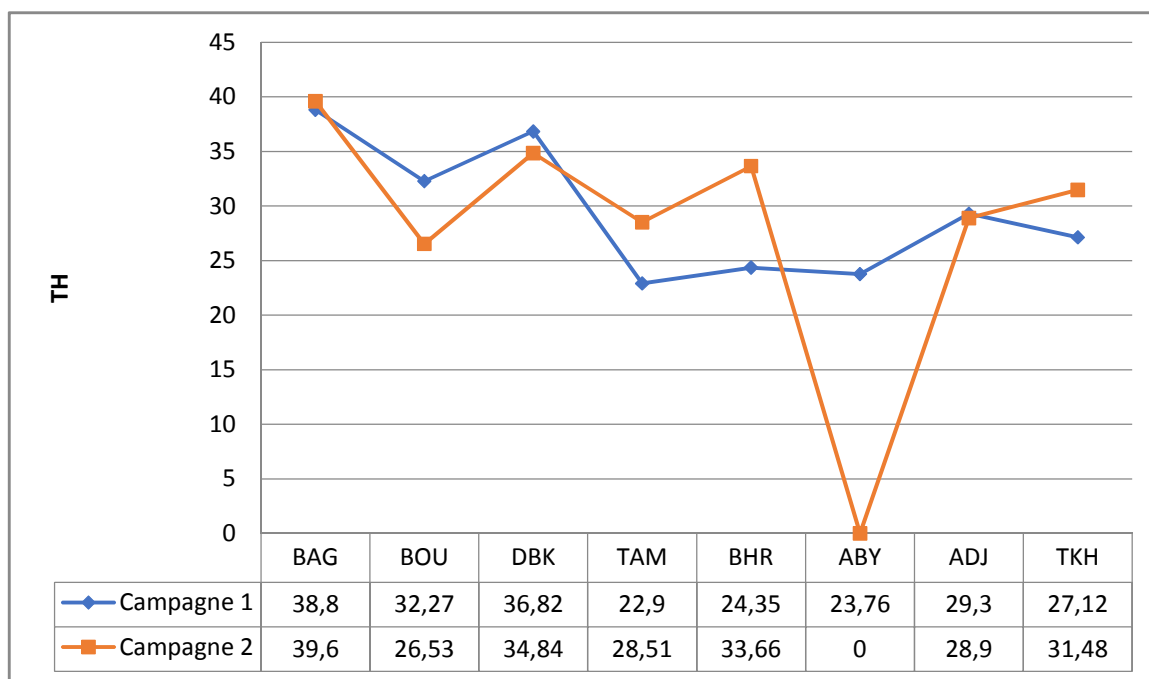


Figure 12 : Représentation graphique de la dureté de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.9. Calcium

Les concentrations en calcium présentent une variabilité significative entre les stations et les deux campagnes, avec des valeurs comprises entre 52,62 mg/L et 141,68 mg/L. La station BAG enregistre le maximum absolu avec une forte augmentation entre les deux campagnes (82,58 ; 141,68 mg/L), ce qui reflète soit une dissolution accrue de roches carbonatées, soit des apports anthropiques ponctuels (effluents riches en minéraux).

Les stations DBK, ADJ, et TAM présentent également des niveaux élevés (≥ 94 mg/L), suggérant une minéralisation naturelle soutenue, probablement en lien avec la composition lithologique du bassin versant. BOU, TKH, BHR et ABY affichent des concentrations plus modérées, bien qu'en hausse pour BOU et TKH en seconde campagne.

De manière générale, les données montrent une teneur calcique globalement élevée dans la majorité des stations, cohérente avec une eau de type dure, et confirmant l'influence des roches sédimentaires ou métamorphiques riches en calcium dans la région du Sébaou.

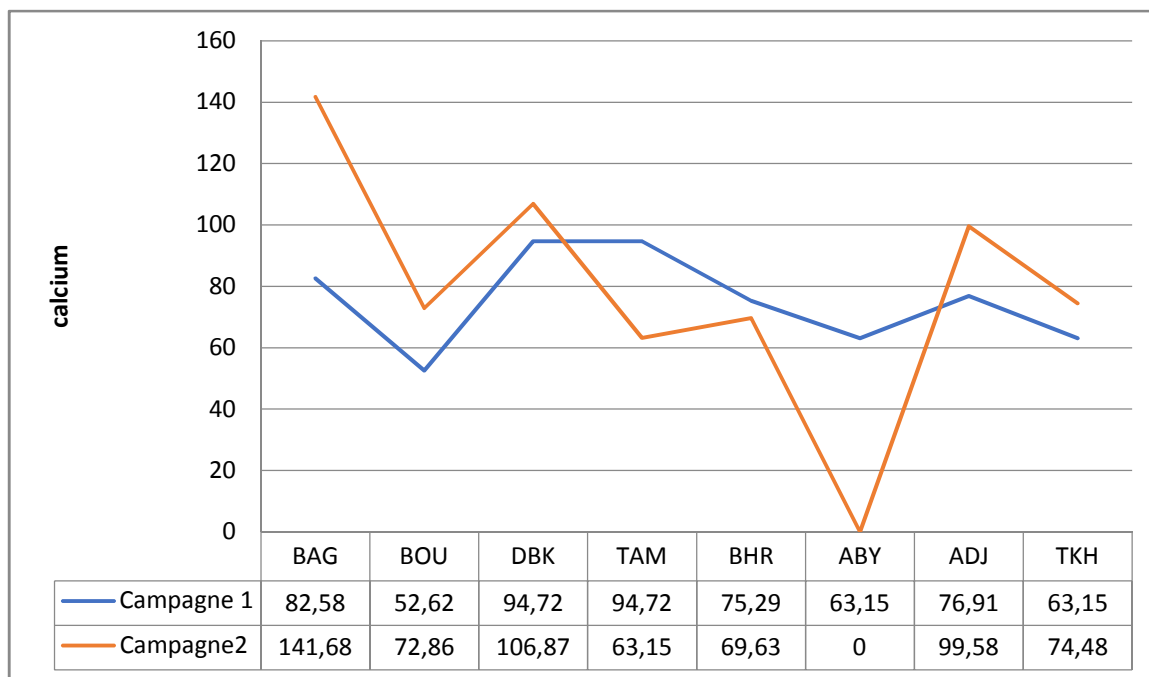


Figure 13 : Représentation graphique du calcium de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.10. Magnésium

Les concentrations en magnésium varient fortement entre les stations et d'une campagne à l'autre. La station TKH présente la valeur la plus élevée en première campagne (87,82 mg/L), suivie de BOU et BAG, qui dépassent les 40 mg/L. Cependant, ces trois stations montrent une diminution marquée en seconde campagne, en particulier à BAG, où le taux chute à 11,79 mg/L.

À l'inverse, TAM et surtout BHR enregistrent une hausse importante entre les deux campagnes, atteignant respectivement 31,13 mg/L et 39,61 mg/L.

Ces variations ne suivent pas une tendance géographique claire, ce qui suggère que le magnésium provient à la fois de sources naturelles variables selon les zones (notamment les roches métamorphiques) et de conditions locales fluctuantes comme le débit, l'infiltration ou le temps de contact eau-roche.

Globalement, les teneurs restent compatibles avec une minéralisation normale, sans signe évident de pollution spécifique.

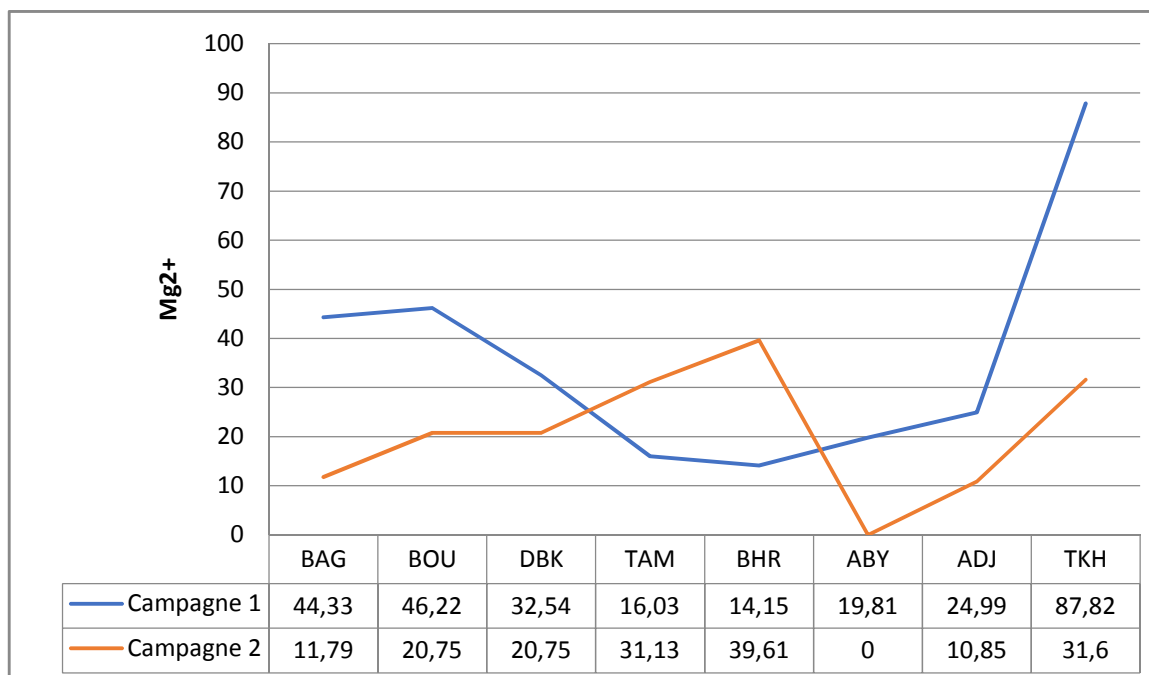


Figure 14 : Représentation graphique de magnésium de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.11. Matière organique

Les concentrations en matière organique varient de façon assez marquée selon les stations et les campagnes. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à BAG, avec une forte augmentation entre la première et la seconde campagne (7,92 → 14,7 mg/L), traduisant une accumulation significative de charges organiques, probablement liée à des rejets domestiques ou urbains non maîtrisés.

D'autres stations, comme DBK (8,45 ; 10,28 mg/L), TKH (8,60 ; 3,12 mg/L), BOU (5,4 ; 6,4 mg/L) et TAM (7,46 ; 3,04 mg/L) présentent également des teneurs élevées, indiquant des apports soutenus en matière organique. Dans ces stations, la matière organique semble avoir un effet direct sur l'oxygène dissous, notamment à DBK, où un faible taux d'oxygène (2,85 mg/L) a été mesuré lors de la première campagne, en lien probable avec une dégradation active de cette charge.

Des baisses notables sont observées à TAM et ADJ (6,93 ; 1,90 mg/L) entre les deux campagnes, ce qui peut s'expliquer par une meilleure dilution ou une épuration naturelle du milieu.

À l'opposé, BHR présente des valeurs modérées (3,96 ; 4,64 mg/L) compatibles avec un fonctionnement équilibré, tandis que ABY, où une seule campagne a été réalisée, affiche une

valeur très faible (1,16 mg/L). Ce résultat, combiné à un niveau d'oxygène élevé (9,53 mg/L), témoigne d'un milieu peu perturbé, bien oxygéné et sans surcharge organique apparente.

Globalement, les résultats montrent que certaines stations, en particulier BAG et DBK, sont exposées à une pollution organique importante, alors que d'autres comme ABY ou BHR restent relativement épargnées.

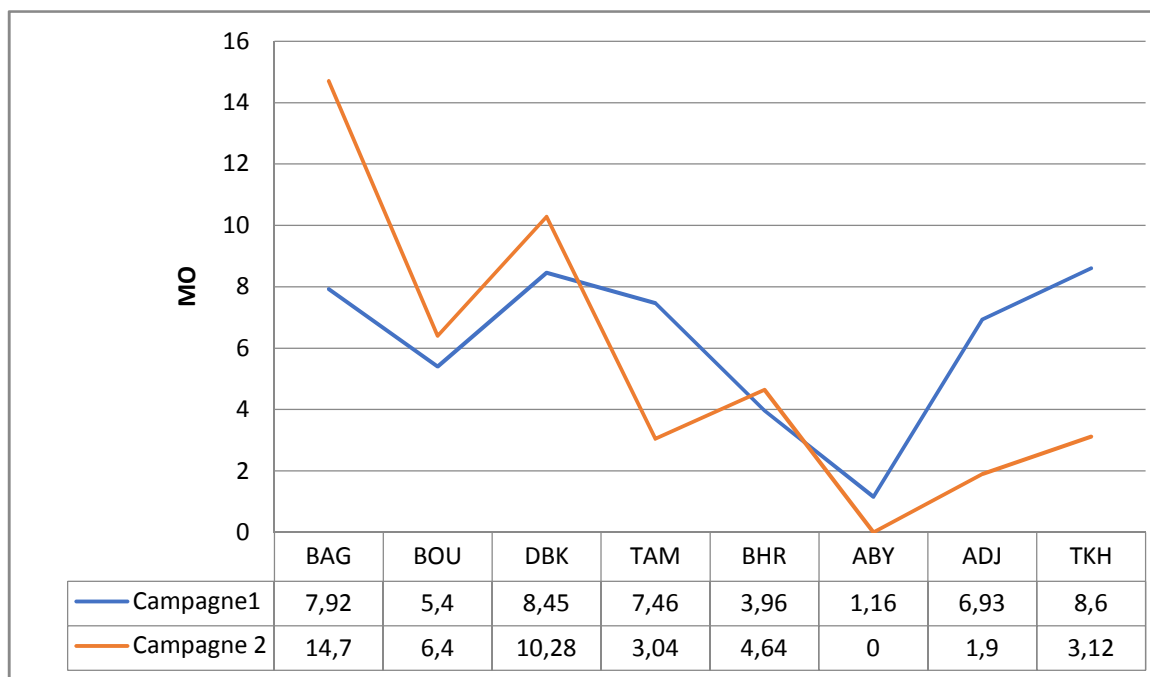


Figure 15 : Représentation graphique de la matière organique de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.12. Ammonium

Les concentrations en ammonium varient fortement entre les stations, avec des niveaux particulièrement élevés à DBK et BAG. À DBK, une nette hausse est observée entre les deux campagnes (2,69 → 5,80 mg/L), ce qui indique une pollution organique fraîche, probablement due à des rejets mal traités ou à une décomposition incomplète de matière organique, confirmée par des niveaux de MO également élevés (8,45 → 10,28 mg/L). Ce phénomène est accentué par un faible taux d'oxygène dissous (2,85 mg/L) lors de la première campagne, ce qui limite la nitrification.

La station BAG enregistre également des teneurs importantes (2,49 → 2,09 mg/L), avec une charge en MO encore plus élevée (14,7 mg/L en seconde campagne), ce qui confirme une pression organique continue sur le milieu, malgré des niveaux d'oxygène dissous plus favorables.

À l'inverse, des stations comme BOU, TAM, BHR, ADJ et TKH présentent des teneurs beaucoup plus faibles ($\leq 0,4$ mg/L), souvent en diminution entre les deux campagnes. Cela traduit un milieu plus stable, où la matière organique est soit moins abondante, soit mieux dégradée grâce à une oxygénation suffisante.

Enfin, la station ABY, avec une valeur nulle en ammonium et un taux élevé d'oxygène (9,53 mg/L), confirme une situation non perturbée, compatible avec un milieu équilibré et bien épuré.

En résumé, la présence d'ammonium dans certaines stations comme DBK et BAG révèle une pollution organique active, alors que les autres sites montrent des conditions plus favorables à la minéralisation et à la nitrification.

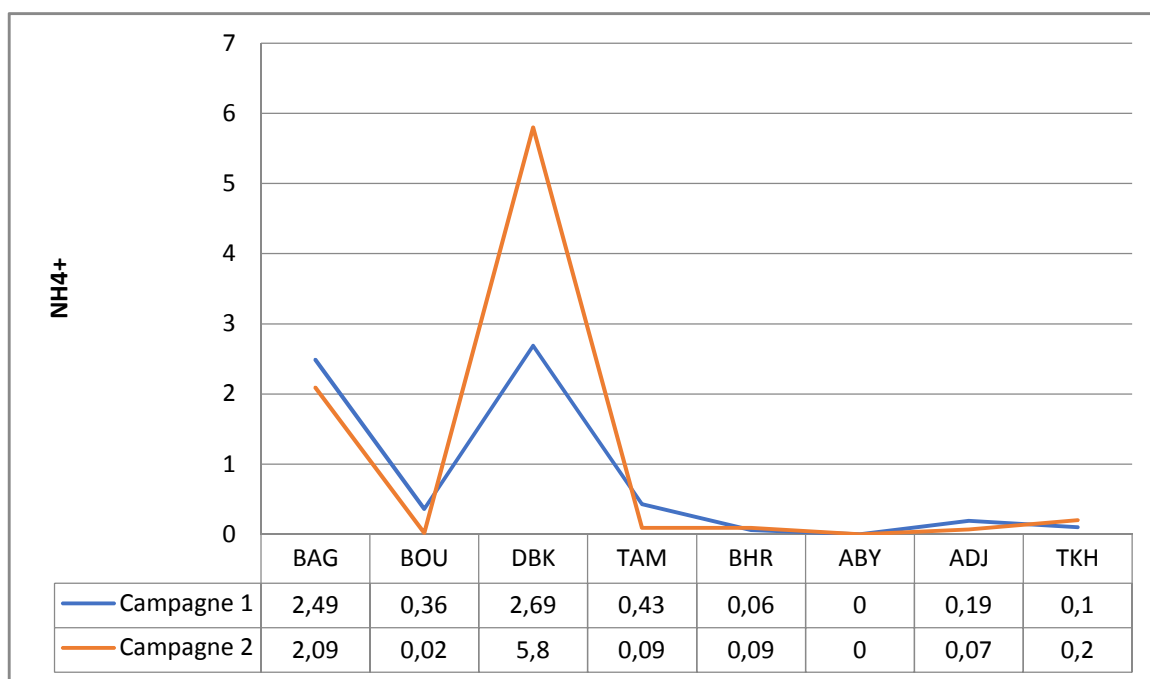


Figure 16 : Représentation graphique de l'ammonium de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.13. Nitrites (NO₂⁻)

Les concentrations en nitrites montrent des niveaux anormalement élevés dans plusieurs stations, traduisant une nitrification incomplète et la présence d'une charge organique importante en cours de dégradation. La station BAG présente les valeurs les plus élevées (1,27 mg/L en seconde campagne), ce qui, combiné à une matière organique très abondante (14,7 mg/L), indique un excès de pollution organique récente, que le milieu n'a pas encore entièrement transformé.

À DBK, les taux restent également élevés et constants (0,52 → 0,50 mg/L), en lien avec une forte présence d'ammonium (jusqu'à 5,80 mg/L) et une matière organique importante. Ces éléments, associés à un manque d'oxygène dissous en première campagne (2,85 mg/L), montrent que la nitrification est partielle, voire freinée.

Les stations TAM et ADJ présentent également des concentrations modérées à élevées, ce qui peut être dû à une transformation incomplète du NH_4^+ , en lien avec une activité microbienne active mais limitée.

En revanche, des stations comme TKH, BHR et BOU montrent des valeurs plus faibles (< 0,30 mg/L), en diminution ou stables entre les deux campagnes, indiquant une meilleure capacité d'oxydation du milieu.

La station ABY, avec une concentration nulle en NO_2^- et un taux d'oxygène élevé (9,53 mg/L), témoigne d'un environnement non perturbé, où la matière organique est peu présente et rapidement transformée.

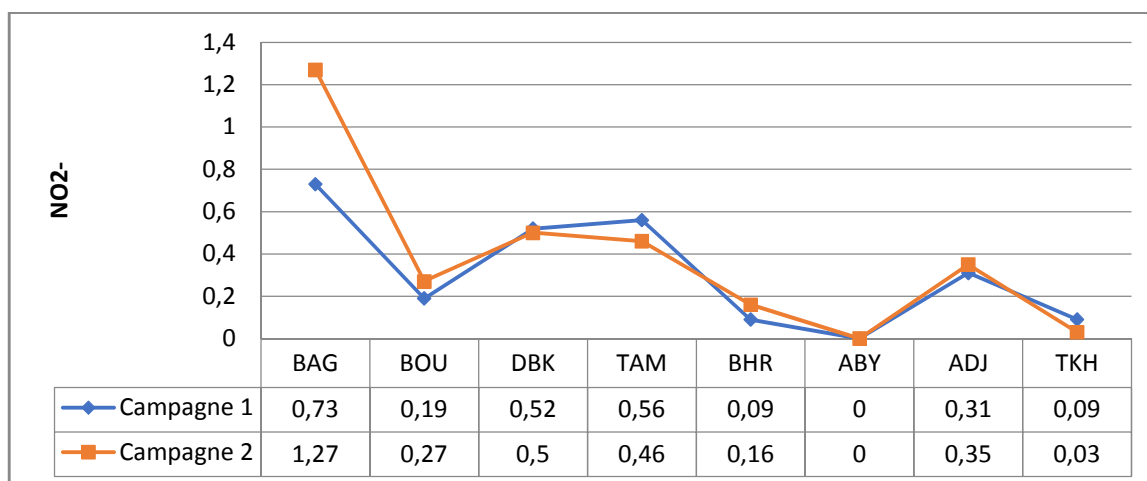


Figure 17 : Représentation graphique des nitrites de chaque station lors des deux campagnes .

VIII.14. Nitrate (NO_3^-)

Les concentrations en nitrates sont relativement élevées dans plusieurs stations, ce qui montre que la nitrification des formes azotées réduites (NH_4^+ , NO_2^-) est bien engagée, mais souvent à partir d'une charge organique initiale très importante. La station BAG affiche la valeur maximale (3,35 mg/L) en seconde campagne, accompagnée de hauts niveaux en ammonium et nitrites, ainsi que d'une matière organique très abondante (14,7 mg/L). Cela montre une pollution azotée importante, où la nitrification est active mais encore déséquilibrée, en lien avec un excès de matière à transformer.

DBK suit une tendance similaire, avec une forte montée des nitrates (0,36 → 1,31 mg/L), associée à des teneurs élevées en NH₄⁺, NO₂⁻ et MO, confirmant une transformation progressive de l'azote, favorisée par l'amélioration de l'oxygène dissous entre les deux campagnes.

À ADJ et TAM, les nitrates sont aussi présents en quantité significative, ce qui témoigne d'une activité microbienne importante, dans un contexte de pollution organique modérée à forte.

Les stations BOU, BHR et TKH affichent des valeurs moyennes, généralement stables ou en légère baisse, ce qui indique un fonctionnement plus équilibré, où la matière organique semble mieux contrôlée et la nitrification plus complète.

Enfin, ABY présente un taux de nitrate quasiment nul (0,06 mg/L), ce qui est cohérent avec une absence de matière organique notable, une valeur nulle en NH₄⁺ et NO₂⁻, et un oxygène dissous élevé (9,53 mg/L). Ce profil confirme un milieu peu ou non perturbé sur le plan azoté.

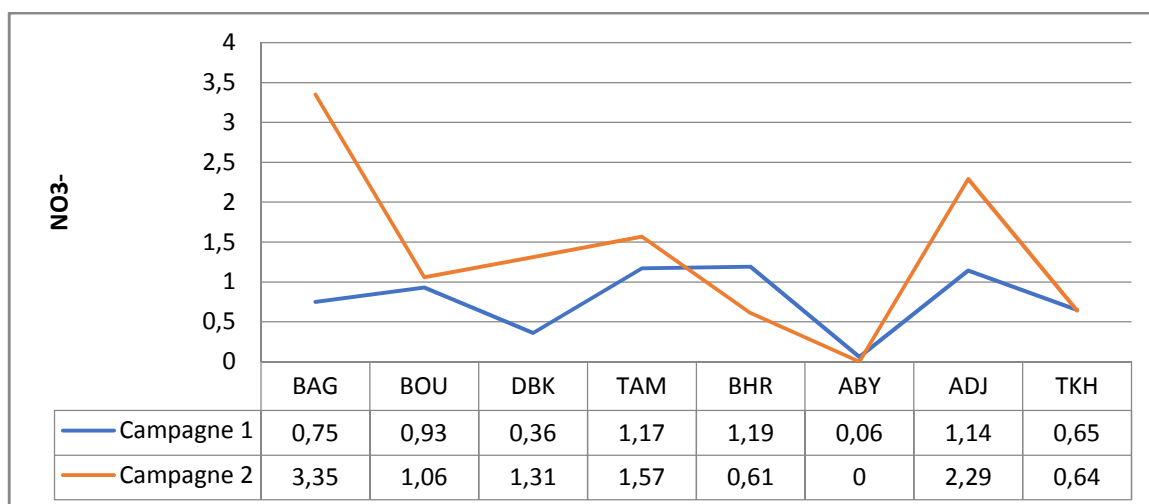


Figure 18 : Représentation graphique des nitrates de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.15. Orthophosphates (PO₄³⁻)

Les concentrations en orthophosphates montrent des différences nettes entre les stations. La station DBK affiche la valeur la plus élevée en seconde campagne (1,19 mg/L), dans un contexte de forte matière organique (10,28 mg/L), d'ammonium élevé (5,80 mg/L) et d'oxygène dissous encore en récupération. Cela traduit une charge importante en nutriments, bien installée.

À BAG, la concentration atteint 0,51 mg/L, également en lien avec une matière organique très élevée (14,7 mg/L). Cette combinaison confirme une pression organique et nutritive persistante dans cette station.

La station TKH passe de 0 à 0,60 mg/L, alors que la matière organique baisse (8,60 → 3,12 mg/L) et que l’oxygène dissous reste élevé, ce qui laisse penser que les orthophosphates proviennent probablement de la dégradation antérieure ou d’une restitution par le sédiment.

Des valeurs modérées sont notées à BOU, ADJ et BHR, dans des contextes où la matière organique est présente mais moins excessive, avec des profils physico-chimiques globalement plus stables.

En revanche, ABY et TAM présentent des concentrations faibles ($\leq 0,11$ mg/L), ce qui correspond à une faible charge organique et un milieu bien oxygéné, peu exposé aux apports phosphorés.

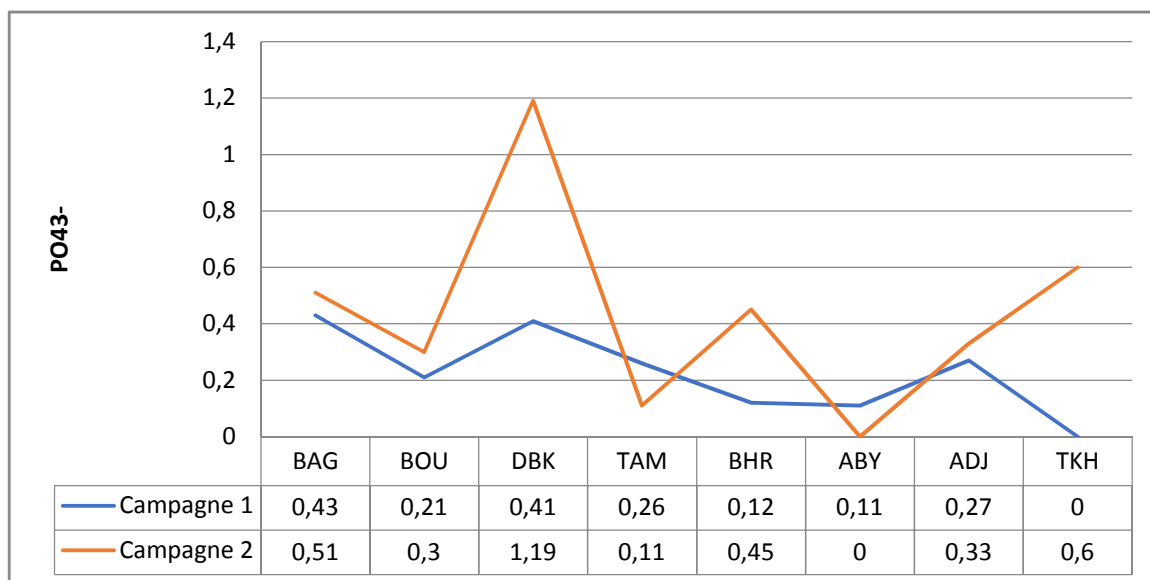


Figure19 : Représentation graphique des ortho phosphate de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.16. Fer (Fe)

Les concentrations en fer sont globalement faibles à modérées dans l’ensemble des stations, mais des valeurs plus élevées sont enregistrées à DBK, BAG et BOU, notamment en première campagne. À DBK, le fer atteint 0,57 mg/L, ce qui coïncide avec une charge organique importante, un faible taux d’oxygène dissous (2,85 mg/L) et une conductivité élevée, favorisant la mobilisation du fer depuis les sédiments.

À BAG, les concentrations augmentent légèrement entre les deux campagnes (0,32 ; 0,44 mg/L), ce qui s’inscrit dans un contexte de forte pollution organique (jusqu’à 14,7 mg/L de MO) et d’oxygène dissous encore correct, pouvant permettre la présence de fer sous forme dissoute.

La station BOU présente une baisse notable (0,33 ; 0,20 mg/L), traduisant une situation plus stable et mieux oxygénée, limitant la solubilité du fer.

Les autres stations, comme TAM, BHR, TKH, et surtout ABY (0 mg/L), affichent des teneurs très faibles en fer, ce qui reflète un milieu bien oxygéné, avec peu ou pas de relargage métallique depuis les substrats.

Ces résultats montrent que la présence de fer est fortement influencée par les conditions locales d’oxygénation et la matière organique, avec des pics dans les stations les plus perturbées comme DBK et BAG.

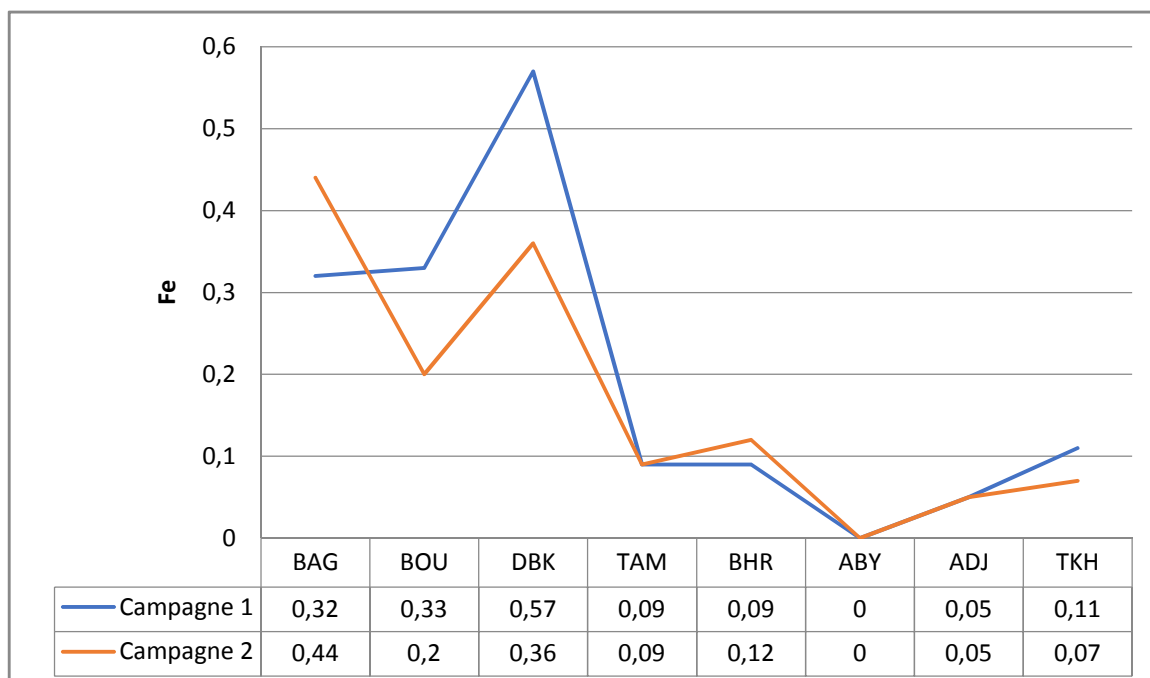


Figure 20 : Représentation graphique du fer de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.17. Sulfates (SO4 2-)

Les concentrations en sulfates montrent une augmentation marquée entre les deux campagnes dans la majorité des stations. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à DBK (66 mg/L), BAG (64 mg/L) et TAM (63 mg/L) en seconde campagne. Cette hausse importante peut s’expliquer par un lessivage plus intense du bassin versant, ou par des rejets contenant du soufre, notamment dans les zones urbaines ou agricoles.

La station BOU suit la même tendance (14 ; 54 mg/L), traduisant un apport extérieur de sulfates, en cohérence avec une hausse parallèle de la conductivité et des solides dissous.

À ADJ et BHR, les teneurs augmentent également de manière significative, bien que les niveaux restent légèrement inférieurs à ceux des stations précédentes.

TKH, bien que moins chargé, connaît aussi une hausse (de 8 à 45 mg/L), ce qui montre que cette évolution concerne l'ensemble du bassin.

Seule ABY présente une valeur de 37 mg/L en première campagne, sans second échantillonnage. Ce taux est plus élevé que dans les autres stations au même moment, ce qui pourrait être lié à la géologie locale (sols riches en minéraux soufrés) ou à une influence naturelle spécifique de la source.

Globalement, l'évolution des sulfates entre les deux campagnes indique un apport généralisé dans le bassin, probablement lié aux conditions hydrologiques ou à une mobilisation accrue des éléments minéraux dans les sols.

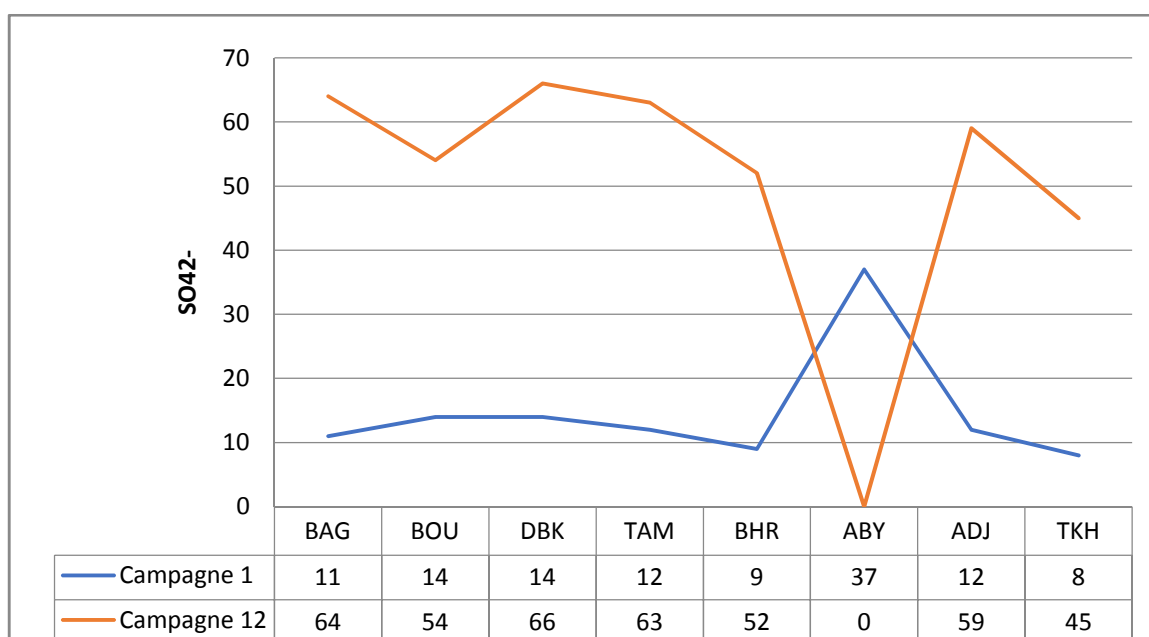


Figure 21 : Représentation graphique des sulfates de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.18. Chlorures (Cl⁻)

Les concentrations en ions chlorure montrent des niveaux élevés dans plusieurs stations, avec un maximum à BOU atteignant 180,39 mg/L lors de la seconde campagne. Cette station présente également des valeurs élevées en conductivité (1100 µS/cm), en TDS (1125 mg/L), et en matière organique (6,4 mg/L), indiquant une minéralisation importante et une pression organique modérée.

À BAG, les concentrations augmentent légèrement entre les deux campagnes (111,01 ; 118,31 mg/L), ce qui correspond à une forte charge organique (jusqu'à 14,7 mg/L), une conductivité élevée (1084 µS/cm), et un taux de nitrate maximal (3,35 mg/L). Cette combinaison confirme une pollution minérale et organique bien établie.

La station DBK affiche des valeurs légèrement plus faibles (94,21 ; 86,18 mg/L), mais reste globalement minéralisée. Le site est également marqué par des teneurs très élevées en ammonium (jusqu'à 5,80 mg/L), en nitrites et en orthophosphates (1,19 mg/L), ce qui confirme une pollution mixte persistante.

TAM présente une évolution de 56,96 à 66,46 mg/L, accompagnée d'une diminution de la matière organique et d'une stabilité du pH. Ce profil suggère une station modérément minéralisée, mais en amélioration sur le plan organique.

Les stations ADJ (53,31 → 57,70 mg/L) et BHR (32,86 → 42,36 mg/L) conservent des teneurs moyennes. Leurs profils indiquent une minéralisation relativement stable, sans charge excessive en composés azotés ou organiques.

À TKH, les chlorures diminuent légèrement (41,63 → 37,25 mg/L) alors que la matière organique diminue fortement (8,60 → 3,12 mg/L) et que l'oxygène reste élevé. Cela traduit un milieu en voie de régulation, avec une baisse de la pression organo-minérale.

Enfin, ABY, où une seule campagne a été menée, présente la valeur la plus faible du bassin (16,80 mg/L). Cette station se distingue également par une conductivité basse (447 µS/cm), une matière organique très faible (1,16 mg/L) et une absence de composés azotés, confirmant un milieu non perturbé, bien oxygéné et faiblement minéralisé.

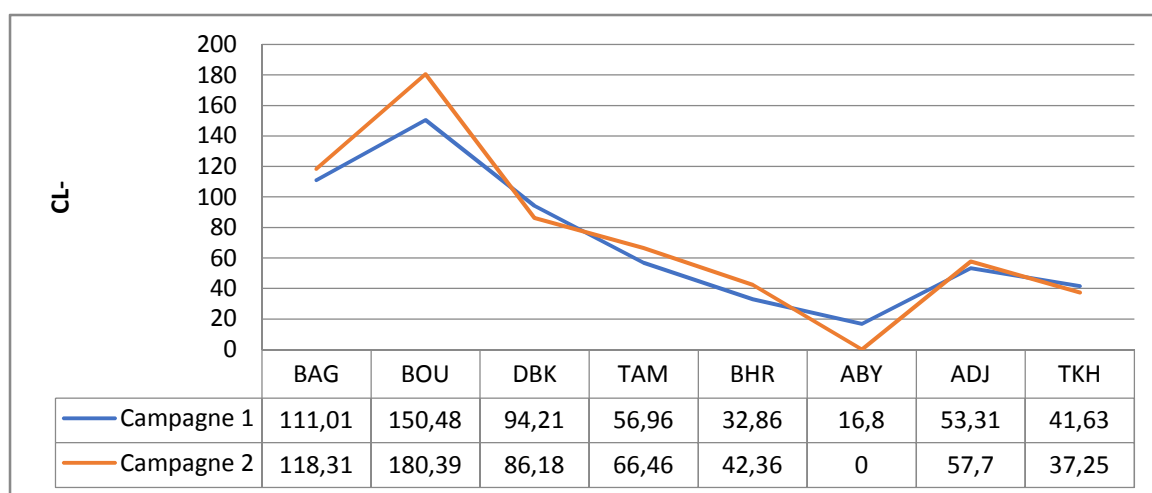


Figure 22 : Représentation graphique des chlorures de chaque station lors des deux campagnes.

VIII.19. Résidu sec

Les résidus secs, exprimés en mg/L, traduisent la charge totale en matières dissoutes dans l'eau, incluant les sels minéraux et les éléments organiques ou inorganiques. Les résultats montrent une forte hétérogénéité entre les stations et entre les campagnes. La valeur la plus élevée est observée à ADJ avec 1786 mg/L en première campagne, ce qui en fait un point singulier du bassin, possiblement influencé par une accumulation de matières dissoutes, qu'elles soient naturelles ou anthropiques.

Les stations BAG (622 ; 995 mg/L) et DBK (612 ; 279 mg/L) présentent également des charges importantes, en accord avec leurs niveaux élevés en conductivité, en TDS, et en chlorures.

À l'inverse, des sites comme TKH (364 ; 170 mg/L), BHR (416 ; 176 mg/L), ou TAM (518 ; 151 mg/L) montrent une diminution marquée entre les deux campagnes, traduisant une dilution temporaire ou une réduction des apports minéraux et organiques.

La station BOU affiche une évolution inversée (616 ; 211 mg/L), ce qui peut être lié à une modification locale des rejets ou du débit, tout comme à une variabilité saisonnière. Enfin, ABY, avec 230 mg/L en première campagne, reste dans les valeurs les plus faibles du bassin, ce qui confirme une faible minéralisation et une qualité physico-chimique globalement stable.

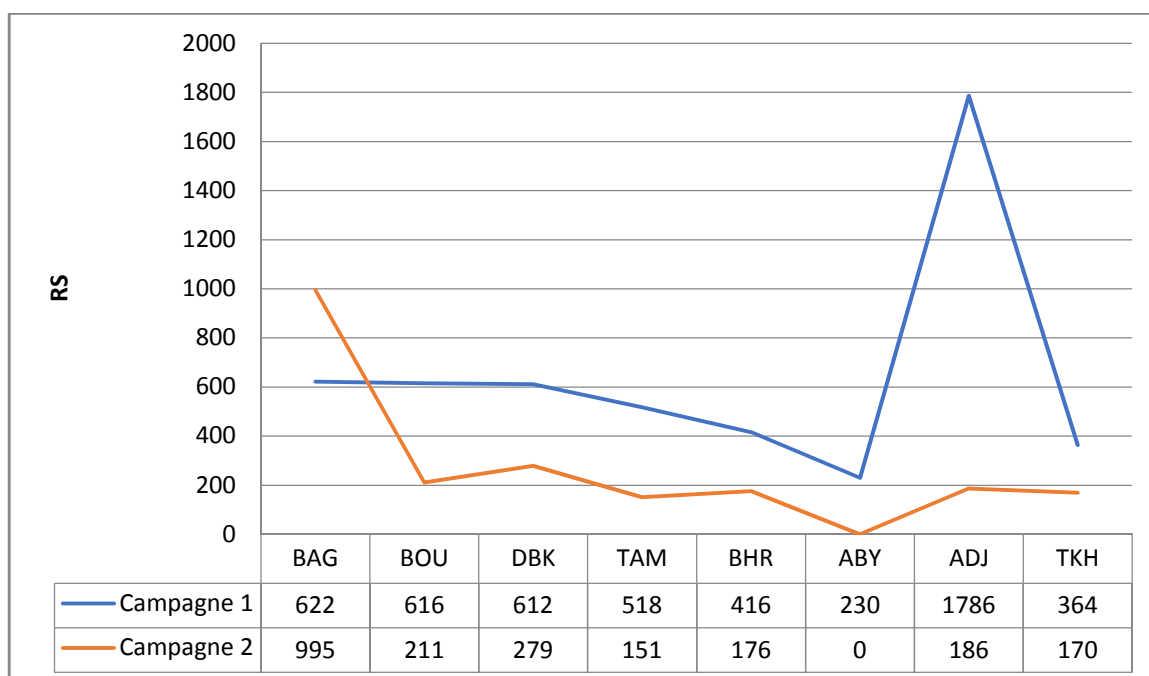


Figure 23 : Représentation graphique des résidus secs de chaque station lors des deux campagnes.

En raison de l'absence de dynamique claire ou de variation significative, certains paramètres n'ont pas été illustrés graphiquement. Leur analyse est présentée de manière descriptive dans les paragraphes suivants.

VIII.20. Salinité

Bien que la salinité ait été mesurée lors des deux campagnes, les résultats montrent des valeurs très faibles, comprises entre 0,1 et 0,5 g/L, sans variation marquée entre les stations. La station ABY (Abi Youcef) enregistre la valeur la plus faible (0,1 g/L), tandis que BAG et BOU atteignent un maximum modéré de 0,5 g/L en seconde campagne. La majorité des stations conservent des niveaux constants entre les deux campagnes, à l'exception d'une légère augmentation à BAG et BOU.

Toutefois, ces résultats confirment que la salinité est faible dans l'ensemble du bassin, ce qui est cohérent avec un cours d'eau continental peu minéralisé, et qu'elle ne constitue pas un facteur préoccupant pour la qualité de l'eau dans le contexte étudié.

VIII.21. TA

Le TA a été mesuré dans l'ensemble des stations au cours des deux campagnes. Les valeurs obtenues sont assez contrastées, allant de 0 à 39,6 °F, avec une hétérogénéité marquée selon les stations. Les hausses les plus notables sont observées à BAG, DBK et ADJ, qui présentent des valeurs nulles en première campagne, puis une augmentation nette en seconde.

À l'inverse, d'autres sites comme TKH, TAM ou BHR montrent des résultats plus réguliers, avec des alcalinités situées entre 11 et 33,66 °F, sans changement brutal entre les deux périodes. La station ABY, uniquement mesurée en première campagne, affiche une valeur modérée (12 °F), représentative de la stabilité du site.

VIII.22. TAC (Titre Alcalimétrique Complet)

Les résultats du TAC varient fortement entre les deux campagnes. Lors de la première, plusieurs stations présentent des valeurs très élevées, dépassant les 200 °F dans des sites comme DBK (217 °F), BAG (211 °F) ou encore ADJ (195 °F). Ces niveaux traduisent une présence importante d'alcalinité totale, en lien avec la concentration en bicarbonates.

En revanche, une baisse marquée est observée lors de la seconde campagne dans la majorité des stations, avec des chutes nettes comme à DBK (0 °F), BHR (184 → 10 °F) ou ADJ (195 ; 15 °F).

La station ABY, mesurée uniquement en première campagne, conserve une valeur élevée (171 °F), ce qui reste cohérent avec l'ensemble de ses paramètres physico-chimiques stables.

Cette évolution entre les deux campagnes met en évidence une variabilité de la capacité tampon selon les stations.

VIII.23. Carbonates (CO_3^{2-})

Les teneurs en ions carbonates (CO_3^{2-}) présentent une distribution très inégale entre les stations. Plusieurs d'entre elles, comme DBK, BOU, TAM, ADJ et BAG en première campagne, affichent des valeurs nulles, traduisant une absence ou une très faible présence de carbonates libres dans l'eau.

D'autres stations, en revanche, montrent des concentrations plus élevées, notamment BOU (294 mg/L), BAG (216 mg/L) et TKH (177 mg/L). Ces niveaux indiquent une présence significative de formes carbonatées, probablement liée à la géologie locale et à une alcalinité marquée dans ces zones.

VIII.24. Couleur et Absorbance UV

Les mesures de couleur et d'absorbance UV montrent des niveaux très variables selon les stations, sans progression nette d'amont en aval. Les valeurs les plus élevées en couleur sont enregistrées à BAG (170), DBK (106–112) et BOU (64–66), ce qui traduit une charge élevée en particules fines ou en composés organiques colorés, en lien avec la turbidité et les matières organiques mesurées.

L'absorbance UV, qui renseigne sur la présence de matières organiques dissoutes, suit une tendance similaire : elle est maximale à DBK (jusqu'à 0,212), BAG (0,182) et BOU (0,096). Ces stations sont également marquées par des teneurs élevées en MO, NH_4^+ et orthophosphates, renforçant l'hypothèse d'une pollution organique diffuse ou ponctuelle.

En revanche, des stations comme ABY, TKH, BHR et ADJ présentent des valeurs beaucoup plus faibles en UV ($\leq 0,041$) et en couleur (souvent < 40), traduisant des milieux plus clairs, moins chargés, et mieux oxygénés.

VIII.25. Aluminium

Les concentrations en aluminium restent généralement très faibles dans l'ensemble des stations, avec des valeurs comprises entre 0,003 et 0,102 mg/L. Les taux les plus élevés sont enregistrés à ABY (0,102 mg/L), DBK (0,038 mg/L) et TKH (0,025 mg/L). Bien que modestes, ces valeurs peuvent être associées à la nature géologique du bassin ou à la présence de matières en suspension.

Les autres stations présentent des concentrations proches ou inférieures à 0,01 mg/L, ce qui reste largement en dessous des seuils de qualité recommandés pour l'eau douce. Cette faible teneur en aluminium reflète une bonne stabilité physico-chimique, et une absence de contamination métallique significative sur l'ensemble du bassin.

IX. Évaluation de la qualité de l'eau par l'indice canadien (CCME WQI) :

Parmi l'ensemble des paramètres mesurés, douze ont été retenus pour le calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (ICQE).

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de l'indice canadien de qualité de l'eau (CCME WQI) calculées pour chacune des stations étudiées lors des deux campagnes de prélèvement (mars et avril 2025), accompagnées de leur classification qualitative selon les seuils définis par le CCME.

Tableau 11 : Valeurs de l'indice canadien de qualité de l'eau (CCME WQI) et classes de qualité associées pour l'ensemble des stations étudiées

Date	Station	CCME WQI	Classes de qualité
08/03/2025	BAG	39,7	très médiocre
08/03/2025	BOU	60,52	médiocre
08/03/2025	DBK	39,95	très médiocre
08/03/2025	TAM	63,49	médiocre
08/03/2025	BHR	86,03	bonne
08/03/2025	ADJ	70,85	moyenne
08/03/2025	ABY	93,18	bonne
08/03/2025	TKH	92,82	bonne
12/04/2025	BAG	33,86	très médiocre
12/04/2025	BOU	60,52	médiocre
12/04/2025	DBK	40,01	très médiocre
12/04/2025	TAM	75,03	moyenne
12/04/2025	BHR	77,7	moyenne
12/04/2025	ADJ	74,38	moyenne
12/04/2025	TKH	100	excellente

Dans le cadre de cette étude, l'indice canadien de qualité de l'eau (CCME WQI) a été appliqué à 8 stations réparties le long de l'Oued Sébaou, au cours de deux campagnes d'échantillonnage réalisées respectivement les 08 mars 2025 et 12 avril 2025. L'indice, basé

sur 12 paramètres physico-chimiques, a permis d'évaluer l'état global de l'eau en intégrant à la fois le nombre de paramètres non conformes (F1), la fréquence des dépassements (F2), ainsi que l'ampleur des écarts par rapport aux Normes (F3).

Les résultats obtenus révèlent des variations spatiales et temporelles significatives de la qualité de l'eau, avec un gradient marqué allant de stations en excellent état à d'autres fortement dégradées.

- La station **TKH** se distingue par un indice très élevé, atteignant même la note maximale de 100 lors de la seconde campagne. Aucun dépassement n'a été enregistré, ce qui reflète une eau de qualité excellente. Ce résultat indique l'absence d'impact anthropique significatif et suggère un écosystème en très bon état de conservation. **TKH** peut être considérée comme une station de référence écologique pour le bassin du Sébaou.
- La station **ABY** présente également un indice de qualité de l'eau élevé (IQE = 93,18), révélant une eau globalement propre. Seul le paramètre phosphate (PO_4^{3-}) dépasse légèrement la norme, tandis que tous les autres paramètres, notamment l'ammonium, les nitrites, la turbidité et la conductivité, restent bien en dessous des seuils admissibles. Cette situation suggère un milieu peu soumis à la pollution et un fonctionnement hydrochimique équilibré, faisant d'**ABY** une station représentative des zones en bon état écologique du bassin versant du Sébaou.
- Les stations comme **BHR** et **ADJ** oscillent entre moyenne et bonne qualité, avec des dépassements modérés, souvent limités à un ou deux paramètres. Ces légères non-conformités peuvent être liées à des apports diffus (engrais, ruissellement agricole) sans impact majeur sur la qualité globale.
- Les stations **TAM** et **BOU** présentent des indices compris entre 60 et 75, correspondant à une qualité moyenne à médiocre. Ces stations sont probablement influencées par des sources de pollution diffuses, telles que l'épandage d'engrais, les ruissellements pluviaux, ou encore le rejet de lixiviats agricoles. La stabilité ou l'amélioration de leurs indices entre les deux campagnes suggère une variabilité liée aux conditions hydrologiques (débit, pluviométrie, dilution), sans changement structurel profond.
- Enfin, certaines stations, comme **BAG** et **DBK**, présentent des indices systématiquement inférieurs à 45, classant leur qualité comme très médiocre. Ces stations cumulent plusieurs dépassements de seuils réglementaires, notamment en azote réduit (NH_4^+ , NO_2^-) et en phosphates (PO_4^{3-}), accompagnés d'une turbidité et de MES parfois élevées. Ces caractéristiques traduisent des apports organiques importants probablement issus de rejets domestiques non traités, de ruissellements agricoles, ou de déversements intermittents de polluants. La présence persistante d'ammonium et de nitrites peut aussi refléter une charge organique fraîche et une dégradation incomplète de la matière azotée, indiquant une pollution récente et continue.

X. Résultats faunistique

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

X.1. Analyse globale de la faune benthique

Le benthos est constitué d'invertébrés vivant dans le fond des cours d'eau, ces derniers se répartissent d'une façon hétérogène en fonction de la nature du substrat, certains sont fixés, d'autres rampants ou encore fouisseurs. Leur distribution dépend des conditions environnementales. Ainsi, tout changement des conditions environnementales entraîne des changements dans les communautés, notamment au niveau de la composition faunistique.

Les données faunistiques suivants résultent d'une seule campagne d'échantillonnage : 24 mai 2025, effectuées sur huit stations s'échelonnant entre 50 et plus de 750m d'altitude. Les prélèvements réalisés ont permis l'élaboration du tableau faunistique ci-dessous, lequel recense les taxons identifiés dans chacune des stations.

Tableau 12 : Répartition de la faune benthique dans les stations d'étude.

Taxons \ Stations	BAG	BOU	DBK	TAM	BHR	ABY	ADJ	TAK	AB	ABR%	OC	OCR %
Éphéméroptères												
Beatidae												
<i>Baetis</i>	218	72	137	75	76	18	403	145	1144	16.97%	8	100%
<i>cleon</i>			15	5					20	0.29%	2	25%
<i>Sentroptilum</i>						7	15		22	0.32%	2	25%
<i>Nigrobaetis</i>						3			3	0.04%	1	12.5%
<i>Procleon</i>				6					6	0.08%	1	12.5%
Caenidae												
<i>Caenis</i>		54		104	34	5		3	200	2.96%	5	62.5%
Leptophlebiidae												
<i>Choroterpes</i>					5				5	0.07%	1	12.5%
<i>Habrophlebia</i>						6			6	0.08%	1	12.5%
Potamanthidae												
<i>Potamanthus</i>				25					25	0.37%	2	25%
Total :	218	126	152	215	115	39	418	148	1431	21.23%		
Trichoptères												
Hydroptilidae												
<i>Allotrichia</i>				1					1	0.01%	1	12.5%
<i>Hydroptila</i>				1	10				11	0.16%	2	25%
Hydropsychidae												
<i>Hydropsyche</i>		11		2	17			25	55	0.81%	4	50%
Rhyacophilidae												

<i>Rhyacophila</i>								13	13	0.19%	1	12.5%
Total :	0	11	0	4	27	0	0	38	80	1.18%		
Coléoptères												
Dytiscidae												
<i>Agabus</i>					9				9	0.13%	1	12.5%
<i>Bidessus</i>				14					14	0.20%	1	12.5%
<i>Dytiscus</i>		8		12					20	0.29%	2	25%
Elmidae												
<i>Elmis</i>				8					8	0.11%	1	12.5%
<i>Riolus</i>					12				12	0.17%	1	12.5%
Hydroscaphidae												
<i>Hydroscapha</i>					7				7	0.10%	1	12.5%
Hydraenidae												
<i>Limnebius</i>					24				24	0.35%	1	12.5%
Hydrophilidae												
<i>Hydrophilus</i>							10		10	0.14%	1	12.5%
Staphilinidae												
<i>Staphilinus</i>						3			3	0.04%	1	12.5%
Total:	0	8	0	34	52	3	10	0	107	1.58%		
Hétéroptères												
Corixidae												
<i>corixa</i>		12			6				18	0.26%	2	25%
Mesoveliidae												
<i>Mesovelia</i>	11						10		21	0.31%	2	25%
Naucoridae												
<i>Naucoris</i>								12	12	0.17%	1	12.5%
Pleidae												
<i>Plea</i>	5								5	0.07%	1	12.5%
Total	16	12	0	0	6	0	10	12	56	0.83%		
Odonates												
Aeshnidae												
<i>Aeshna</i>								10	10	0.14%	1	12.5%
Gomphidae												
<i>Gomphus</i>				5	8			5	18	0.26%	3	37.5%
Libellulidae												
<i>Libellula</i>								8	8	0.11%	1	12.5%
Total	0	0	0	5	8	0	0	23	36	0.53%		
Diptères												
Ceratopogonidae							16	8	24	0.35%	2	25%
Chironomidae	920	48	158	263	58	32	215	90	1784	26.47%	8	100%
Dixidae						12			12	0.17%	1	12.5%
Dolichopodidae				50					50	0.74%	1	12.5%
Limoniidae					24		17		41	0.60%	2	25%
Psychodidae						8	7		15	0.22%	2	25%
Ptychopteridae							15	7	22	0.32%	2	25%

Simuliidae	700	25	84	154	33	56	300	178	1530	22.70%	8	100%
Thaumaleidae							15		15	0.22%	1	12.5%
Tipulidae					15	8	5		28	0.41%	3	37.5%
Total	1620	73	242	467	130	116	590	283	3521	52.25%		
Oligochètes												
Lumbricidae	20								20	0.29%	1	12.5%
Naididae	670				20	3	16	22	731	10.84%	5	62.5%
Tubificidae	80	6	182	300	35	10	38	15	666	9.88%	8	100%
Total	770	6	182	300	55	13	54	37	1417	21.02%		
Mollusques												
Ancylidae												
<i>Ancylus</i>						3			3	0.04%	1	12.5%
Bithyniidae												
<i>Bithynia</i>	12				11				23	0.34%	2	25%
Hydrobiidae												
<i>Bithynella</i>						6			6	0.08%	1	12.5%
Total	12	0	0	0	11	9	0	0	32	0.47%		
Sangsues												
Erpobdellidae												
<i>Erpobdella</i>	25		8						33	0.48%	2	12.5%
Total	25	0	8	0	0	0	0	0	33	0.48%		
Hydracariens												
Hydracariens						3	7	12	22	0.32%	3	37.5
Total	0	0	0	0	0	3	7	12	22	0.32%		
Colombolle												
Colombolle						3			3	0.04%	1	12.5%
Total	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0.04%		
Abondance stationnelle	2661	236	584	1025	404	186	1089	553	6658			
Richesse taxonomique	10	8	6	16	18	17	15	15				

Tableau 13: Nombre de taxons par groupe faunistique

Groupes zoologiques	Nombre de familles	Nombre de genres
Éphéméroptères	4	9
Trichoptères	3	4
Coléoptères	6	9
Hétéroptères	4	4
Odonates	3	3

Diptères	10	0
Oligochètes	3	0
Mollusques	3	3
Sangsues	1	1
Hydracariens	1	1
colombolle	1	1
Total	39	35

L'analyse des macroinvertébrés échantillonnés dans les huit stations révèle une structure faunistique dominée par les insectes de l'ordre des Diptères, représentant à eux seuls 52,25 % de l'ensemble des individus recensés. Deux familles en particulier, les *Chironomidae* (26,47 %) et les *Simuliidae* (22,70 %), sont largement majoritaires, ce qui suggère une forte présence d'organismes tolérants à la pollution organique et à des conditions environnementales instables et appauvries en oxygène dissous. En seconde position, les Oligochètes représentent 21,02 %, avec une nette domination des *Naididae* (10,84 %) et des *Tubificidae* (9,88 %), deux groupes également considérés comme indicateurs de milieux dégradés ou eutrophes.

Les Éphéméroptères, groupe reconnu pour sa sensibilité à la pollution, occupent la troisième place avec 21,23 % des individus. Le genre *Baetis*, à lui seul, totalise 16,97 % et est présent dans toutes les stations (100 % de fréquence d'occurrence), ce qui montre une bonne capacité d'adaptation à différents niveaux de qualité de l'eau. D'autres genres plus sensibles comme *Caenis*, *Choroterpes* ou encore *Potamanthus* sont aussi représentés, bien que de manière plus localisée.

Parmi les groupes secondaires, on retrouve :

- Les Trichoptères (1,18 %), avec notamment *Hydropsyche* et *Hydroptila*, généralement indicateurs de milieux bien oxygénés.
- Les Coléoptères (1,58 %), assez diversifiés (familles *Dytiscidae*, *Elmidae*, *Hydrophilidae*), mais peu abondants.
- Les Hétéroptères (0,83 %), les Odonates (0,53 %), les Mollusques (0,47 %), les Sangsues (0,48 %) et les Hydracariens (0,32 %) restent peu représentés, mais leur présence apporte une information complémentaire sur la qualité écologique des stations.

Du point de vue spatial, la station BA est la plus abondante avec 2661 individus, suivie par AD et TA. Toutefois, cette abondance s'accompagne souvent d'une forte dominance des

Chironomidae et *Simuliidae*, ce qui peut masquer une dégradation écologique. À l'inverse, la richesse spécifique est plus élevée à BH avec 18 espèces, AY (17 espèces), ainsi qu'à TA (16 espèces) et AD et TK (15 espèces chacune), reflétant une diversité faunistique plus équilibrée. Certaines espèces présentent une forte fréquence d'occurrence, notamment *Baetis*, *Chironomidae*, *Simuliidae* et *Tubificidae*, toutes présentes dans l'ensemble des stations (100 %), illustrant leur large tolérance aux variations des conditions abiotiques. D'autres taxons, en revanche, ne sont présents que dans une ou deux stations, ce qui témoigne de leur exigence écologique plus élevée et de leur sensibilité aux perturbations.

Enfin, le faible nombre d'espèces sensibles comme les Trichoptères, Odonates et Leptophlebiidae suggère que la qualité de l'eau reste globalement altérée dans la plupart des stations.

Cette structuration de la communauté benthique est illustrée de manière synthétique par la figure, représentant la répartition relative des grands groupes taxonomiques.

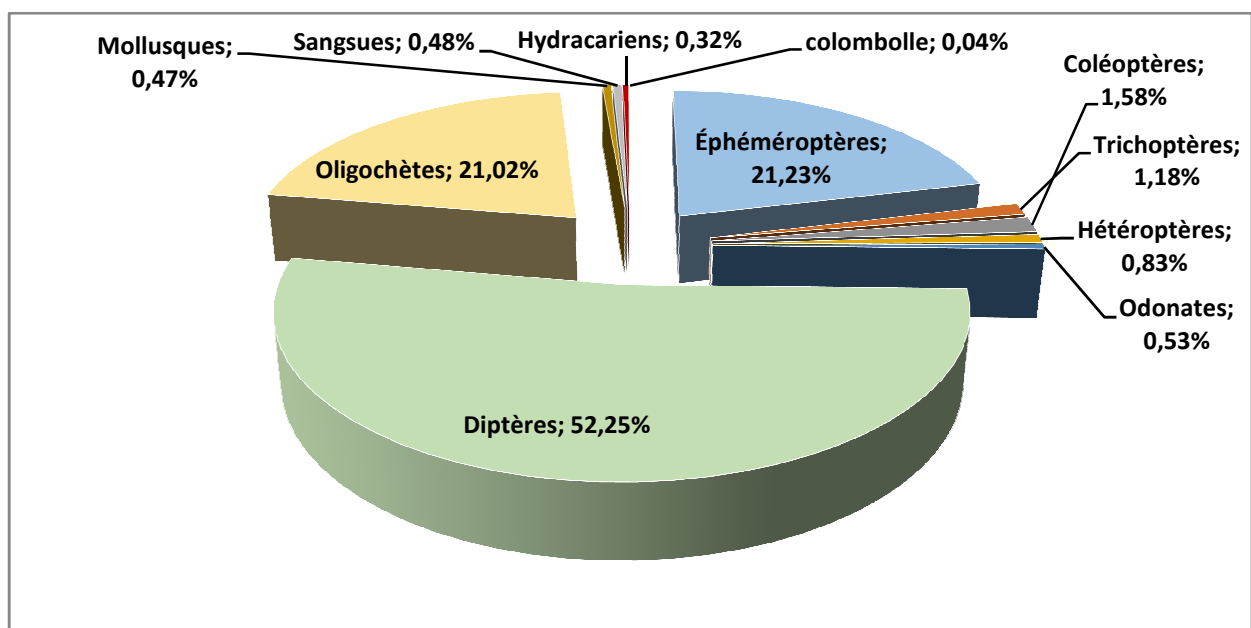


Figure 24 : Répartition globale de la faune benthique dans les stations d'études.

X.1.1. Analyse de l'abondance stationnelle des macroinvertébrés

Un total de 6738 individus appartenant à 37 familles et 33 genres a été récolté.

L'abondance totale des macroinvertébrés varie fortement selon les stations. La station BA se distingue nettement avec 2661 individus, soit près de 40 % de l'ensemble des organismes

recensés. Cette forte densité s'explique par la prolifération d'espèces opportunistes très tolérantes, comme les *Chironomidae*, *Simuliidae* et *Baetis*, capables de se développer rapidement dans des milieux enrichis en matière organique. Les stations AD (1089 individus) et TA (1025) présentent également des effectifs élevés, bien qu'elles soient elles aussi dominées par ces mêmes groupes peu exigeants.

À l'inverse, la station AY, qui correspond à une zone de source, présente une faible abondance (186 individus), ce qui est caractéristique ce type d'habitat, généralement plus stable, mieux oxygéné et naturellement moins peuplé. De même, BG (236 individus) affiche une densité réduite, qui résultent de conditions écologiques restrictives, soit d'une plus faible productivité. Les stations TK, DB et BH occupent une position intermédiaire. Globalement, ces résultats montrent que l'abondance seule ne permet pas de juger de la qualité écologique, surtout lorsqu'elle est concentrée chez quelques espèces très abondantes mais peu représentatives de la diversité globale.

Cette répartition inégale de l'abondance entre les stations est illustrée dans la figure suivante, mettant en évidence les écarts de densité faunistique à travers les sites étudiés.

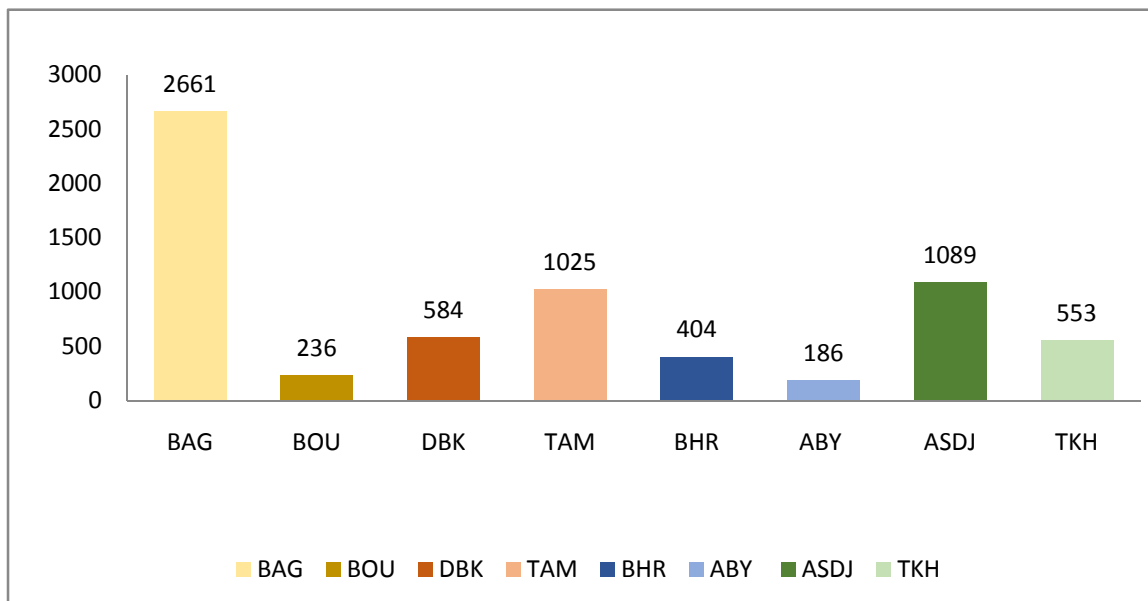


Figure 25 : Répartition de l'abondance de la faune benthique dans les stations d'étude.

X.1.2. Richesse taxonomique

La richesse spécifique, définie comme le nombre total de taxons présents dans chaque station, varie de façon nette

La figure ci-dessous illustre la richesse taxonomique observée, elle fluctue d'une station à l'autre allant de 6 à 18 taxa. BH est la station la plus riche (18 taxons), suivie de AY (17), TA (16), puis AD et TK (15). Ces stations présentent souvent un substrat hétérogène, une bonne oxygénation et un niveau de pollution plus modéré, ce qui favorise l'installation de nombreux groupes faunistiques.

En revanche, les stations BA (10 taxons), BG (8) et surtout DBk (6) présentent une faible richesse, Cela est probablement lié à la forte charge organique et à l'homogénéisation du substrat

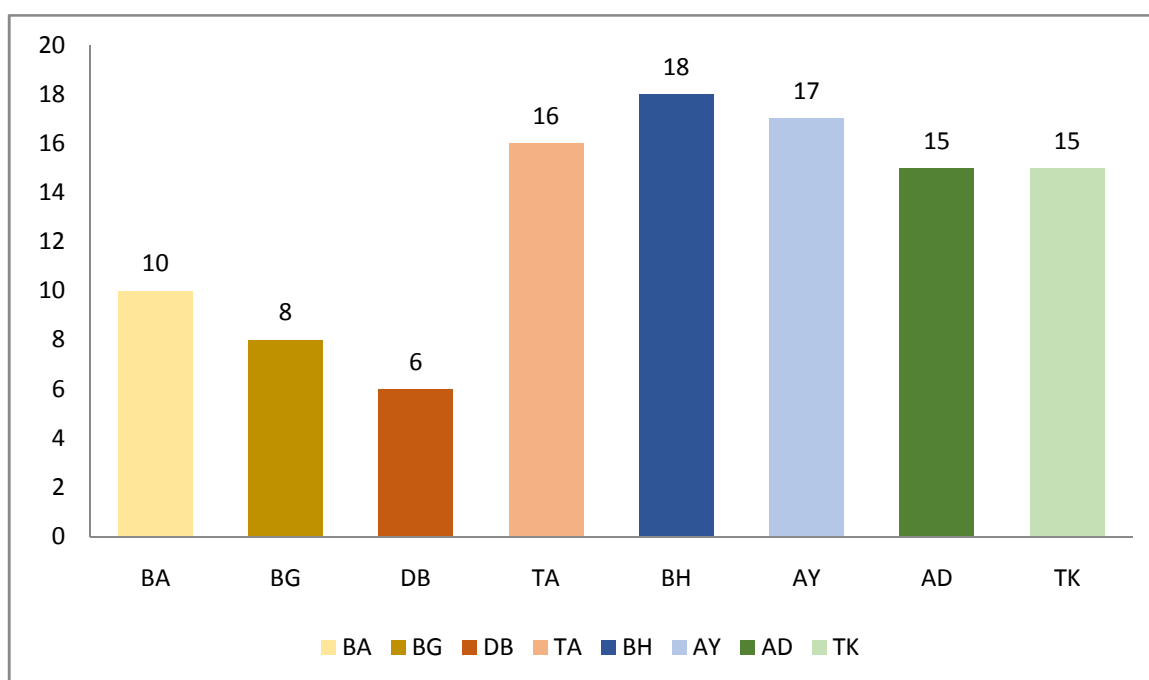


Figure 26 : Nombre de taxons identifiés par station

X.1.3. Occurrence et abondance des taxons

Les taxons ont été répartis selon leur fréquence d'apparition (occurrence) et leur abondance en trois catégories :

Taxons dominants ($F \geq 50\%$)

Ils sont présents dans la majorité ou toutes les stations, et en forte quantité :

- *Baetis*, *Chironomidae*, *Simuliidae*, *Tubificidae*, *Naididae*.
- Ils sont très tolérants aux perturbations, euryèces, et colonisent tous types de milieux.

Taxons fréquents à modérés ($25\% < F < 50\%$)

Présents dans plusieurs stations, mais avec des effectifs plus faibles :

- *Hydropsyche, Caenis, Choroterpes, Potamanthus, Limnebius, Mesovelina...*
- Ces taxons montrent une préférence pour des habitats un peu plus stables, souvent bien oxygénés ou à substrat plus grossier.

Taxons rares ($F \leq 25\%$)

Peu abondants et très localisés :

- *Nigrobaetis, Procleon, Bythinella, Allotrichia, Aeshna, Gomphus, etc.*
- Leur faible présence est le signe de microhabitats bien spécifiques ou peu altérés, souvent sensibles à la moindre perturbation.

Cette classification montre une faune déséquilibrée, dominée par des espèces résistantes. Cela confirme les tendances observées dans les autres analyses : présence importante d'espèces tolérantes, et rareté des espèces indicatrices de bonne qualité écologique. Les figures ci-dessous permettent de visualiser respectivement l'occurrence relative et l'abondance globale des taxons, et illustrent cette structuration déséquilibrée des communautés benthique.

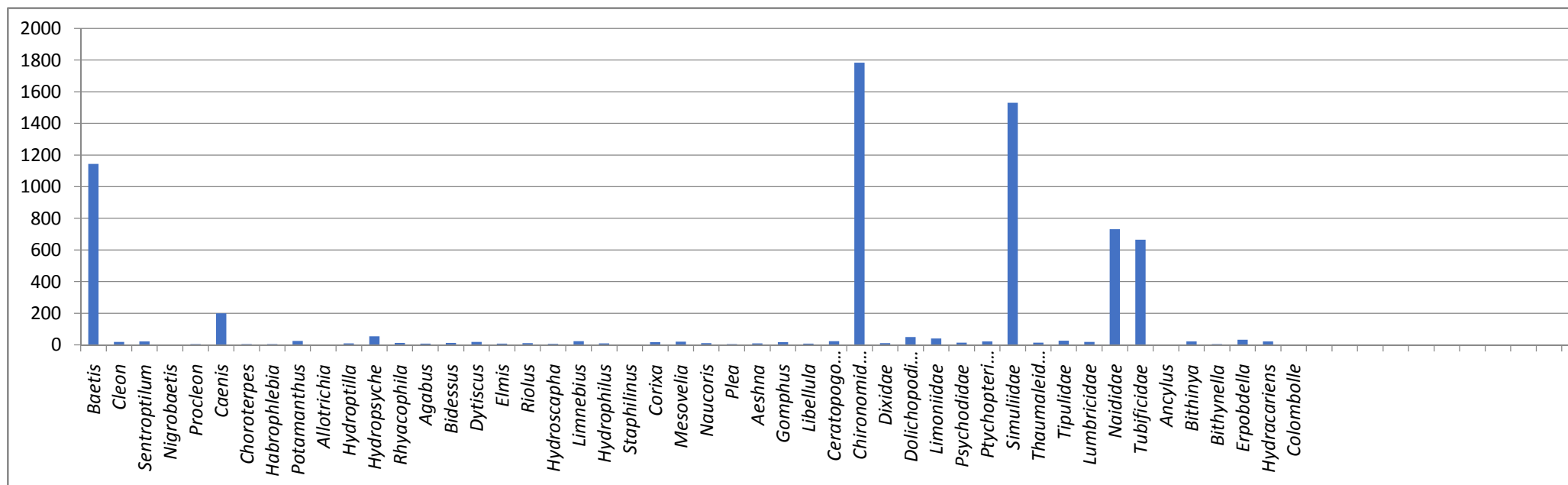


Figure 27 : abondance des taxons dans les stations étudiées.

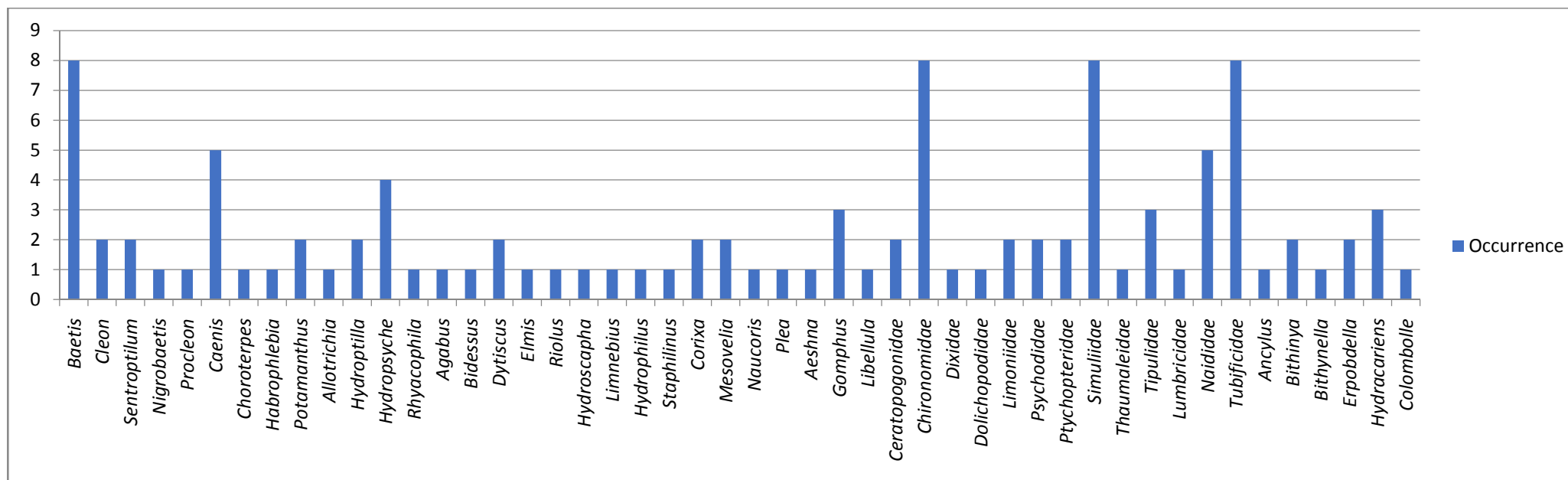


Figure 28 : occurrence des taxons dans les stations étudiées.

X.2. Analyse quantitative et qualitative de la faune benthique

X.2.1. Les Ephéméroptères

Les Ephéméroptères représentent l'ordre d'insectes le plus primitif parmi les insectes ailés, Ils sont des hémimétaboles qui présentent un stade ailé unique dans la classe des insectes (le subimago) qui précède le stade imaginal (WEBER & WEIDNER, 1974).

Ce groupe se distingue par une grande diversité écologique : leurs larves colonisent aussi bien les eaux courantes que stagnantes, interagissent avec le substrat selon des comportements variés (fouisseurs, rampants, nageurs) et adoptent différents régimes alimentaires tels que la filtration, le raclage ou la consommation de débris organiques (Zrelli et al., 2015).

L'étude a permis de recenser 1431 individus d'Éphéméroptères, répartis en 4 familles et 9 genres, représentant 21,23 % de la faune benthique totale. La famille des Baetidae domine très largement avec 1144 individus (soit 79,95 % du peuplement), principalement représentée par le genre *Baetis* (1144 individus, présent dans les 8 stations), suivi de quelques genres secondaires comme *Sentropilum*, *Nigrobaetis*, *Cleon* et *Procleon*. Les Caenidae, représentés par *Caenis*, totalisent 200 individus (13,98 %) et sont présents dans 5 stations. Les Leptophlebiidae (*Choroterpes*, *Habrophlebia*) ne comptent que 11 individus (0,77 %), alors que les Potamanthidae (*Potamanthus*) sont représentés par 25 individus (1,75 %), répartis dans 3 stations. La faible abondance des familles autres que Baetidae, et leur présence limitée à quelques stations, traduisent une sensibilité écologique plus élevée. Cela confirme que le peuplement est majoritairement constitué de taxons tolérants, bien adaptés aux milieux perturbés.

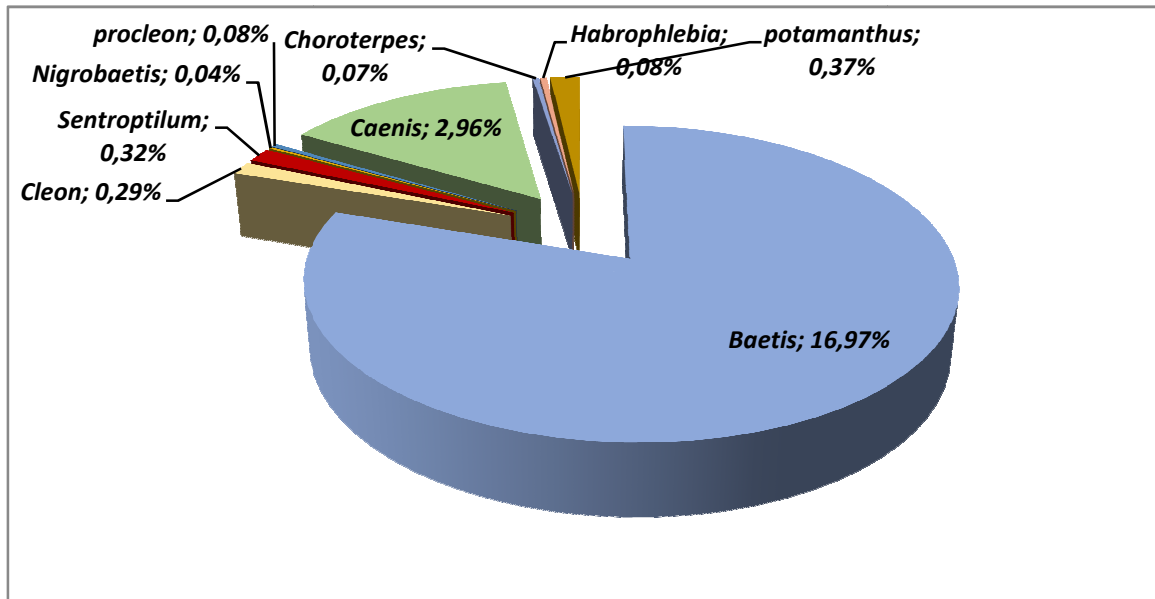


Figure 29 : Abondance relative des Ephéméroptères étudiés.

Sur le plan spatial, la station AD présente l'abondance la plus élevée avec 418 individus, suivie par BA (218), TA (215), TK (148) et DB (152). Les stations BG (126), BH (115) et surtout AY (39) affichent les effectifs les plus faibles. La répartition dominante de Baetis dans toutes les stations confirme son caractère ubiquiste et sa tolérance aux conditions fluctuantes. À l'inverse, les genres sensibles comme Choroterpes, Habrophlebia ou Potamanthus ne sont retrouvés que dans des stations plus favorables sur le plan écologique, à substrat diversifié et bien oxygéné.

Cette distribution spatiale illustre une préférence marquée des Éphéméroptères pour les stations de moyenne altitude, où les conditions d'écoulement, de substrat et d'oxygénation sont plus stables. À l'inverse, les stations plus élevées et plus fraîches, à substrat grossier ou lit étroit, offrent un environnement moins propice à leur développement. Ces observations concordent avec les résultats de Lounaci (1987), Mouloud (1988) et Lounaci-Daoudi (1996), qui indiquent que les genres dominants comme Baetis et Caenis sont des espèces thermophiles, inféodées aux cours d'eau de moyenne et basse altitude.

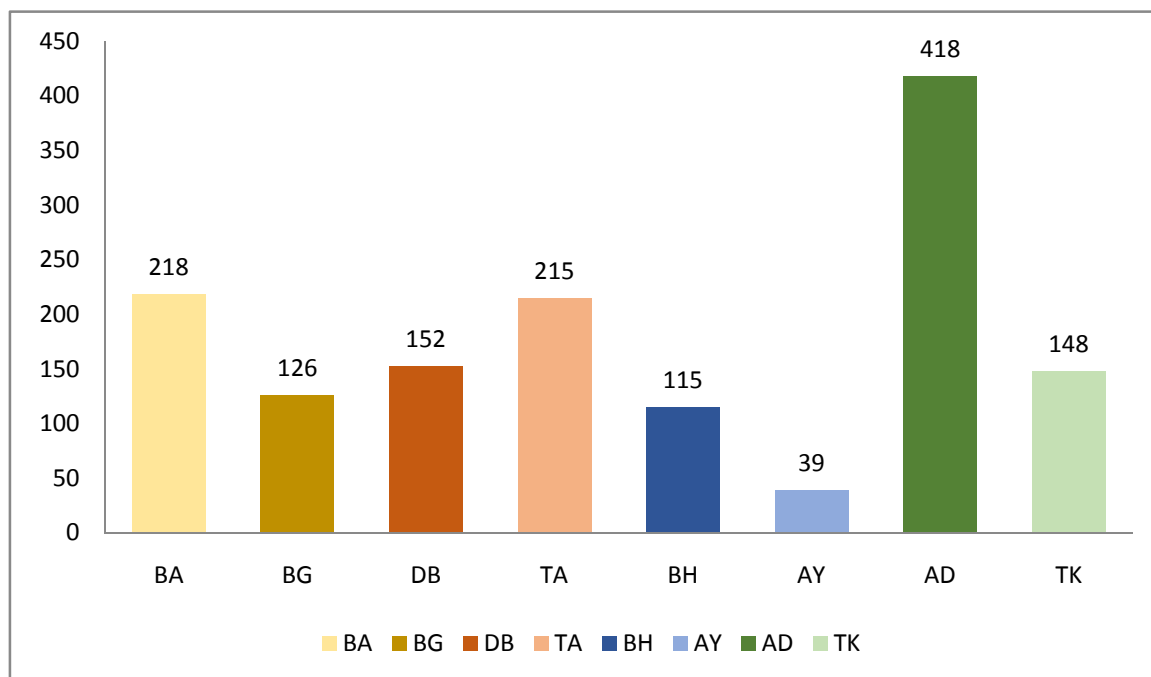


Figure 30 : Répartition des Ephéméroptères dans les stations d'étude.

X.2.2. Les Diptères

Les Diptères représentent un ordre d'insectes aquatiques largement répandu dans les eaux de surface. Leurs larves, dépourvues de pattes thoraciques, possèdent parfois des pseudopodes non articulés qui facilitent leur déplacement sur des substrats meubles (Tachet et al., 1980). Ils se caractérisent par leur grande plasticité écologique et leur capacité à coloniser divers types d'habitats, en particulier les milieux enrichis en matière organique.

Dans cette étude, les Diptères constituent le groupe le plus abondant avec 3521 individus, répartis en 10 familles, et sont présents dans l'ensemble des stations échantillonnées. Ils représentent 52,25 % de la faune benthique totale, ce qui témoigne de leur rôle dominant dans la structure des communautés. Les Simuliidae se trouvent en première position avec 1530 individus (soit 43,46 % des Diptères), suivis des Chironomidae avec 1784 individus (50,67 %). Les autres familles sont faiblement représentées : Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Dixidae, Limoniidae, Psychodidae, Tipulidae, Ptychopteridae et Thaumaleidae, totalisant 207 individus, soit 5,87 % de l'ensemble des Diptères.

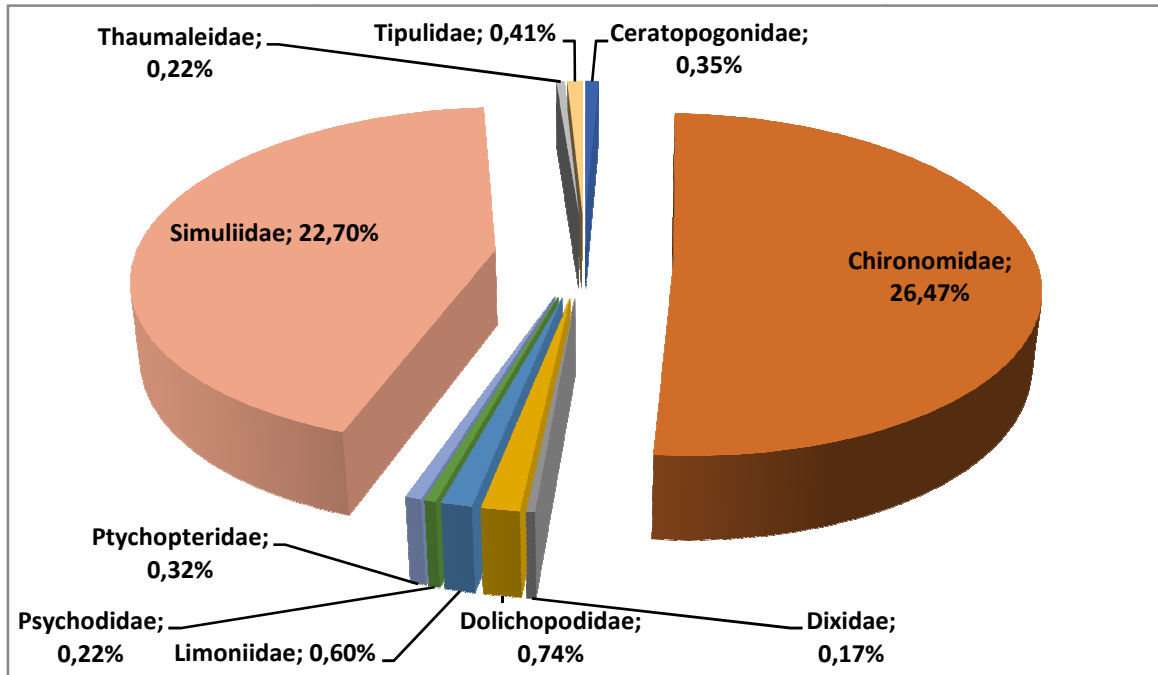


Figure 31 : Abondance relative des Diptères étudiés.

Sur le plan spatial, la station BA (Baghlia) affiche le maximum d'abondance avec 1620 individus, soit près de 46 % des Diptères recensés, dominée par les Chironomidae et Simuliidae. Les stations AD (590 individus), TA (467 individus) et TK (283 individus) montrent également des effectifs importants. En revanche, les stations BG, DB, BH et AY présentent des effectifs plus faibles, tout en restant dominées par les Chironomidae. La distribution longitudinale des Diptères met donc en évidence leur préférence pour les zones de basse et moyenne altitude, souvent caractérisées par une charge organique élevée.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Sellam et al. (2016), qui soulignent que les eaux riches en matière organique favorisent la prolifération des stades immatures des Diptères. Par ailleurs, Sekhi (2010) indique que les Chironomidae peuvent être abondants dans des milieux calmes, même peu perturbés, mais qu'ils atteignent des densités élevées dans les environnements riches en matière organique grâce à leur grande tolérance à la pollution.

Ainsi, la forte dominance des Chironomidae et Simuliidae, combinée à la faible représentation des autres familles, traduit un déséquilibre écologique, typique des milieux perturbés.

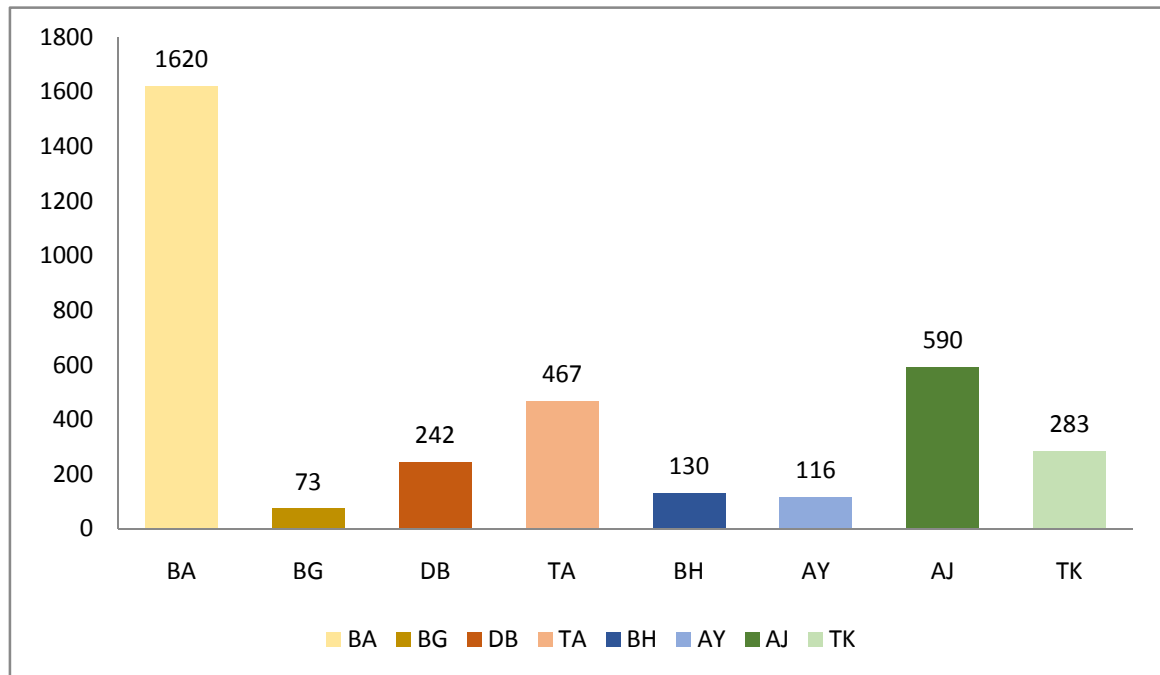


Figure 32 : Distribution des Diptères dans les stations d'étude.

X.2.3. Les Coléoptères

Les Coléoptères aquatiques se distinguent par leur développement à métamorphose complète, impliquant une transformation profonde entre les stades larvaire et adulte. Leur adaptabilité leur permet de coloniser divers milieux aquatiques, allant des torrents oxygénés aux eaux stagnantes riches en végétation submergée (Tachet et al., 1980). Toutefois, leur distribution reste étroitement liée à des facteurs environnementaux comme la température, la composition du substrat, la densité de la végétation immergée et la disponibilité trophique (Lounaci, 1987 ; Mebarki, 2001).

Sur le plan taxonomique, 107 individus ont été identifiés, appartenant à 6 familles et 9 genres, représentant 1,58 % de la faune benthique totale. Les Hydraenidae sont les plus représentés avec *Limnebius* (24 individus), suivis par les Dytiscidae : *Bidessus* (14 individus), *Dytiscus* (20 individus) et *Agabus* (9 individus). Les Elmidae sont composés de *Riolus* (12 individus) et *Elmis* (8 individus). Les familles Hydrophilidae (*Hydrophilus* 10 individus), Hydroscaphidae (*Hydroscapha* 7 individus), et Staphilinidae (*Staphilinus*, 3 individus) complètent le peuplement avec des proportions marginales.

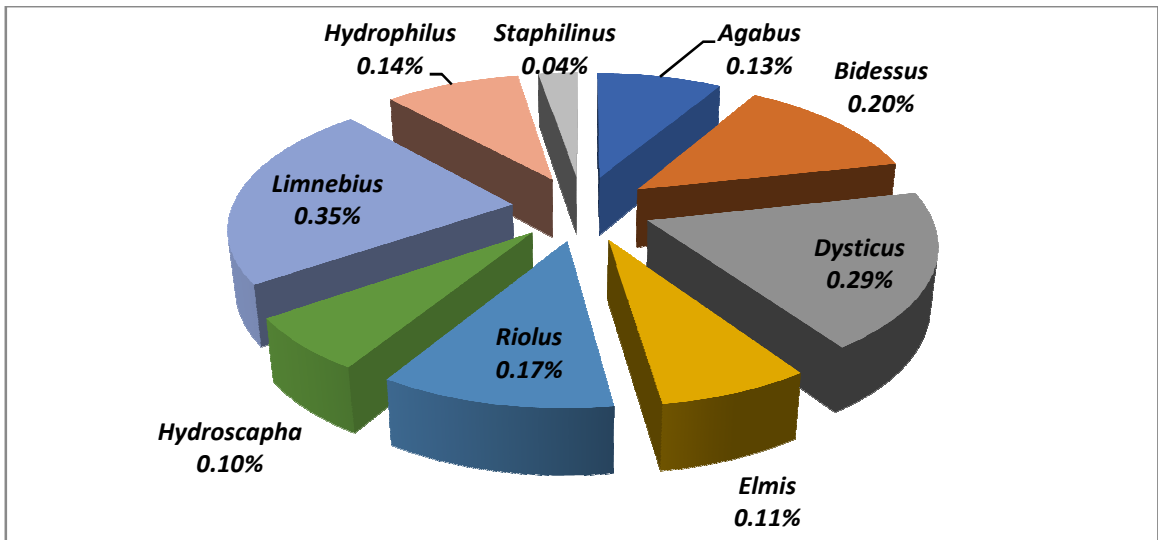


Figure 33 : Abondance relative des Coléoptères dans les stations d'étude.

La répartition spatiale des Coléoptères montre une forte hétérogénéité. Ils sont totalement absents des stations BA, DB et TK. La station BH regroupe à elle seule 52 individus, avec une prédominance de Limnebius (24 individus) et Dytiscus (17 individus). TA suit avec (34 individus), marqués notamment par Hydrophilus (10) et Bidessus (14). Les stations AD et BG comptent respectivement 10 et 8 individus, tandis que AY compte que 3 individus.

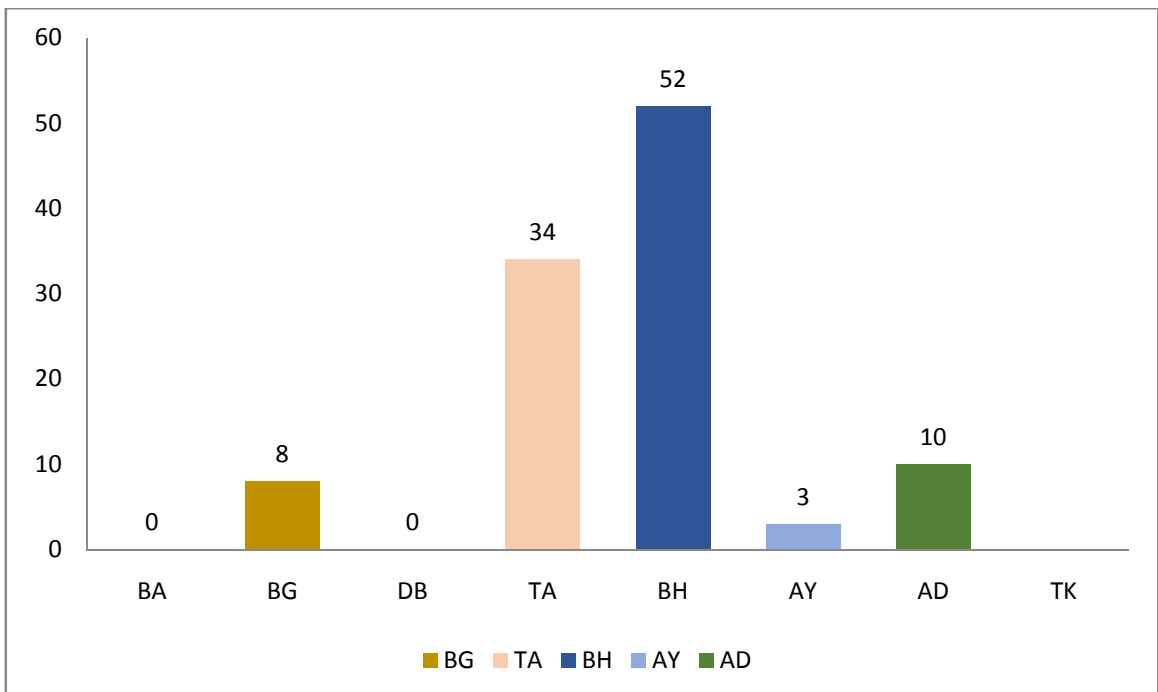


Figure34 : Distributions des Coléoptères dans les stations d'étude.

X.2.4. Les Trichoptères

Les Trichoptères sont des insectes aquatiques holométaboles, dont les larves et les nymphes vivent généralement dans les cours d'eau. Une exception notable existe toutefois chez *Enoicyla pusilla* (famille Limnephilidae), qui a secondairement colonisé les milieux terrestres. Ces insectes, connus pour leurs larves constructrices de fourreaux ou de filets en soie, occupent des niches écologiques variées et sont souvent associés à des eaux bien oxygénées et à substrat diversifié (Tachet et al., 1980).

Dans cette étude, les Trichoptères totalisent 80 individus, répartis en 3 familles et 4 genres, soit 1,18 % de l'ensemble de la faune benthique. La famille des Hydropsychidae est la plus abondante avec 55 individus, représentée uniquement par le genre *Hydropsyche*. Les Hydroptilidae sont représentés par deux genres : *Hydroptila* (11 individus) et *Allotrichia* (1 individu), totalisant 12 individus. Enfin, la famille des Rhyacophilidae, représentée par *Rhyacophila*, regroupe 13 individus. Ce peuplement, bien que peu diversifié, montre une nette dominance des espèces filtrantes des Hydropsychidae.

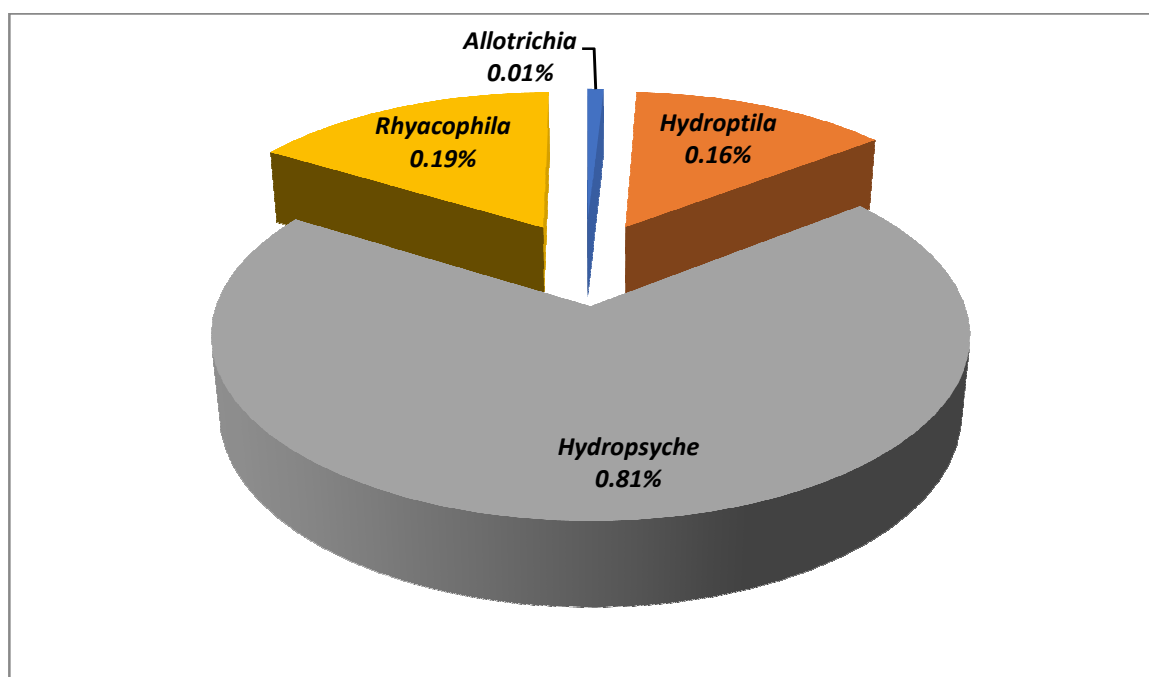


Figure 35 : Abondance relative des Trichoptères recensés.

La répartition spatiale met en évidence une présence localisée et inégale. Les Trichoptères sont totalement absents dans les stations BA, DB, AD et AY. Ils sont présents dans quatre stations, avec une abondance marquée à TK (38 individus) et BH (27 individus). Les stations BG et TA présentent des effectifs plus modestes avec respectivement 11 et 4 individus. La forte dominance de *Hydropsyche* dans ces stations, notamment à TK et BH,

reflète une bonne oxygénation des eaux ainsi qu'une charge organique modérée, conditions connues pour favoriser ce genre résistant (Moisan et al., 2006).

L'absence de Trichoptères dans les stations situées en aval (comme BA) ou en conditions plus perturbées pourrait s'expliquer par des pressions environnementales élevées, ou par le fait que certaines espèces émergent plus tôt dans la saison, réduisant ainsi leur détectabilité au moment de l'échantillonnage.

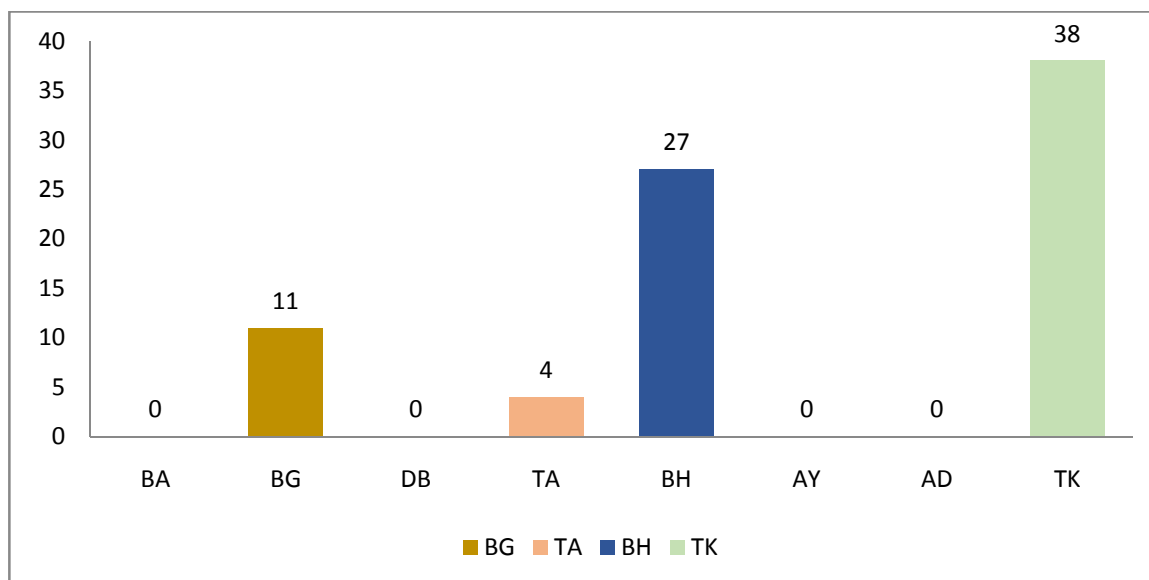


Figure 36: Distribution des Trichoptères dans les stations d'étude.

X.2.5. Les Oligochètes

Les Oligochètes sont des vers aquatiques fouisseurs, connus pour leur rôle dans la transformation des sédiments et le recyclage de la matière organique. Leur activité biologique en fait à la fois des agents naturels de fertilisation et des bioindicateurs de pollution organique (Echaubard & Neveux, 1975 ; Tourenq, 1975). Ils occupent une grande variété de milieux, mais leur répartition dépend fortement de la nature du substrat, de la charge en matière organique et de la stabilité des conditions physico-chimiques.

Dans cette étude, les Oligochètes représentent 21,02 % de la faune benthique totale, avec 1417 individus répartis en trois familles : Naididae, Tubificidae et Lumbricidae. Les Naididae sont les plus abondants avec 731 individus (10,84 %), suivis des Tubificidae (666 individus, 9,88 %). Les Lumbricidae, en revanche, sont très faiblement représentés, avec seulement 20 individus, tous localisés exclusivement à la station BA (Baghlia). Cette présence unique suggère une spécificité écologique forte, ou bien des conditions très localisées favorables à cette famille dans cette station seulement.

Sur le plan écologique, les Tubificidae montrent une grande tolérance environnementale, étant présents dans les huit stations étudiées. Les Naididae, plus exigeants, sont absents dans trois stations, mais restent dominants dans plusieurs sites. Enfin, Les Lumbricidae, bien que très peu représentés et localisés exclusivement à la station BA, jouent un rôle écologique non négligeable. Leur activité fousseuse participe à la bioturbation et à l'aération des sédiments, contribuant ainsi au fonctionnement écologique du milieu. Leur présence, bien que discrète, révèle des conditions environnementales particulières, notamment organiquement enrichi.

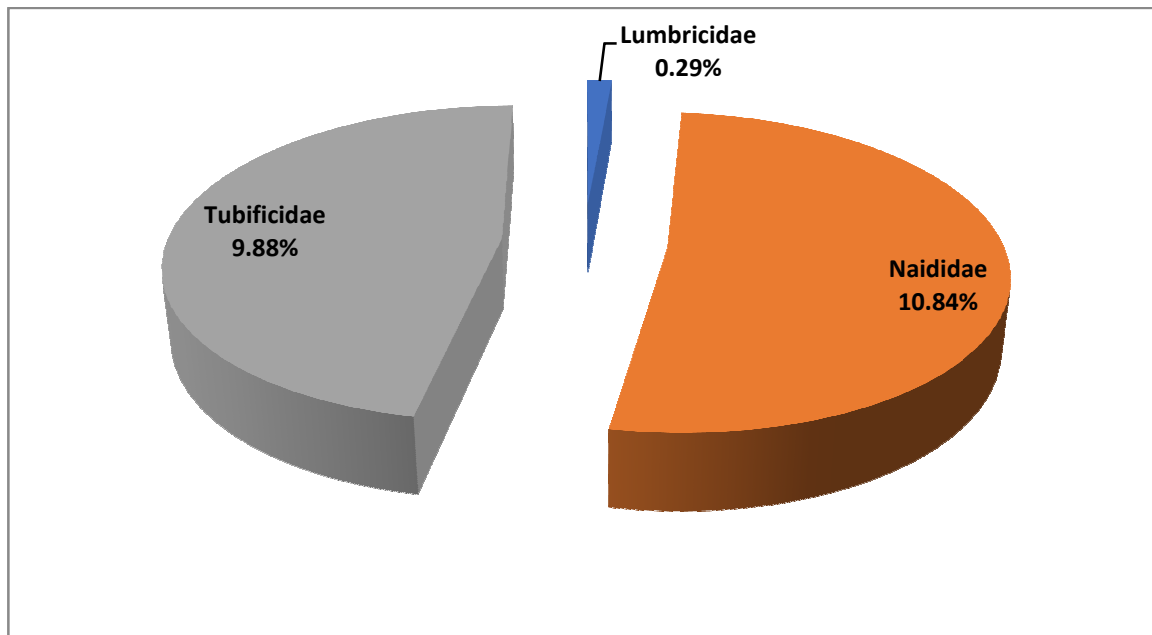


Figure 37 : Abondance relative des Oligochètes recensés.

Spatialement, la station BA concentre à elle seule 770 individus, soit plus de la moitié du peuplement. Elle est suivie par TA (300 individus) et DB (182 individus). Les autres stations enregistrent des densités plus faibles, en particulier BG (6 individus) et AY (13 individus). Cette forte abondance dans les stations de basse et moyenne altitude s'explique par des conditions favorables à la prolifération d'espèces détritivores qui se nourrissent principalement de matière organique en décomposition, jouant un rôle essentiel dans le recyclage des nutriments dans les sédiments benthiques.

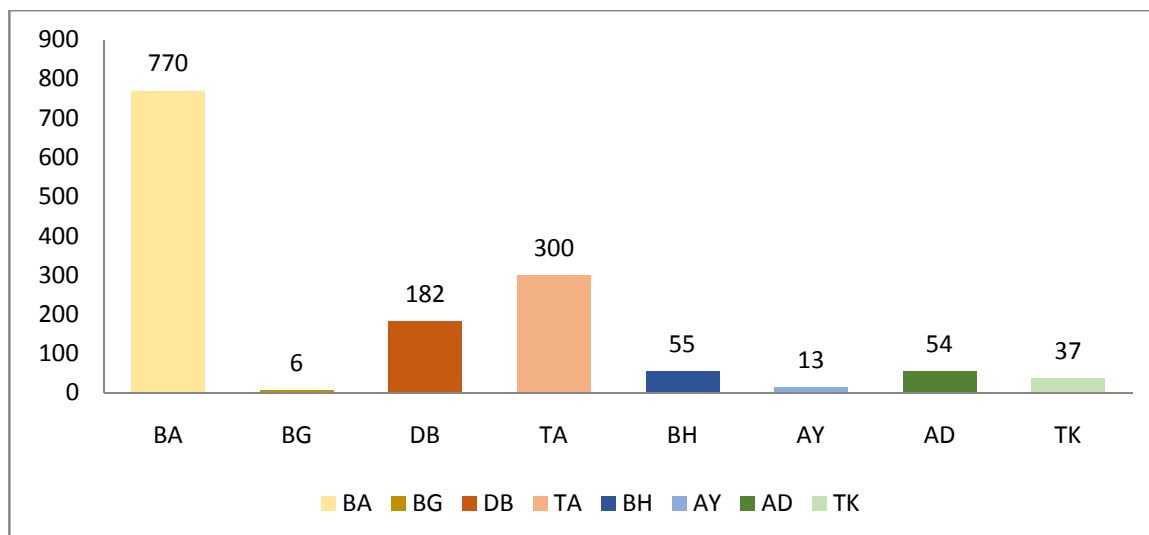


Figure 38 : Répartition des Oligochètes dans les stations d'étude.

X.2.6. Les autres groupes faunistique

Les autres ordres zoologiques recensés dans cette étude à savoir les Odonates, Hétéroptères, Mollusques, Hirudinées, Hydracariens et Collemboles sont faiblement représentés, tant en abondance qu'en fréquence. Ensemble, ils ne constituent que 2,67 % de la faune benthique totale. Leur présence est très localisée, observée respectivement dans cinq stations pour les Hétéroptères, trois pour les Odonates, les Mollusques, les Hydracariens et deux pour les Hirudinées et une pour Collemboles. Malgré leur effectif réduit, ces groupes conservent un intérêt écologique notable, car ils peuvent refléter des conditions locales particulières, telles que la présence de végétation immergée, un substrat stable ou une qualité physico-chimique favorable.

X.2.6.1. Les Hétéroptères

Selon Poisson (1957), les Hétéroptères aquatiques colonisent divers habitats d'eau douce, notamment les rives peu profondes. Dans cette étude, ils sont représentés par quatre familles : *Mesoveliidae*, *Corixidae*, *Naucoridae* et *Pleidae*, pour un total de 56 individus (0,83 %). Le genre *Mesovelina* domine avec 21 individus, suivi de *Corixa* (18), *Naucoris* (12) et *Plea* (5). Leur présence est notée dans cinq stations (BA, BG, TA, AD, TK).

X.2.6.2. Les Mollusques

Les Mollusques sont représentés par trois familles : *Ancylidae* (*Ancylus*), *Bithyniidae* (*Bithynia*) et *Hydrobiidae* (*Bithynella*), pour un total de 32 individus (0,47 %). Ils ont été recensés uniquement dans deux stations : BA et AY, avec une nette dominance de *Bithynia* (23 individus). Leur rareté et leur distribution restreinte révèlent une forte sensibilité aux

conditions écologiques, notamment en ce qui concerne la stabilité du substrat et l'oxygénation de l'eau.

X.2.6.3. Les Hirudinées

Les sangsues aquatiques sont représentées exclusivement par la famille Erpobdellidae, avec le genre *Erpobdella* (33 individus) ont été recensés (0,48 %), répartis entre BA (25 individus) et DB (8 individus). Leur présence suggère des zones enrichies en matière organique et propices à la prédation, caractéristiques de certains substrats fins ou lents.

X.2.6.4. Les Hydracariens

Les acariens aquatiques (Hydracariens) totalisent 22 individus (0,32 %) et ont été observés dans trois stations : AY, AD et TK. Bien qu'ils soient rarement dominants, leur présence est souvent associée à des microhabitats végétalisés, bien protégés du courant, ce qui confirme leur exigence écologique particulière.

X.2.6.5. Les Collemboles

Les Collemboles sont représentés par seulement 3 individus (0,04 %), tous observés dans la station AY. Insectes primitifs dépendants de l'humidité, leur présence ponctuelle peut traduire des conditions locales très spécifiques, notamment une forte teneur en matière organique ou un microclimat favorable au niveau du substrat.

X.3. Etude de la diversité

Les indices de diversité (H') et d'équitabilité (E), calculés pour chaque station, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Indices de diversité H' et E

Indices	BA	BG	DB	TA	BH	AY	AD	TK
H'	2.17	2.90	2.15	2.84	3.70	3.36	2.41	2.80
E	0.65	0.96	0.83	0.71	0.88	0.81	0.61	0.71

L'évaluation des indices de Shannon (H') et d'équitabilité (E) dans les huit stations met en évidence des niveaux variables de diversité spécifique et de répartition des individus. L'indice de Shannon, qui prend en compte à la fois le nombre d'espèces et leur abondance relative, varie de 2,15 à 3,70.

Dans l'ensemble des stations étudiées, les variations des indices de diversité de Shannon (H') et d'équitabilité (E) présentent des tendances similaires, traduisant les différences écologiques entre les sites. Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau des stations BH ($H' = 3,70$; $E = 0,90$) et AY ($H' = 3,36$; $E = 0,89$), indiquant une forte diversité

spécifique et une bonne répartition des individus entre les taxons. Ces résultats reflètent des conditions environnementales globalement favorables, telles qu'un substrat varié, une bonne oxygénation et une pression anthropique modérée, qui permettent le développement de communautés faunistiques équilibrées.

Des indices également modérés à élevés sont relevés à BG ($H' = 2,93$; $E = 0,96$) et TA ($H' = 3,21$; $E = 0,83$). Dans ces stations, la diversité des habitats semble favoriser la coexistence de plusieurs espèces aux effectifs comparables, en limitant la dominance d'un seul groupe.

À l'inverse, les stations BA ($H' = 2,17$; $E = 0,65$), DB ($H' = 2,15$; $E = 0,75$) et surtout AD ($H' = 2,62$; $E = 0,61$) enregistrent des valeurs plus faibles, révélant une communauté dominée par un petit nombre d'espèces opportunistes, principalement des Chironomidae, Simuliidae et Tubificidae. Ces groupes tolérants se développent préférentiellement dans des milieux appauvris, souvent marqués par des apports organiques élevés, une homogénéisation du substrat ou un déséquilibre hydrodynamique.

Les faibles valeurs d'équitabilité dans ces stations traduisent une répartition inégale des individus entre les espèces, signe d'un déséquilibre faunistique. Cela pourrait résulter de pressions environnementales telles que la pollution organique, des crues intenses ou des perturbations physiques du lit du cours d'eau.

Ainsi, la lecture combinée des indices H' et E met en évidence une situation écologique contrastée entre les stations bien structurées (BH, AY, TA, BG) et les stations plus dégradées (BA, DB, AD), où la richesse faunistique est limitée et dominée par des taxons résistants aux perturbations. Ces observations confirment les tendances mises en évidence par les analyses d'abondance et de richesse spécifique, et soulignent l'importance d'une approche intégrée pour diagnostiquer l'état de santé des milieux aquatiques.

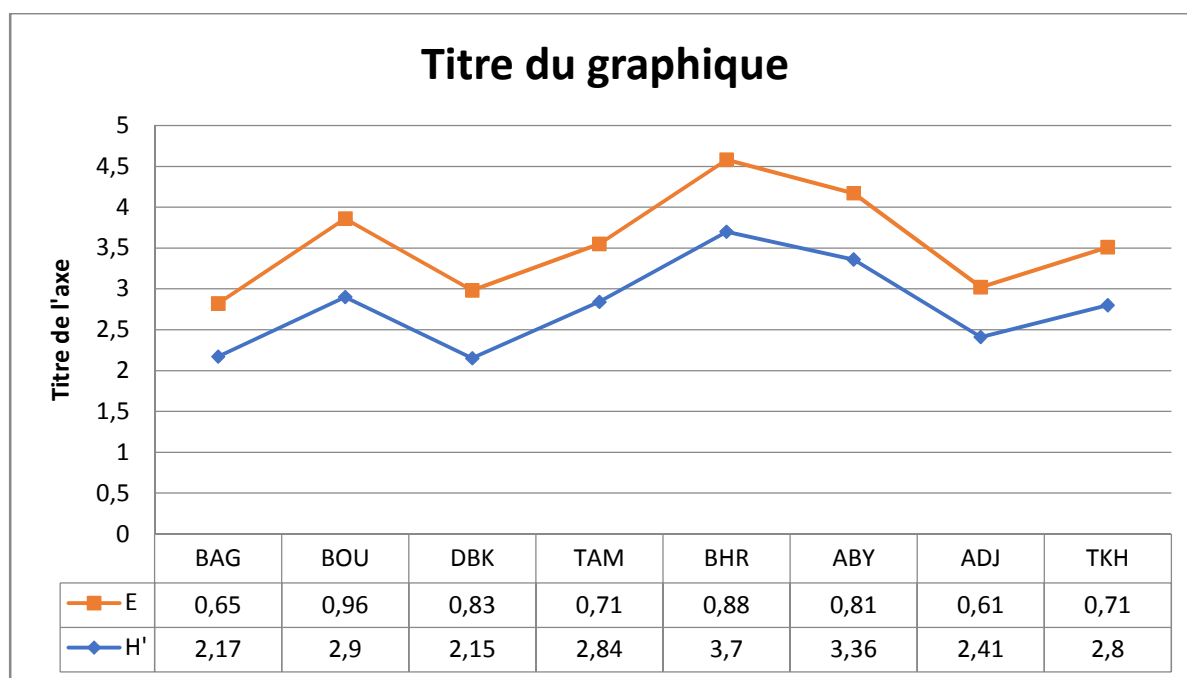


Figure 39 : Evolution des indices H' et E dans les stations étudiées.

X.4. Evaluation biologique de la qualité de l'eau

L'analyse de la structure des communautés aquatiques constitue un outil fiable pour détecter les perturbations environnementales. En effet, toute altération du milieu peut entraîner des modifications dans la composition faunistique, se traduisant par un déséquilibre entre les espèces, la disparition de certaines et la prolifération d'autres plus tolérantes.

Parmi les approches utilisées, les méthodes biologiques basées sur l'observation des organismes aquatiques occupent une place centrale. Certaines espèces présentent des tolérances spécifiques aux changements physico-chimiques du milieu, ce qui permet d'utiliser leur présence ou leur absence comme indicateur de l'état écologique.

Les macro-invertébrés benthiques sont particulièrement sensibles aux perturbations, car ils vivent en contact direct avec le substrat et réagissent aux variations de qualité de l'eau sur des périodes longues. Leur étude repose sur des protocoles d'échantillonnage standardisés, suivis d'une identification des groupes présents.

L'évaluation se fait à l'aide d'indices biotiques, qui traduisent la sensibilité des groupes d'invertébrés aux pollutions. Ces indices ne nécessitent pas d'analyses chimiques lourdes et permettent d'obtenir une vision globale de la qualité écologique du milieu. Leur utilisation est devenue courante dans les programmes de surveillance des milieux aquatiques.

Dans cette étude, l'analyse de la macrofaune benthique a été utilisée comme méthode d'évaluation de la qualité de l'eau. Ce choix repose sur la capacité de ces organismes à refléter les pressions exercées sur l'écosystème et à fournir des informations intégrées sur son état de santé.

X.4.1. Principe et calcul de l'Indice Biotique

L'étude de la qualité des eaux repose sur la récolte des macro-invertébrés benthiques qui colonisent le substrat des cours d'eau et qui sont directement influencés par les fluctuations de la qualité du milieu aquatique. Ces organismes, en contact permanent avec le fond, constituent d'excellents indicateurs biologiques. La démarche repose sur un échantillonnage standardisé dans les différentes stations, suivi d'une identification des individus selon un niveau taxonomique adapté à chaque groupe (famille, genre ou espèce).

L'indice biotique est une note attribuée à la qualité biologique des eaux, calculée à partir d'un tableau standard à double entrée (Tableau). Celui-ci croise les groupes faunistiques présents dans l'échantillon avec leur abondance, permettant ainsi d'attribuer une valeur numérique à chaque situation observée.

- **Colonne I** : Présente les groupes faunistiques classés de 1 à 7 selon leur tolérance croissante à la pollution, en particulier organique.
- **Colonne II** : Les groupes placés en haut sont composés d'espèces sensibles à la pollution (organismes sténotopes). Ceux du bas (groupes 5 à 7) regroupent des espèces tolérantes, dites eurytopes, vivant dans des milieux dégradés.
- **Colonne III** : Contient 5 classes d'abondance, selon le nombre d'unités systématiques recensées. Le croisement entre la tolérance et l'abondance permet d'obtenir une valeur standardisée de l'indice.

L'indice biotique (Ib) varie de 0 à 10. Une valeur élevée indique une bonne qualité de l'eau ; une valeur basse (0–1) reflète une forte pollution.

Tableau 15 : Tableau standard de détermination des indices biotiques d'après TUFFERY et VERNEAUX (1967).

I ORDRE DES MÉTACÉPHALOPODES	II SIGNES CARACTÉRISTIQUES LE MÉTACÉPHALOPODE S'APPRÉHENDANT MÉTACÉPHALOPODES		III NOMBRES TOTALS DES UNITÉS SYSTÉMATIQUES PRÉSENTES				
			0-1	2-6	7-10	11-16	17-20
			NOMBRES REPRÉSENTÉS				
1 - Polychètes ou Echiurozoaires	1	= 12 ^{es} à 15 ^{es} *	-	7	8	9	10
	2	Une seule US	8	9	7	6	5
2 - Tychonétoires à Apolochétoires	1	= 12 ^{es} à 15 ^{es} *	-	6	7	8	9
	2	Une seule US	6	8	6	7	8
3 - Annelides ou Hydroscolopécides ou Hydroscolopécides	1	= 10 ^{es} à 15 ^{es} *	-	4	5	4	5
	2	2 ou moins de US	5	4	3	2	1
4 - Apolochétoires ou Ophétoires ou Stomatopodes ou Malacostracés ou Amphipodes	3	Toutes les US et - classes échanties	5	4	3	2	1
5 - Annelés ou Néphélèmes ou Siponctés ou Hétéroptères (Aphelodesmés)	3	Toutes les US et - classes échanties	3	3	4	5	-
6 - Amphipodes ou Stomatopodes ou Crustacés	6	Toutes les US et - classes échanties	1	2	3	-	-
7 - Néphélèmes	7	Toutes les US et - classes échanties	2	1	1	-	-

US : unité systématique.

X.4.2. Cartographie de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau en fonction de l'indice biotique et de la pollution est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Qualité de l'eau en fonction des indices biotiques d'après TUFFERY et VERNEAUX, (1967).

Indice biotique	Indice de pollution	Qualité de l'eau	Pollution	Couleur
$Ib \geq I_n - 1$	$I_p \leq 1$	Bonne	Absente	Bleu
$I_n - 1 > Ib \geq I_n - 3$	$I_p \leq 3$	Acceptable	Présente	Vert
$I_n - 3 > Ib \geq I_n - 5$	$I_p \leq 5$	Douteuse	Notable	Jaune
$I_n - 5 > Ib \geq I_n - 7$	$I_p \leq 7$	Critique	Importante	Rouge
$Ib < I_n - 7$	$I_p > 7$	Dangereuse	Très importante	Violet

Ib: indice biotique de la station considérée;

I_n: indice biotique normale représentatif de la qualité biologique du cours d'eau en situation normale, il est égal à 10.

I_p: indice de pollution. Il est déterminé comme suit :

$$I_p = I_n - I_b.$$

Les résultats relatifs à la qualité de l'eau dans les huit stations étudiées lors de la campagne d'échantillonnage sont présentés dans le tableau 17

Stations	BAG	BOU	DBK	TAM	BHR	ABY	ADJ	TKH
Nombre total d'US	10	8	6	16	18	17	15	15
Ib	5	5	5	9	9	8	7	7
I _p	5	5	5	1	1	2	3	3
Qualité de l'eau	Douteuse	Douteuse	Douteuse	Bonne	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Pollution	Notable	Notable	Notable	Absente	Présente	Présente	Présente	Présente
Couleur	Jaune	Jaune	Jaune	bleu	bleue	vert	vert	vert

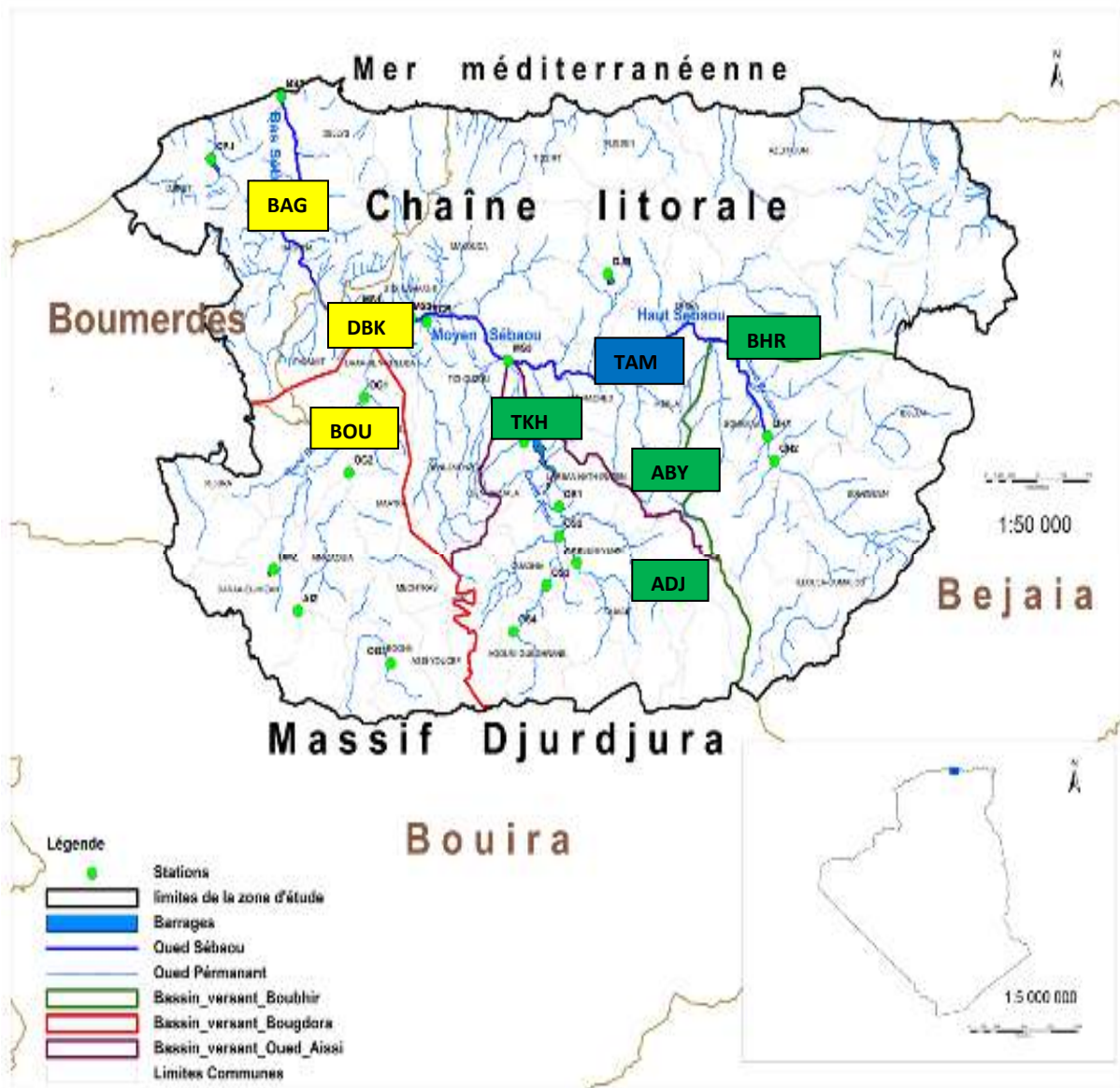


Figure 40 : Carte des résultats de l'indice biotique au niveau des stations d'étude (Baikeche, 2024).

L'évaluation de la qualité écologique de l'eau à travers l'indice biotique (IB) mesuré dans les huit stations d'étude révèle une variation des valeurs comprises entre 6 et 8, traduisant une qualité de l'eau allant d'acceptable à bonne selon les sites. Cette gradation témoigne d'un impact différencié des pressions anthropiques le long du continuum fluvial.

La station TA enregistre la valeur la plus élevée de l'indice biotique (IB = 8 ; couleur bleue), traduisant une bonne qualité de l'eau. Cette station bénéficie de conditions hydro morphologiques favorables, telles qu'un écoulement rapide, une bonne oxygénation. Ces caractéristiques environnementales permettent le développement d'une faune benthique diversifiée, incluant des taxons sensibles à la pollution tels que les Éphéméroptères et les

Trichoptères.

Les stations BH et AY présentent un IB de 7 (couleur verte), indiquant une qualité de l'eau acceptable mais montrant des signes de légère dégradation. Bien que la richesse spécifique y soit relativement élevée (18 et 17 taxons respectivement), la structure des peuplements benthiques révèle une dominance d'espèces tolérantes à la pollution (Chironomidae, Tubificidae, Baetis), traduisant une pression modérée.

Les stations BA, BG, DB, AD et TK affichent toutes un indice biotique de 6, soit la valeur la plus basse enregistrée dans cette étude. Cela correspond à une qualité de l'eau acceptable mais nettement impactée. Ces sites sont situés en aval et à proximité de zones habitées, agricoles ou soumises à des perturbations physiques (colmatage, extractions, rejets). L'environnement y est souvent homogène et enrichi en matière organique, ce qui favorise la prolifération d'espèces opportunistes et résistantes telles que les Simuliidae, Chironomidae ou Oligochètes (Naididae, Tubificidae). La faible richesse spécifique notée à DB (seulement 6 taxons) illustre un appauvrissement écologique significatif, probablement dû à un stress environnemental marqué.

L'analyse des données met en évidence une gradation de la qualité de l'eau depuis les stations amont, bien oxygénées et faiblement perturbées, vers les stations aval, soumises à une pression croissante. Cette dynamique spatiale est clairement illustrée par la structure faunistique et la répartition des espèces indicatrices, confirmant que plus l'IB diminue, plus les effets de la pollution se manifestent.

Ces résultats montrent que l'activité humaine exerce une influence directe sur les communautés benthiques, modifiant la richesse spécifique, la composition des peuplements et la qualité écologique globale du milieu aquatique. Les stations les moins perturbées, comme TA et BH, présentent une diversité faunistique plus équilibrée, avec une dominance d'espèces sensibles. À l'inverse, les stations plus dégradées sont caractérisées par une dominance d'espèces polluo-résistantes, au détriment des taxons indicateurs d'un bon état écologique.

L'étude menée dans le bassin versant du Sébaou repose sur une approche pluridisciplinaire combinant l'analyse physico-chimique de l'eau, l'évaluation de la qualité globale via l'indice canadien (ICQE), et une investigation biologique fondée sur les macroinvertébrés benthiques. Cette approche intégrée visait à croiser les résultats pour dresser un diagnostic complet de l'état écologique du cours d'eau. Toutefois, bien que la majorité des indicateurs convergent, certaines discordances ont été observées entre les différents types de données.

Les résultats physico-chimiques révèlent une nette variabilité entre les stations. Des sites comme BAG et DBK présentent des niveaux élevés de matière organique, de nutriments (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}), de turbidité, ainsi que de MES, confirmant un apport organique significatif, probablement lié aux rejets domestiques et au ruissellement agricole. L'oxygène dissous, particulièrement bas à DBK en première campagne, confirme un état de stress biologique. À l'opposé, des stations telles que ABY, BHR et TKH qui présentent des concentrations modérées ou faibles dans la plupart des paramètres, traduisant une bonne qualité physico-chimique. Toutefois, TKH affiche une minéralisation relativement modérée, ainsi qu'un bon niveau d'oxygène dissous et des teneurs faibles en nutriments, ce qui renforce son bon classement chimique malgré les limites biologiques observées.

L'indice canadien de qualité de l'eau ICQE, basé sur 12 paramètres essentiels, reflète cette dynamique avec une qualité bonne à excellente pour ABY, TKH et BHR, et médiocre à très médiocre pour BAG et DBK. Cet indice donne une synthèse utile et cohérente de l'état chimique de l'eau.

L'analyse faunistique met en évidence une structuration claire des peuplements selon le niveau de perturbation. Les stations TAM, ABY et BHR se distinguent par une faune diversifiée, incluant des taxons sensibles (Éphéméroptères, Trichoptères, Odonates), cohérente avec leurs bons profils physico-chimiques. À l'inverse, BAG, DBK, ADJ et partiellement TKH montrent une dominance d'espèces tolérantes comme les Chironomidae, Simuliidae ou Tubificidae, ce qui reflète une pression écologique certaine. Ces données sont globalement en accord avec les teneurs en nutriments et matières organiques, bien qu'une faune appauvrie puisse aussi persister dans des milieux physico-chimiquement acceptables si d'autres facteurs sont en jeu (sédimentation excessive, instabilité du substrat, fragmentation des habitats).

Les indices écologiques calculés permettent d'approfondir cette lecture. L'indice de Shannon, souvent élevé dans les stations peu perturbées (TAM, BHR), traduit une bonne diversité spécifique, tandis que d'autres stations (DBK, ADJ) présentent une diversité réduite et une forte dominance d'espèces résistantes. Cela témoigne d'un déséquilibre écologique déjà bien installé. Cependant, certaines stations comme BOU ou TAM montrent une diversité biologique relativement correcte malgré des valeurs chimiques dégradées, suggérant une résilience partielle de la faune face aux perturbations ou une inertie écologique entre la dégradation chimique et la réponse biologique.

L'indice biotique, appliqué selon la grille de Tuffery & Verneaux (1967), permet de synthétiser visuellement ces dynamiques. Il classe les stations entre 5 et 9, traduisant une qualité de l'eau allant de douteuse à bonne. Les stations TAM et BHR, avec un IB de 9 et un IP de 1, sont classées en bonne qualité (couleur bleue) et bénéficient d'une forte oxygénation (8,88–9,36 mg/L à TAM ; 8,74–9,12 mg/L à BHR) ainsi que d'une diversité faunistique bien équilibrée. Les stations ABY, ADJ et TKH, avec des IB de 8 ou 7, traduisent une qualité acceptable (couleur verte), avec une pollution modérée (IP = 2–3) et une cohabitation de taxons sensibles et tolérants. En revanche, BAG, BOU et DBK, toutes trois avec un IB de 5 et un IP de 5, sont classées en qualité douteuse (couleur jaune), avec une faune dominée par des espèces polluo-résistantes et une richesse spécifique fortement appauvrie, notamment à DBK (6 US).

Des écarts notables apparaissent entre l'ICQE et les données biologiques. Par exemple, TKH présente un ICQE favorable, mais une faune benthique appauvrie et un indice biotique faible, traduisant une perturbation non entièrement expliquée par la chimie. Cela pourrait résulter de perturbations physiques (érosion, remaniement du lit, débit instable), qui affectent directement les communautés benthiques sans altérer les paramètres chimiques classiques. De plus, il convient de noter qu'une semaine avant l'échantillonnage benthique, la région a été touchée par des inondations. Ces événements ont probablement entraîné un lessivage important du bassin versant, une remobilisation des sédiments, ainsi qu'une déstructuration temporaire des habitats benthiques. Cela pourrait expliquer, en partie, le décalage observé entre des qualités chimiques satisfaisantes et des communautés biologiques encore perturbées, notamment dans les stations telles que TKH ou ABY. La recolonisation biologique étant un processus progressif, il est probable que certaines faunes étaient encore en phase de réinstallation au moment de l'échantillonnage.

Ces écarts entre indices, paramètres chimiques et réponses biologiques ne doivent pas être interprétés comme des erreurs, mais plutôt comme des révélateurs de la complexité des écosystèmes aquatiques. En effet, les facteurs physiques, la structure du substrat, la vitesse de courant, la fréquence des perturbations, ou encore les conditions climatiques ponctuelles, peuvent tous influencer la réponse biologique sans forcément modifier les paramètres chimiques à court terme.

Ainsi, cette étude souligne l'importance d'une approche intégrée pour évaluer la qualité de l'eau : aucun indicateur, pris isolément, ne permet de refléter la réalité écologique dans toute sa complexité. Seule la combinaison des données physico-chimiques, faunistiques et des indices synthétiques permet d'établir un diagnostic complet, nuancé, et scientifiquement crédible. Cela permet également d'identifier les zones de fragilité écologique, de mieux cibler les interventions futures, et d'orienter une gestion différenciée et adaptée du bassin versant du Sébaou

Matériel utilisé sur le terrain pour l'échantillonnage de l'eau : (Annexe 1)



Figure 1



figure 2



figure3



Figure 4



figures 5

- Bouteilles en plastique de 1,5 L pour le prélèvement de l'eau (Figure 1)
- Étiquettes pour l'identification des échantillons (station et date) (figure 2)
- Glacière pour la conservation des échantillons à basse température (figure3)
- Thermomètre pour la mesure de la température de l'eau sur site (Figure 4)
- Carnet de terrain pour la prise de notes (conditions météo, observations) (figure 5)

Laboratoire SEAAL (annexe 2)

La station de traitement d'eau de Taksebt est située dans la région de Thala Bounane, dans la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle est alimentée par le barrage de Taksebt, construit sur l'oued Aïssi, à environ 7 km au sud-est de la ville de Tizi-Ouzou. Ce barrage a une capacité de 180 millions de m³ et s'étend sur 550 hectares. Il reçoit ses eaux de pluie, de fonte des neiges provenant du versant nord du massif du Djurdjura, ainsi que des eaux usées des grands bassins collecteurs.

Mise en service en juillet 2008, la station a été construite par SNC Lavalin / Degremont, et exploitée par SNC Lavalin jusqu'en 2013. Depuis le 18 juillet 2013, elle est gérée par la SEAAL (Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger).

La SEAAL est une Société Publique par Actions, détenue à 70 % par l'Algérienne des Eaux (ADE) et à 30 % par l'Office National de l'Assainissement (ONA). Elle a été créée en 2006 pour améliorer la qualité de vie des citoyens à travers une meilleure gestion de l'eau et de l'assainissement.

Actuellement, SEAAL dessert environ 3,8 millions d'habitants dans les wilayas d'Alger, Tizi-Ouzou et Tipasa, soit près de 10 % de la population nationale. Elle assure le service auprès de 761 824 clients (particuliers, administrations, industries, commerces et sites touristiques), et emploie 6 293 salariés.

La station de traitement de Taksebt est la plus grande station de traitement d'eau potable en Algérie en termes de capacité. Elle alimente 25 communes et assure l'approvisionnement en eau potable de trois wilayas : Alger, Boumerdes et Tizi-Ouzou.

Les principales données d'exploitation sont les suivantes :

- Débit d'eau brute : 616 000 m³/j
- Production d'eau traitée : 605 000 m³/j (équivalent à 7 000 L/s)
- Volume des boues extraites des clarificateurs : 7 400 m³/j
- Volume des boues extraites des filtres : 3 600 m³/j



Référentiel des normes environnementales appliquées au calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (CCME WQI) (Annexe 3)

Ce tableau présente les valeurs limites de qualité utilisées dans le cadre du calcul de l'Indice Canadien de Qualité de l'Eau (CCME WQI), accompagnées de leurs sources réglementaires et scientifiques.

Paramètre	Norme	Source
Température (°C)	≤ 25	CCME (2001), recommandation générale
pH	6.5 – 8.5	CCME (2001), OMS (2017)
Oxygène dissous (mg/L)	≥ 5	CCME (2001)
Turbidité (NTU)	≤ 5	OMS (2017)
MES (mg/L)	≤ 25	Norme algérienne (JORA n°26 du 4 mai 2011)
NH $_{4}^{+}$ (mg/L)	≤ 0.1	CCME (2001), OMS (2017)
NO $_{2}^{-}$ (mg/L)	≤ 0.06	CCME (2001)
NO $_{3}^{-}$ (mg/L)	≤ 10	OMS (2017), DCE (2000)
PO $_{4}^{3-}$ (mg/L)	≤ 0.1	DCE (2000), INERIS (France)
Conductivité (μ S/cm)	≤ 1000	OMS (2017), CCME (valeur indicative)
Fer (mg/L)	≤ 0.3	OMS (2017)
Chlorures (mg/L)	≤ 250	OMS (2017), CCME

Annexe: Normes de qualité environnementale de l'eau pour les paramètres physico-chimiques retenus et leurs sources de référence

Tableau résultat physico chimie des 2 compagnes (Annexe 4)

Colonne1	AB Y	DB K1	DB K2	DBK	BA G1	BA G2	BA G	BO U1	BO U2	BO U	TA K1	TA K2	TA K	ADJ 1	ADJ 2	ADJ	BH R1	BH R2	BHR	TA M1	TA M2	TA M
T terrain	16	19,2	23	21,1	19	24	21,5	16	24	20	14,8	20,4	17,6	12,5	18,1	15,3	17,08	16,9	16,99	18,7	20,3	19,5
PH	8,29	7,75	7,9	7,825	7,9	8,22	8,06	8,49	8,72	8,605	8,44	8,44	8,44	8,16	8,03	8,095	8,47	8,23	8,35	8,3	8	8,15
O2 (Mg/l)	9,53	2,85	8,86	5,855	8,87	10,52	9,695	8,89	9,68	9,285	9,56	9,44	9,5	10,19	8,98	9,585	9,11	7,5	8,305	9,78	7,07	8,425
CE (µS/cm)	447	965	975	970	1002	1084	1043	1025	1100	1062,5	550	599	574,5	719	757	738	607	638	622,5	797	734	765,5
TURB (NTU)	0,38	6,84	6,92	6,88	11,9	12,3	12,1	6,92	7,92	7,42	1,49	1,33	1,41	0,87	0,86	0,865	1,42	2,8	2,11	2,2	1,47	1,835
COULEUR	1	112	106	109	102	170	136	64	66	65	18	53	35,5	16	34	25	17	33	25	33	47	40
UV	0,013	0,207	0,212	0,2095	0,139	0,182	0,1605	0,092	0,096	0,094	0,032	0,018	0,025	0,035	0,032	0,0335	0,039	0,041	0,04	0,076	0,064	0,07
NO2- (Mg/l)	0	0,52	0,503	0,5115	0,73	1,27	1	0,19	0,275	0,2325	0,09	0,031	0,0605	0,31	0,356	0,333	0,09	0,167	0,1285	0,56	0,463	0,5115
NO3- (Mg/l)	0,06	0,36	1,31	0,835	0,75	3,35	2,05	0,93	1,06	0,995	0,65	0,64	0,645	1,14	2,29	1,715	1,19	0,61	0,9	1,17	1,57	1,37
NH4+ (Mg/l)	0	2,69	5,8	4,245	2,49	2,09	2,29	0,36	0,02	0,19	0,1	0,02	0,06	0,19	0,07	0,13	0,06	0,09	0,075	0,43	0,09	0,26
PO4 ³⁻ (Mg/l)	0,11	0,41	1,19	0,8	0,43	0,51	0,47	0,21	0,3	0,255	0	0,06	0,03	0,27	0,33	0,3	0,12	0,45	0,285	0,26	0,11	0,185
TDS (Mg/l)	451	979	991	985	999	1099	1049	1022	1125	1073,5	566	599	582,5	711	756	733,5	608	661	634,5	796	738	767
SALINITE	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Mn2+ (Mg/l)	0,02	0,568	0,585	0,5765	0,397	0,545	0,471	0,237	0,14	0,1885	0,183	0,022	0,1025	0,185	0,035	0,11	0,15	0,038	0,094	0,089	0,045	0,067
SO4 ²⁻ (Mg/l)	37	14	66	40	11	64	37,5	14	54	34	8	45	26,5	12	59	35,5	9	52	30,5	12	63	37,5
AL (Mg/l)	0,102	0,038	0,012	0,025	0,01	0,011	0,0105	0,012	0,023	0,0175	0,015	0,025	0,02	0,003	0,015	0,009	0,007	0,011	0,009	0,005	0,011	0,008
CL- (Mg/l)	16,8	94,21	86,18	90,195	111,01	118,31	114,66	150,45	180,39	165,42	41,63	37,25	39,44	53,31	57,7	55,505	32,86	42,36	37,61	56,96	66,46	61,71
HCO3- (Mg/l)	1043,1	1323,7	1701,9	1512,8	1287,1	1799,5	1543,3	1104,1	1287,1	1195,6	1061,4	1037	1049,2	1189,5	1134,6	1162,05	1122,4	1073,6	1098	1378,6	921,1	1149,85
Ca2+ (Mg/l)	63,15	94,72	106,87	100,795	82,58	141,68	112,13	52,62	72,86	62,74	63,15	74,48	68,815	76,91	99,58	88,245	75,29	69,63	72,46	94,72	63,15	78,935
FER	0	0,57	0,36	0,465	0,32	0,44	0,38	0,33	0,2	0,265	0,11	0,07	0,09	0,05	0,05	0,05	0,09	0,12	0,105	0,09	0,09	0,09
TH (°F)	23,76	36,82	356	196,41	38,8	508	273,4	32,27	680	356,135	27,12	384	205,56	29,3	482	255,65	24,35	336	180,175	29,9	412	220,95
TA (°F)	12	0	34,84	17,42	0	39,6	19,8	10	26,53	18,265	11	31,48	21,24	0	28,9	14,45	11	33,66	22,33	11	28,51	19,755
TAC (°F)	171	217	0	108,5	211	36	123,5	181	49	115	174	20	97	195	15	105	184	10	97	226	6	116
RS (Mg/l)	230	612	279	445,5	622	295	458,5	616	211	413,5	364	170	267	178,6	186	986	416	176	296	518	151	334,5
MES (Mg/l)	2	18	17	17,5	31	51	41	24	11	17,5	14	2	8	21	1	11	12	5	8,5	2	4	3
MO (Mg/l)	481,92	8,45	10,28	9,365	7,92	14,7	11,31	5,4	6,4	5,9	8,6	3,12	5,86	6,93	1,9	4,415	3,96	4,64	4,3	7,46	3,04	5,25
Mg2+ (Mg/l)	19,81	32,54	20,75	26,645	44,33	11,79	28,06	46,22	20,75	33,485	27,82	31,6	29,71	24,99	10,85	17,92	14,15	39,61	26,88	16,03	31,13	23,58
(CO3 ²⁻) (Mg/L)	72	0	0	0	0	216	108	60	294	177	66	120	93	0	90	45	66	60	63	66	36	51

Références bibliographiques

ABAI, M. (2022). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux à l'aide d'indice de qualité de l'eau (IQE) (Mémoire de master, Université d'El-Oued, Algérie). Université d'El-Oued.

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

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

AGROUCHE, S. (2021). Étude hydrogéologique et évaluation des ressources du Haut Sébaou (Wilaya de Tizi-Ouzou, Nord Algérie) (Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie). Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

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.

AMIMER, S. (2015). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes du Barrage de Boukerdane et des eaux traitées au niveau de la station de traitement des eaux potables de Sidi Amer (wilaya de Tipasa) (Mémoire de master, Université de Blida 1, Algérie). Université de Blida 1.

BAHROUN., 2016 : Impact des eaux usées urbaines et industrielles sur les eaux naturelles dans la région d'El Tarf, mémoire de master, université d'Annaba.

BAIKECHE, L., (2024). Étude de la faune piscicole des eaux continentales de Kabylie (Algérie). Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

BEAUPOIL C. et Bornens P. (1997) : Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes : seuils d'acceptabilité. Station de Biol. Mar. (Concarneau). Agence de l'Eau, Loire-Bretagne. 63 p.

BELAGOUNE F., 2012. Etude de modélisation des crues de cours d'eau au milieu semi-aride : cas du grand bassin versant O5, O6 et O7. Thèse de magister, université d'Ouargla : p181.

BELAIZA, L., & LACHI, O. (2022). Synthèse bibliographique sur les modèles de classification des eaux naturelles : cas des eaux de Bejaia, Ghardaïa et Tizi-Ouzou (Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie). Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

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

BREMOND R. et VUICHARD R. (1973) : Paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179 p.

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

DAJOZ, R., 1975. Précis d'écologie. Paris 1975 3eme édition.549P :23-75.

DAJOZ., 1979 Précis d'écologie. Paris. G.V.

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

DEGREMENT., 2005. Mémento technique de l'eau. Tome I. 10ème édition Lavoisier : Tec & Doc. Paris. France, 1928 p.

ECHAUBARD H. & NEVEU A., 1975. Perturbations qualitatives et quantitatives de la faune benthique d'un ruisseau à truite, la Couze Pavin (Puy-de-Dôme), due aux pollutions agricoles et urbaines. *Lab.de zool. Biol. Animal et écologie.* INA-INRA: 8-19.

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

FOSSATI O., WASSON J.G., HERY C., MARIN R. et SALINAS G., 2001. Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebratecommunities in clear water Andeanstreams (Bolivia). *Archivfür Hydrobiologie*, 151(1): 33-50.

GAUJOUS D. (1995) : La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Paris, 200p.

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

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

HAREDJ S & CHIHEB M., 2012. Etude hydrobiologique de l'oued sébaou et l'oued Aissi : Faunistique et évaluation de la qualité de l'eau et du milieu par les voies biologiques. Ingénieur d'état en biologie.

HIDER R. (2019) : étude des raisons de la salinité élevée dans la STEP d'Ouargla et son impact sur l'environnement. Mémoire de master. Université KassdiMerbah, Ouargla, Algérie, 71 p.

KAHOUL&TOUHAMI, 2014 : Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la Ville d'Annaba (Algérie). Université BADJI MOKHTAR. Annaba BP12 Algérie.

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

KECHEMIR, L. H., & KHEDDACHE, A. (2013). *Étude hydrobiologique du bassin du Sébaou : Faunistique, écologie et évaluation de la qualité de l'eau* (Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou).

KHENNANE, 2015 : Modélisation de la qualité des eaux du cours d'eau de Mouillah par WEAP.

LAMINE S. 2021. Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des Ephéméroptères, Plécoptères, Trichoptères et Coléoptères Hydraenidae et Elmidae des cours d'eau de la Kabylie du Djurdjura. Thèse de Doctorat 3 ème cycle en Sciences Biologiques, spécialité Ecologie Animale et Environnement, Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 248p

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

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

LOUNNAS A. (2008) : Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi Kroma de Skikda, Algérie. Mémoire de magister. Université 20 Août 1955, Skikda, 120p.

LOUNNAS., 2009 : Amélioration des procédés de clarification des eaux de la Station HAMADI-KORAMA de Skikda, mémoire de magister, université de Skikda.

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.

MEDDOUR, R. 2010. bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie de l'Algérie. Thèse doctorat d'état en science agronomique, foresterie, U.M.M.T.O : 461P.

MEKAOUSSI N. (2014) : Comportement des Eléments Chimiques dans les Eaux de Surface de Hammam Debagh (Est Algérien). Mémoire de magister. Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 112 p.

METAHRI M.S. (2012) : Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixte. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou, 76 p.

MILOUDI, B. (2023). Caractérisation et évaluation des eaux de quelques hydrosystèmes dans le Nord-Est algérien (Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine 1, Algérie). Université des Frères Mentouri Constantine 1.

O.N.M. Organisation nationale météorologique.

POISSON R., 1957. Hétéroptères aquatiques. Edit. Lechevalier, Paris : 264p.

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

REGGAM A. (2015) : Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux d'Oued Seybouse. Thèse de Doctorat. Université du 8 Mai 1945, Guelma, Algérie, 134p.

RODIER .J ,2005 : (l'Analyse d'eau). 5ème édition.

Rodier .J. Bazin .C. Brontin .J. P., Chambon .P. Champsaur .H. Rodier .L. (1996) : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. DUNOD, 8eme édition, Paris, 1364 p.

Rodier J., Bernard I. et Nicole M. (2005) : Mémento technique de l'eau. Volume 2. 10ème édition. Degrémont, France, 1928 p.

Rodier J., Bernard L., Nicole M et all. (2009) : L'analyse de l'eau. 9eme édition. DUNOD. Paris. France, 1511 p.

SAIDI S. (2014) : La qualité des eaux du sous bassin versant de l'Oued Aissi. Mémoire ingénieure. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, 169 p.

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 irrigué. Bassin de la Volta (Burkina Faso). Journal of appliedbioSciences, 78, 6630-6645.

SEKHI S., 2010. Recherche 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).

SI ABDERAHMANE O. (2016) : Contribution à l'évaluation du système management qualité et des paramètres physicochimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement.

SI TAYEB, O. (2021). Faunistique et évaluation hydro-biologique de la qualité de l'eau de l'Oued Ouadhias par les méthodes : IBGN et BMWP (Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie). Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

TABABOUCHET., 2017 : Etude de la pollution des eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Sébaou, mémoire de master, école nationale supérieure d'hydraulique Arbaoui Abdlah.

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

YAKOUB B. 1996. Le problème de l'eau en Grande Kabylie : le bassin versant du Sébaou et la willaya de TiziOuzou. Univ. TiziOuzou : 210 p.

Ce travail s'inscrit dans une démarche d'évaluation globale de la qualité des eaux de surface du bassin versant de l'Oued Sébaou, à travers l'étude de huit stations réparties le long de son réseau hydrographique. L'approche adoptée associe des analyses physico-chimiques détaillées, l'application de l'indice canadien de qualité de l'eau (ICQE) et l'étude des macroinvertébrés benthiques, indicateurs biologiques pertinents de l'état écologique des milieux aquatiques.

Les résultats obtenus révèlent des contrastes marqués entre les stations, allant de sites relativement préservés (Abi Youcef, Boubhir, Takhokht) à d'autres fortement affectés par des pressions anthropiques (Baghlia, Bougdoura, Draâ Ben Khedda). Si les indices physico-chimiques et l'ICQE traduisent globalement ces différences, certaines divergences apparaissent avec la réponse biologique, soulignant l'importance d'intégrer plusieurs types d'indicateurs. La survenue d'inondations peu avant l'échantillonnage faunistique a pu également perturber temporairement les communautés benthiques.

Cette approche pluridisciplinaire s'est révélée la plus pertinente pour diagnostiquer avec fiabilité l'état écologique du bassin étudié, en tenant compte à la fois des conditions physico-chimiques, de la structure faunistique et des réponses intégrées via les indices écologiques.

❖ **Mots clés :**

Qualité de l'eau, macroinvertébrés benthiques, bassin versant de l'Oued Sébaou, indices biotiques, paramètres physico-chimiques, indice canadien qualité eau (ICQE).