الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers

Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité/Option : Biodiversité et environnement

Département : Ecologie et Génie de l'environnement

Thème

Contribution à l'étude de la qualité de l'eau et des macro invertébrés d'un milieu aquatique dans la région de Hammam Debagh

Présenté par :
- Achiri Feriel

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. Bouchelaghem El-Hadi	M.C.B	Université 8 Mai 1945 Guelma
Examinateur :	Dr. Talbi Hanane	M.A.B	Université 8 Mai 1945 Guelma
Encadrant :	Dr. Yalles Satha Amina	M.C.A	Université 8 Mai 1945 Guelma
Co encadrant :	Mr. Guettaf Mohamed	M.C.A	Université 8 Mai 1945 Guelma

2023-2024

Remerciements

Je remercie avant tout , Dieu le tout puissant qui m'a donné la force et la volonté pour travailler et pour réussir.

Mes vifs remerciements et mes profondes gratitudes s'adressent à ***Madame Satha Yalles Amina*** *pour avoir assuré la direction de ce mémoire, pour sa rigueur, ses précieux conseils et sa disponibilité , qui n'a pas hésité à m'encourager, me motiver sur ce sujet. Merci de m'avoir fait confiance au cours de ce travail.*

Mes remerciements à ***Mr . Guettaf Mohamed*** *pour son aide pratique , ses orientations, sa patience et sa disponibilité.*

Je tiens à remercier les membres du jury ***Dr. Bouchelaghem El-Hadi*** *pour la présidence du jury et* ***Mme Talbi Hanene*** *d'avoir accepté d'examiner et évaluer ce mémoire.*

Je tiens à remercier ***Mme Hassiba***, ***Bahia*** *et* ***Houria*** *et tous les techniciennes de laboratoire, pour m'avoir aider à compléter ma recherche en mettant à ma disposition le matériel nécessaire.*

*Mes remerciements à toute les personnes qui travailleent à l'***ADE** *particulièrement* ***madame Mbarka*** *et* ***Chahra*** *et* ***Radia*** *et* ***Mr le directeur Saleh Amraoui***

Je tiens à remercier chaleureusement ***mes chers parents***, *ma famille*

« Le travail de terrain n'aurait jamais eu lieu sans l'aide de mes parents »

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail est spécialement ***mon oncle Taher pour son aide.***

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers

A mon très cher Père Belkhier *l'homme de ma vie, a celui dont je porte le nom , mon exemple éternel mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui a toujours fait des sacrifices pour me voir réussir . aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi . Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection. Je t'aime papa et j'implore le tout puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue.*

A mon adorable mère Naziha , l*a femme qui m'a donné la vie qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protége et te donne la santé, le bonheur et longue vie. Je t'aime maman.*

A mes très chers frères Aymen ,Salah Eddine, Wassim *vous avez été mes piliers et ma source de motivation. Vos encouragements, et vos amours ont été ma force. Je vous suis infiniment reconnaissante de croire en moi et de m'accompagner dans tous mes projets. Que Dieu le tout puissant vous garde et vous procure santé et bonheur.*

A une personne spéciale *mon soutien dans les moments difficiles. Merci d'être dans ma vie.*

A ma chère Aya *tu es pour moi grande sœur et amie sur qui je peux compter. Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé ; Très grand merci .Puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus. je te souhaite le bonheur du monde.* ***Et la petite princesse*** *venir la joie de mon cœur.*

A l'âme de Bader*, mon beau petit ange , tu es toujours dans le cœur de ta tante .*

A ma meilleure Achouak *qui est très chère à mon cœur, t'es la sœur que je n'ai jamais eue. Tu as su être toujours là pour moi, dans les bons comme les mauvais moments, et me soutenir tout au long de ce mémoire. et qui je souhaite beaucoup de succès.*

A ma belle Ikrame *qui m'a toujours encouragé, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement et tous mes souhaits de succès.*

A mes chers cousins Nawel , Amina ,Hadjer, Imen , Lina ,Rawya , A ma grand-mère *et* ***mes chères tantes et mes chères oncles,*** *je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur. Je vous aime.*

Listes des abréviations :

Abréviations	Signification
ABH	Agence des bassins hydrographiques.
C°	Degrés Celsius.
DBO5	Demande biologique en oxygène en 5 jours.
EDTA	Acide Ethylène Diamine Tétraacétique.
°F	Degré francais .
H'	Indice de Shannon Weiner.
MES	Les matières en suspension.
MIB	Macroinvertébrés benthiques.
NTU	Néphélométric turbidity units.
pH	Potentiel Hydrogène.
S	Richesse spécifique.
TDS	Total Dissolved solids.
Q2	Quotient pluviométrique

Listes des figures :

Figure 1: Présentation des Sous-Bassins et du réseau hydrographique de la Seybouse (A. B. H, 1999). 5
Figure 2: Les Daïras de la Wilaya de Guelma (1) 6
Figure 3: Les Communes de la wilaya de Guelma (2) 6
Figure 4: Limites géographiques du bassin versant de la Seybouse (SWIM-SM, 2013) 12
Figure 5: Variations mensuelles des températures en (°C) (1994-2021) 13
Figure 6: Variations mensuelles des Précipitations en mm (1994-2021) 13
Figure 7: Diagramme de Bagnouls et Gaussen (1994-2021) 14
Figure 8: La région de Guelma dans le Climagramme d'Emberger (1994-2021) 15
Figure 9: Présentation de la station 1 15
Figure 10: Présentation de la station 2 16
Figure 11: Présentation de la station 3 16
Figure 12: Présentation de la station 4 17
Figure 13: Situation géographique des quatre stations d'étude (Google Earth) 17
Figure 14: Larve d'Ephéméroptère (Moisan et al., 2008). 19
Figure 15: Coléoptère adultes et larve et (Moison, 2008). 20
Figure 16: Différentes formes de larves de Diptères (Moisan et *al*., 2008) 21
Figure 17: Gastéropode Prosobranche vue dorsale (Tachet et al, 2012) 22
Figure 18: Larve de trichoptère (3) 24
Figure 19: Larve de Gammaridae (4) 25
Figure 20: Echantillonnage des macro-invertébrés 30
Figure 21: Identification des différentes familles de Macro-invertébrés benthiques 31
Figure 22: Appareil DBO mètre 32
Figure 23: Images du dispositif pour la détermination des MES 33
Figure 24: le titrage des échantillons 36
Figure 25: Evaluation spatio-temporelle de la vitesse 43
Figure 26: Evaluation spatio-temporelle de la profondeur 44
Figure 27: Evaluation spatio-temporelle de la largeur 45
Figure 28: Evaluation spatio-temporelle de la température 45
Figure 29: Evaluation spatio-temporelle de la conductivité 46
Figure 30: Evaluation spatio-temporelle de la salinité 47
Figure 31: Evaluation spatio-temporelle de l'oxygène 47
Figure 32: Evaluation spatio-temporelle du pH 48

Figure 33: Evaluation spatio-temporelle de la turbidité 49
Figure 34: Evaluation spatio-temporelle des TDS 49
Figure 35: Evaluation spatio-temporelle des MES 50
Figure 36: Evaluation spatio-temporelle de la DBO5 51
Figure 37: Evaluation spatio-temporelle du Calcuim 51
Figure 38: Evaluation spatio-temporelle des Chlorures 52
Figure 39: Evaluation spatio-temporelle du TH 52
Figure 40: Evaluation spatio-temporelle du magnésium 53
Figure 41: Evaluation spatio-temporelle des Nitrites 54
Figure 42: Evaluation spatio-temporelle des Nitrates 54
Figure 43: Evaluation spatio-temporelle de l'ammonium 55
Figure 44: Evaluation spatio-temporelle des Phosohates 56
Figure 45: Evaluation spatio-temporelle du sodium 56
Figure 46: Evaluation spatio-temporelle du Potassium 57
Figure 47: Evaluation spatio-temporelle des sulfates 58
Figure 48: Evaluation spatio-temporelle du Bicarbonate 58
Figure 49: La richesse spécifique des quatre stations 60
Figure 50: Abondance globale en pourcentage des taxa faunistiques par station 60
Figure 51: Abondance globale par ordre des principaux taxons des Macro invertébrés 61
Figure 52: L'Abondance des Ephéméroptères par station 62
Figure 53: L'Abondance des Diptères par station 62
Figure 54: L'Abondance des Coléoptères par station 63
Figure 55: L'Abondance des Trichoptères par station 63
Figure 56: L'Abondance des Crustacés par station 64
Figure 57: L'Abondance des Mollusques par station 64
Figure 58: L'Abondance des Odonates par station 65
Figure 59: Abondance globale des familles d'Ephéméroptères 65
Figure 60: Abondance globale des familles des Trichoptères 66
Figure 61: Abondance globale en pourcentage des familles de Diptères 66
Figure 62: Abondance globale des familles des coléoptères 67
Figure 63: Abondance globale des familles des Crustacés 67
Figure 64: Abondance globale des familles des Mollusques 68
Figure 65: Abondance globale des familles des Odonates 68
Figure 66: L'indice de Shannon (A) et d'équitabilité (B) 69
Figure 67: La fréquence globale 72

Liste des tableaux :

Tableau 1: Définition des classes de vitesses selon l'échelle de Berg (KHETTAR, 2009 in Satha 2014) 44
Tableau 2: Classes proposées pour la turbidité (In Satha, 2008). 48
Tableau 3: Check-list des taxa faunistiques 59
Tableau 4: Similarités entre les peuplements benthiques des stations d'étude 69
Tableau 5: Phénologie globale des espèces durant toute la période d'étude 70
Tableau 6: fréquences des Espèces 72
Tableau 7: Fréquence globale des espèces 72

Sommaire

Remerciements I

Dédicaces..... II

Listes des abréviations :.....III

Listes des figures : IV

Liste des tableaux : VI

Introduction 1

PARTIE I : CADRE GENERAL

I. Cadre Physique.....3

I.1. Situation géographique.....3

I.2. Les caractéristiques lithologiques du Bassin Versant 3

I.3. Le réseau hydrographique 3

I.4. Contexte socio-économique 4

II. Climatologie.....12

II.1. La température : 12

II.2. Les précipitations.....13

II.3. Diagramme de Bagnouls et Gaussen 13

II.4. Climagramme d'Emberger.....14

II.5. Description des stations d'étude 15

III. Morphologie, biologie et écologie des macroinvertébrés benthiques : 18

III.1.Les Ephéméroptères 18

III.2. Les Coléoptères 19

III.3. Ies Diptères.....20

III.4. Les Gastéropodes.....21

III.5. Les Trichoptères 22

III.6. Les Crustacés.....24

Partie II : Partie pratique

I. Protocoles expérimentaux 26

I.1. Matériel usité.....26
I.1.1. Sur le terrain :.....26
I.1.2. Au laboratoire :.....26
I.2. Méthodologie de travail : 27
I.2.1 Sur le terrain :.....27
I.2.2. Au laboratoire :.....30
I.2.2.1. Le tri des macroinvertébrés bentiques : 30
I.2.2.2. Analyses des paramètres physico-chimiques :.....31
I.2.3. Les méthodes volumétriques.....34
I.2.4. Méthodes spectrophotométriques : 36
I.2.5. Analyse des données : 40
I.2.5.1. La structure d'un peuplement :.....40
I.2.5.2. L'organisation d'un peuplement : 41
II. Résultats et Discussion 43
II.1. Analyse des paramètres mesurés *in situ :* 43
II.1.1.Vitesse (cm/s) : 43
II.1.2.Profondeur (cm) :.....44
II.1.3. La Largeur moyenne (cm) : 44
II.1.4. La température : 45
II.1.5. La Conductivité (µs/cm) : 46
II.1.6. La salinité :.....46
II.1.7. l'Oxygène dissous (mg/l) :.....47
II.1.8. Le pH : 48
II.1.9. La Turbidité (NTU) : 48
II.1.10. Les TDS :.....49
II.2. Les Résultats des analyses volumétriques : 50
II.2.1. Les matières en suspension (MES) :.....50
II.2.2. La DBO5 (mg/l) :.....50

II.2.3. Le Calcium (mg/l) :.....50
II.2.4. Les Chlorures (mg/l).....51
II.2.5. Le titre hydrotymétrique (TH) :.....52
II.2.6. le Magnésium :.....52
II.3. Les Résultats des analyses spectrophotométriques :.....53
II.3.1. Les Nitrites (mg/l) :.....53
II.3.2. Les Nitrates (mg/l):.....53
II.3. 3. L'Ammonium (mg/l):.....54
II.3.4. Les Phosphates (mg/l):.....55
II.3.5. Le Sodium (mg/l) :.....55
II.3.6. Le Potassium (mg/l):.....56
II.3.7. Les Sulfates (mg/l) :.....57
II.3.8. les bicarbonates :.....57
II.4. Analyse globale des taxons faunistiques :.....59
II.4.1. Check-list des taxa faunistiques :.....59
II.4.2. La Richesse spécifique des principaux taxa par station :.....59
II.4. 3. Analyse quantitatif globale des taxons faunistiques dans les stations :.....60
II.4. 4. Analyse quantitative par ordre des Macroinvertébrés benthiques :.....60
II.4.4.1. Les Ephéméroptères :.....61
II.4.4.2. Les Diptères :.....62
II.4.4.3. Les Coléoptères :.....62
II.4.4.4.Les Trichoptères :.....63
II.4.4.5. Les Crustacés :.....64
II.4.4.6. Les Mollusques :.....64
II.4.4.7. Les Odonates :.....65
II.4. 5. Abondance relative des familles par rapport à l'ordre :.....65
II.4.5.1. Abondance relative des familles d'Ephéméroptères.....65
II.4.5. 2. Abondance relative des familles de Trichoptères.....66

II.4.5.3.Abondance relative des familles des Diptères : 66
II.4.5.4. Abondance relative des familles de Coléoptères : 66
II.4.5.5. Abondance relative des familles des Crustacés : 67
II.4.5.6. Abondance relative des familles des Mollusques par rapport à l'ordre : 67
II.4.5.7.Abondance relative des familles des Odonates :..... 68
II .5. Analyse des données :..... 68
II.5.1.La structure d'un peuplement : 68
II.5.2. Organisation d'un peuplement 69
Conclusion..... *74*
Références bibliographiques..... 75
Résumé i
ANNEXE..... iv

Introduction

Introduction

Les écosystèmes aquatiques jouent un rôle important dans les processus vitaux, maintiennent des cycles hydrologiques et abritent une grande diversité biologique **(Clausnitzer et *al*., 2012)**. Le contrôle permanent et la préservation de ces écosystèmes constituent un élément important pour la gestion et la conservation de la biodiversité aquatique qui est en diminution progressive. En effet, de nombreux facteurs peuvent impacter négativement sur la biodiversité en particulier l'urbanisation, l'agriculture, la dégradation et la fragmentation des habitats ainsi que la pollution **(Feio et *al*., 2021).**

Les études faunistiques (invertébrés benthiques), écologiques (répartition spatiale, structure des communautés) jouent un rôle essentiel dans la compréhension du fonctionnement et de la gestion des systèmes naturels, ainsi que dans l'évaluation de l'intégrité écologique des hydro systèmes **(Haouchine, 2011).** Les macroinvertébrées benthiques ont des réactions différentes face à diverses formes de stress, telles que la pollution ou la modification de leur habitats. Dans des conditions normales, la majorité des individus ont une mobilité limitée sur les supports aquatiques **(Hesse et *al*., 2014).** Deux types d'organismes peuvent être distingués en fonction de leur relation avec la température : les organismes eurythermes, qui sont capables de tolérer de grandes variations de température, et les organismes sténothermes, qui ne peuvent supporter que de faibles variations de température **(Tachet et *al*., 2010).**

L'eau thermale provient exclusivement des phénomènes météoriques, où la minéralisation provient de la dissolution des minéraux de l'aquifère sous une forte pression partielle de CO_2**.** Les eaux thermo-minérales sont affectées par des modifications de leur qualité, ce qui influe sur leurs caractéristiques **(Benamara, 2017).** La dérive des continents est à l'origine des sources hydrothermales profondes. Le globe se compose de sept grandes plaques de croûtes terrestres rigides et d'une série de petites plaques en mouvement et s'écartant les unes des autres. Des dorsales séparent ces plaques en plusieurs segments séparés par des zones de fracture. La zone de fracture est marquée par une activité volcanique extrêmement intense. La coulée de lave monte en surface, se refroidit et se solidifie. Ces sites abritent les principaux phénomènes hydrothermaux qui remontent en surface à travers d'autres fissures. **(Laubier, 1989).**

La richesse en eaux thermo-minérales de l'Algérie est connue depuis l'antiquité et en particulier au niveau de l'Est. Près de 200 sources ou sites thermaux ont été comptabilisés Cependant, ils doivent être développés afin de fournir des possibilités d'investissements (**Benamara, 2017).**

Notre travail vise à étudier :

- ✓ La qualité physico-chimique des eaux de la source thermale de Chedakha, située dans la région de Hammam Debagh
- ✓ L'inventaire en macroinvertébrés de cette source.

Notre travail est subdivisé en trois parties : Après une introduction, est présentée la première partie théorique intitulée Cadre général qui décrit le cadre physique de la région de Hammam Debagh ainsi que la climatologie et enfin une revue de la littérature qui résume la morphologie, la biologie et l'écologie des principaux taxons de macroinvertébrés.

La deuxième partie concerne l'étude pratique où sont exposés tous les protocoles expérimentaux réalisés durant notre étude ausi bien sur le terrain qu'au laboratoire. Puis, serons exposés les résultats expérimentaux des deux volets de notre étude ainsi que leurs discussions . Enfin, le manuscrit sera achevé par une conclusion.

PARTIE I : CADRE GENERAL

I. Cadre Physique

II. Climatologie

III. Morphologie, Biologie et Ecologie des Macroinvertébrés benthiques

I. Cadre Physique

I.1. Situation géographique

La région d'étude est située dans la wilaya de Guelma appartenant au bassin versant de la Seybouse qui s'étale sur une superficie de 6471Km^2. Il est subdivisé en six sous-bassins de 14-1 à 14-6 (Fig.1). L'Oued Seybouse provient de la confluence des deux oueds Bouhamdane et Charef à Medjez Ammar, wilaya de Guelma (36°26.587 N et 007°18.740 E) à l'ouest de la ville de Guelma et coule sur 134.74 Km avant de se déverser dans le mer Méditerranée près de la commune de Sidi Salem à Annaba. La wilaya de Guelma est formée de 34 communes et dix Daïras : Khezarra, Guelaât Bou Sbaâ, Héliopolis,Oued Zenati, Ain Makhlouf, Hammam Debagh, Bouchegouf, Hammam N'Bails et Houari Boumédiène (Fig.2 & Fig.3) Notre zone d'étude est située dans la commune et Daïra de Hammam Debagh qui se trouve à 22 km à l'ouest de la ville de Guelma, en bordure de l'oued de Bou Hamdane.

I.2. Les caractéristiques lithologiques du Bassin Versant

- **Le sous bassin de Bouhamdane** : Les couches lithologiques dominantes du secteur de Oued Zenati sont composées de grès, d'argiles et de marnes ne permettant pas d'infiltration d'une grande quantité d'eau. Du côté de l'Oued Sabath c'est des Marno-calcaires **(Ghachi, 1986)**.
- **Le sous bassin de Guelma** : La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires ; entre Medjaz Amar et Bentabouche apparaissent les Marno-calcaires. Ces calcaires sont fissurés ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes c'est le cas de celle qui se trouve à l'Ouest de Bouhachana (source de l' Oued Hlia) qui donne un débit de 60l/s **(Ghachi, 1986)**.
- **Le sous bassin de Mellah** : En saison sèche, oued Ghanem (principal affluent de Mellah) se sale en traversant les terrains gypseux de la région de l'Oued Cheham qui est peu perméable. Les alluvions des terrasses de Bouchegouf semblent plus argileuses que celles de Guelma et sont moyennement perméables **(Ghachi, 1986)**.
- **Le sous bassin de la basse Seybouse** : Au Sud-Ouest marno-calcaires de Aïn Berda ainsi que des argiles à Aïn Berda et Meboudja **(Ghachi, 1986)**.

I.3. Le réseau hydrographique

Le bassin de la Seybouse présente un chevelu hydrographique de plus de 3000km.

Quarante-deux oueds ont une longueur supérieure à 10kms. Quatre zones principales peuvent être distinguées : le Sous- Bassin versant de Bouhamdane (14-03) : Superficie 1136Km^2, Le Sous -Bassin versant de la moyenne Seybouse (14-04) : 818Km$^{2.}$ Et le Sous-Bassin versant de la basse Seybouse (14-06) : 1057Km$^{2.}$ (Cf. Fig 4).

Le Sous-Bassin de Bouhamdane : Ce sous-Bassin est traversé par oued Bouhamdane dont la longueur est estimée à 37,49Km, ce dernier est alimenté par plusieurs affluents dont les principaux sont : Oued Zenati 52,40 Km,Oued Dardar 10,53 Km,Oued Sabath 10,86 Km, Oued El Aria 10,79 Km. (Cahiers de l'agence A.B.H. 1999).

Le Sous- Bassin de Guelma ou (Moyenne Seybouse) : A partir de Medjaz Amar, la Seybouse accrue par l'union du Bouhamdane et du Cherf débouche dans le Bassin de Guelma. Plusieurs cours d'eau viennent y affluer : Oued Boumia 12,70 Km,Oued Bou Sorra16,32 Km,Oued El Maiz 10,16 Km,Oued Helia 18,41 Km,Oued Bou Djedra 10,07 Km. (Cahiers de l'Agence A.B.H.1999). L'oued est orienté de l'Ouest à l'Est et traverse Nador pour déboucher dans la dépression de Bouchegouf où converge un nouveau système hydrographique qui vient se jeter dans la Seybouse au Sud- Ouest de Bouchegouf.

Le sous bassin du Mellah : Son cours principal est formé par la réunion de l'oued Sfa, Cheham et oued Ranem. Ce dernier, qui plus haut porte le nom de oued R'biba, Sekaka avant de recevoir les eaux de l'oued Rhirane formé à son tour par la réunion oued Hammam et oued R'biba. Au Nord-Est, les oueds Bou Redine et maaza forment oued El Mellah en aval.

Le sous bassin de la basse Seybouse : La Seybouse se fraie un chemin entre Bouchegouf et Drean, de direction Sud-Nord c'est la dernière étape à franchir avant d'arriver à la mer. A ce niveau, la Seybouse est alimentée de l'Ouest par : Oued Ressoul 17.56 Km, Oued Dardara 25,56 Km, Oued Frarah 12,76 Km, Oued Boudjemaa 17,71 Km.

I.4. Contexte socio-économique

La région d'étude Hammam Debagh attire des touristes de toutes parts en raison de la composition de ses eaux thermales riches en carbonates que les médecins préconisent pour le traitement de plusieurs maladies telles que les maladies rhumatismales, maladies nerveuses et l'athérosclérose, les maladies pulmonaires et respiratoires, la gynécologie, le système urinaire ainsi que les maladies de la peau et les allergies. En plus des paysages panoramiques dont jouit la région : l'unique cascade rocheuse, qui est l'icône du tourisme naturel à Guelma, en plus de la région d'El-Arayes, qui est un musée naturel des roches coniques (stalagmites), puis

Chaabet Cheddakha et le pont Chaouch, jusqu'à Oued Bouhamdane et le barrage du même nom, sans oublier le lac souterrain de Bir Ben Osmane. La température de l'eau est de 97 degrés Celsius. C'est la deuxième eau la plus chaude du monde après les Geysers d' Islande. La sources thermales traverse sur six km, le versant oriental de Châabet Cheddakha, depuis les hauteurs de la zone Skhouna dans la commune de Houari Boumediene jusqu'à l'embouchure du Châabet avec l'Oued Bouhamdane. Le niveau de débit de l'eau de source thermale à Hammam Debagh est de (500 litres/sec) **(1)**.

Figure 1: Présentation des Sous-Bassins et du réseau hydrographique de la Seybouse (A. B. H, 1999).

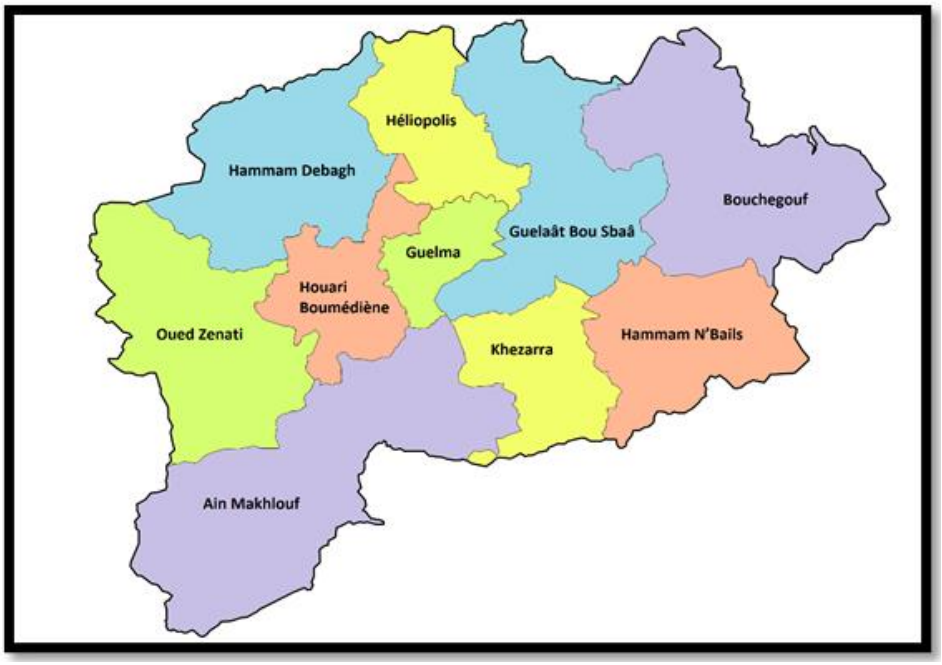


Figure 2: Les Daïras de la Wilaya de Guelma (1)

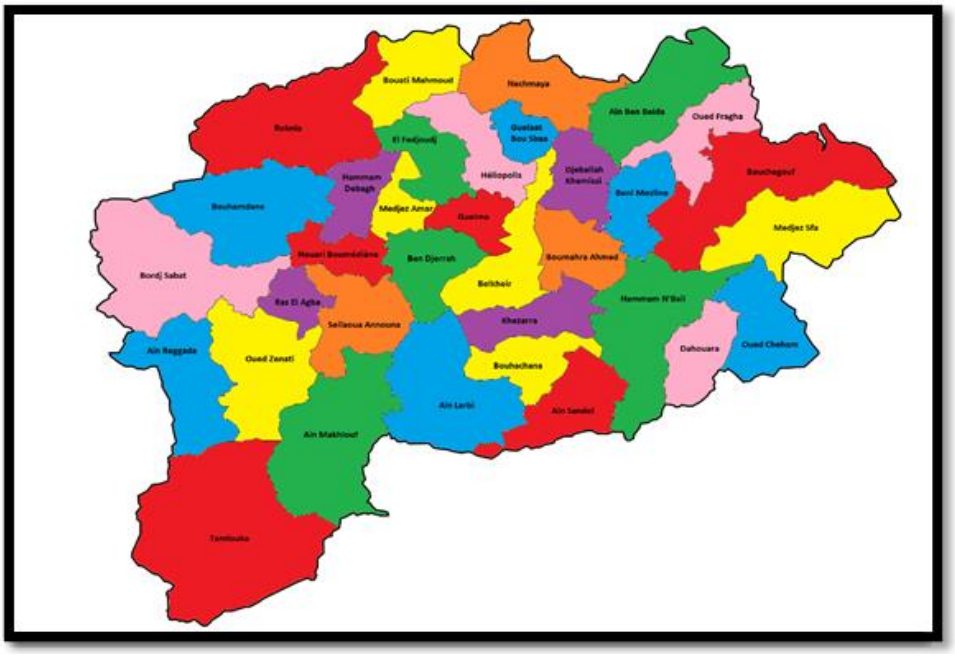


Figure 3: Les Communes de la wilaya de Guelma (2)

II. Climatologie

Le climat est l'ensemble des facteurs météorologiques tels que la température, les précipitations, l'humidité et le vent. Ces facteurs ont un rôle primordial dans la répartition des espèces.

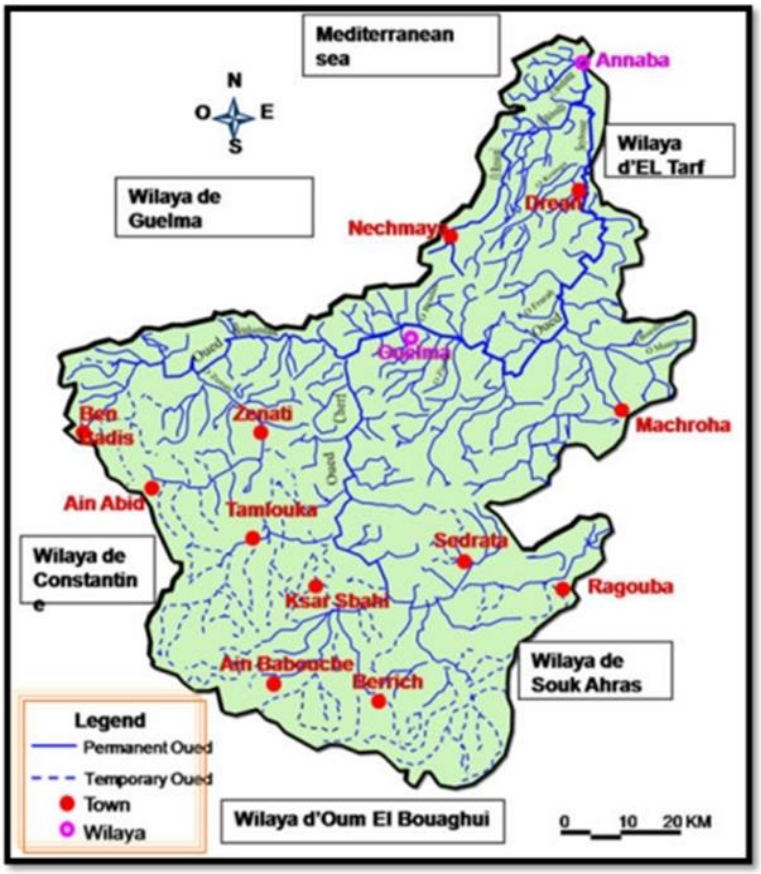


Figure 4: Limites géographiques du bassin versant de la Seybouse (SWIM-SM, 2013)

II.1. La température : Elle joue un rôle important dans les réactions métaboliques de tous les êtres vivants (**Ramade, 1984).** L'office national de météorologie de Guelma (L'ONM) nous a fourni les données des températures et des précipitations depuis 1994 jusqu'à 2021. Les variations des températures moyennes mensuelles de la région de Guelma indiquent que la valeur la plus élevée est notée au mois de juillet (26,60°C°) ; Quant à la température la plus basse est notée au mois de Janvier avec (9,81°C) (Fig.5).

II.2. Les précipitations : les précipitations alimentent tous les milieux aquatiques (Oueds, mares, lacs ...) (**Ramade, 1984).** D'après l'histogramme ci-dessous**,** les précipitations sont très abondantes au mois de Janvier avec 91,33mm alors que le minimum des précipitations a été noté au mois de Juillet avec 4, 6 mm (Fig.6).

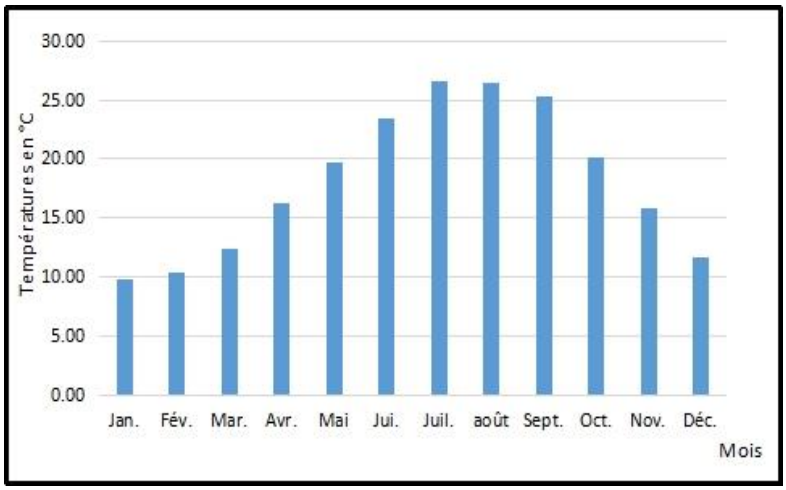


Figure 5: Variations mensuelles des températures en (°C) (1994-2021)

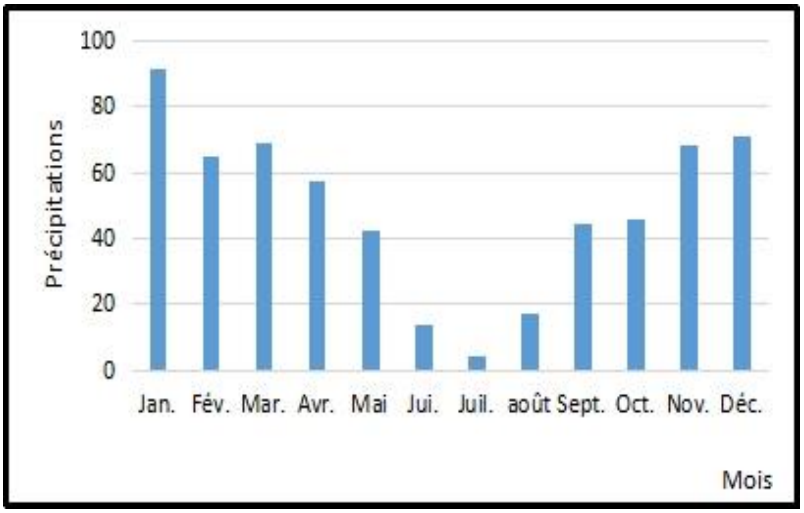


Figure 6: Variations mensuelles des Précipitations en mm (1994-2021)

II.3. Diagramme de Bagnouls et Gaussen : Ce diagramme permet de déduire les périodes humides et sèches. Les mois sont portés en abscisses et les précipitations ainsi que les températures en ordonnées avec P= 2T (Cf. Fig. 7). La période humide et froide qui s'étale de Septembre à Mai et une période sèche et chaude observée durant les mois de Juin, Juillet et Août.

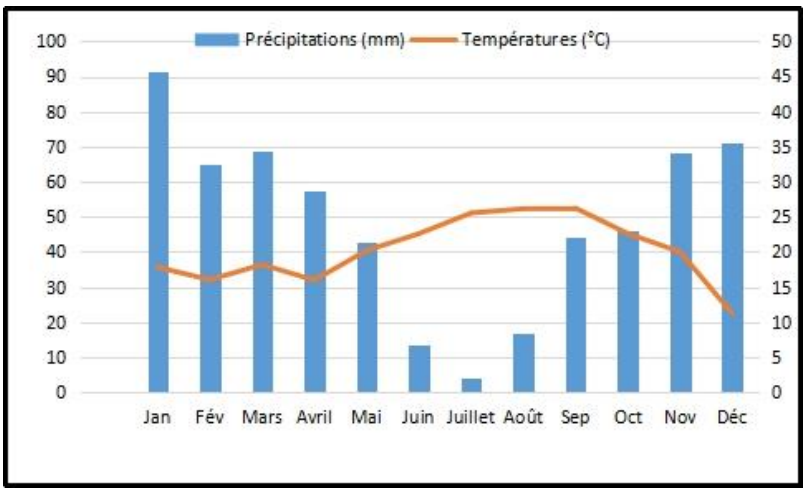


Figure 7: Diagramme de Bagnouls et Gaussen (1994-2021)

II.4. Climagramme d'Emberger : Emberger a déterminé cinq étages bioclimatiques : humide, sub-humide, aride, semi-aride, et saharien, et 4 variantes thermiques :

- A hiver froid m < 0°c
- A hiver frais 0 < m < 3°c.
- A hiver doux ou tempéré 3 < m < 5°c.
- A hiver chaud m < 7°c.

$$Q2 = 3.43 * P / (M - m)$$

Le quotient pluviométrique se calcule ainsi :

Q2 : quotient pluviométrique

P : Précipitation moyenne annuelle exprimée en mm.

M : Températures moyennes des maximales du mois le plus chaud.

m : Températures moyennes des minimales du mois le plus froid.

On applique la formule : Q2= 53,41 Étage bioclimatique semi-aride à hiver frais

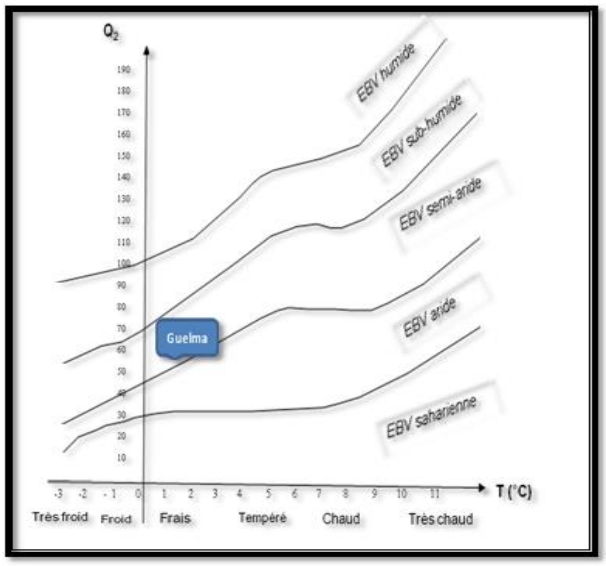


Figure 8: La région de Guelma dans le Climagramme d'Emberger (1994-2021)

II.5. Description des stations d'étude : Toutes les stations sont situées dans la commune de Hammam Debagh, dans la wilaya de Guelma. La région d'étude est délimitée au nord par El Fedjoudj et El Roknia, à l'est par Medjez Amar, au sud par Houari Boumediene, et à l'ouest par Bouhamdane

- ✓ **Station 1 :** La station est située au bas de la cascade. Ses rives sont garnies de plantes telles que les roseaux, *Juncus*. Le lit est étroit avec des algues .Les sols sont occupés par des oliviers des palmiers, la vitesse d'écoulement est moyenne. (Fig. 9).

Figure 9: Présentation de la station 1

Latitude : N36°27.049'

Longitude : E007°16.002'

Altitude : 305 m.

✓ **Station 02 :** Le lit de la station est large, le substrat est constitué de sable, galets et blocs. Les berges sont occupées par des oliviers. la vitesse d'écoulement est faible avec une profondeur moyenne. les eaux sont poissonneuses. (Fig.10)

Figure 10: Présentation de la station 2

Latitude : N36°27.258'

Longitude : E007°15.966'

Altitude : 1047m

✓ **Station 3 :** Cette station est située devant la cascade. Le cours d'eau se caractérise par un courant rapide, avec une largeur moyenne, ses eaux sont poissonneuses. Il y a présence d'algues.(Fig.11).

Figure 11: Présentation de la station 3

Latitude : N36°27.592'

Longitude : E007°16.151'

Altitude : 970,6m

✓ **Station 4 :** Cette station et caractérisée par un courant rapide. L'endroit est très ensoleillé, ses rives sont garnies de palmiers. Le lit est large. Le substrat est constitué d'algues.(Fig.12).

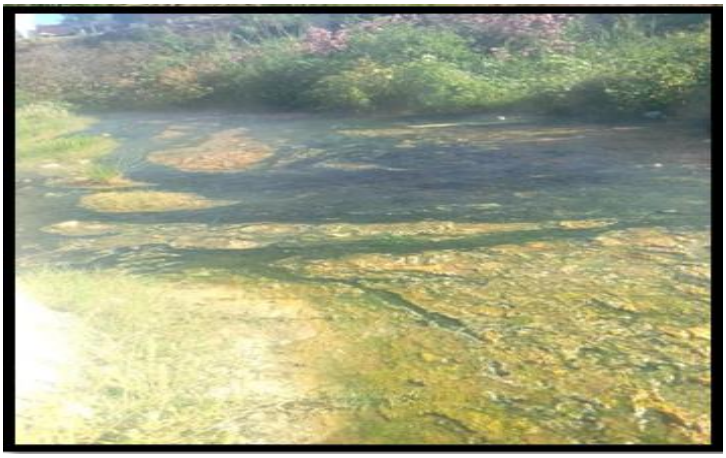


Figure 12: Présentation de la station 4

Latitude : N 36°27.694'

Longitude : E 007°16.185'

Altitude : 947,3 m

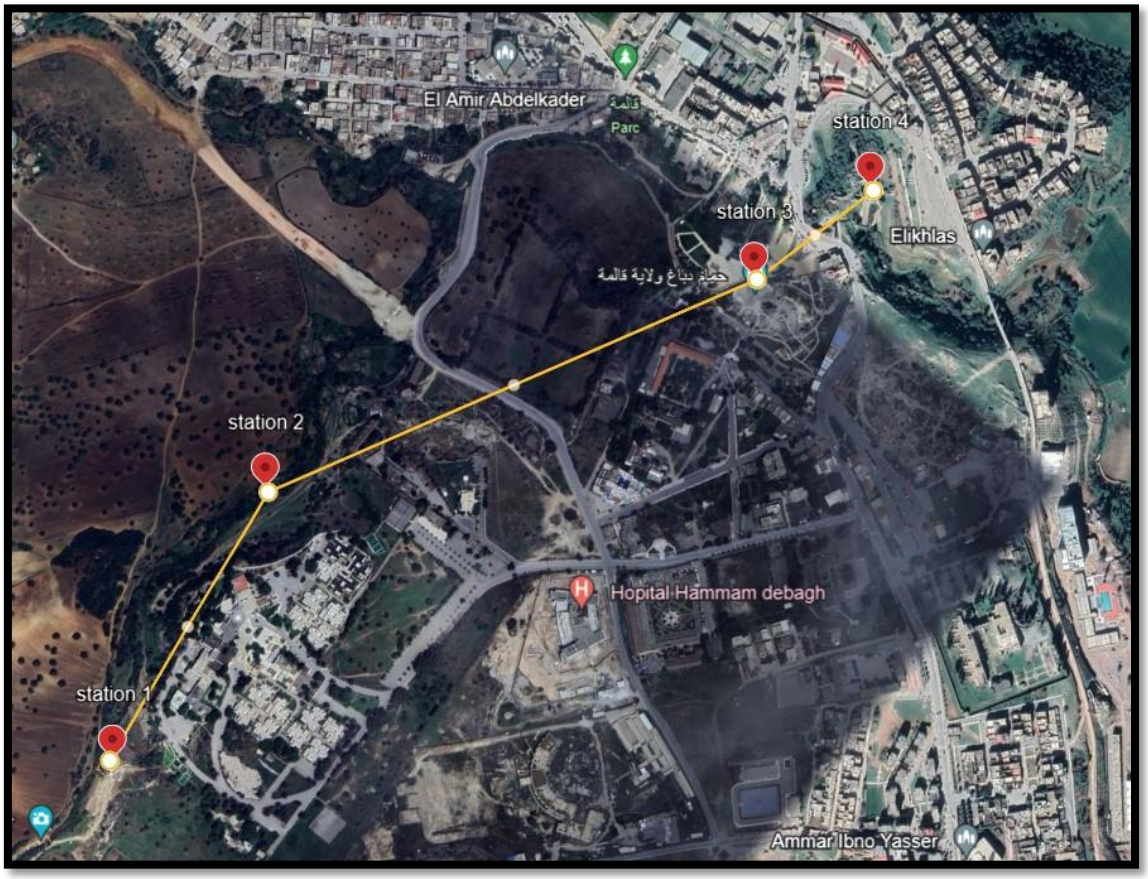


Figure 13: Situation géographique des quatre stations d'étude (Google Earth)

III. Morphologie, biologie et écologie des macroinvertébrés benthiques :

Introduction : Les macro-invertébrés benthiques sont des êtres vivants ne possédant pas de colonne vertébrale qui habitent le fond d'un cours d'eau ou qui s'en éloignent peu pendant la majeure partie de leur existence (**Touzin, 2008).** Ils constituent une composante essentielle des écosystèmes d'eau douce. De nombreux poissons, amphibiens et oiseaux se nourrissent de ce groupe d'organismes variés formé de larves d'insectes aquatiques tels que les Éphémères, les Plécoptères, les Trichoptères, les Diptères, les Coléoptères, les Mégaloptères, les Hémiptères, les Odonates **(Tachet, 2006 ;Touzin,2008).** Ces derniers présentent des sensibilités différentes à diverses formes de stress, telles que la pollution ou la modification de l'habitat. Ils jouent un rôle de sentinelle et indicateur pour évaluer l'intégrité des cours d'eau **(Woodcock et Huryn, 2007 ; Moison et *al*., 2010).** En effet, Ils peuvent détecter diverses formes de pollution, telles que la pollution organique et métallique, ainsi qu'une acidification de l'environnement **(Camargo et *al*., 2004).** Certains groupes tels que les vers sont ainsi peu sensibles aux perturbations, ils sont dits « polluotolérants », contrairement à d'autres tels que les Plécoptères qui sont « polluosensibles ». Par ailleurs, ils sont relativement sédentaires et inféodés à certains types de substrats (pierres, végétaux, bois...) **(Hesse et *al*., 2014).**

Le suivi des macro-invertébrés benthiques est utile pour :

- Evaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques.

- suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau au fil du temps.

- évaluer et vérifier l'effet d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème.

- évaluer les impacts des efforts de restauration (habitat et qualité de l'eau).

- Apporter un complément biologique au programme de surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des cours d'eau.

- Documenter la biodiversité des macro-invertébrés benthiques dans les cours d'eau **(Moisan et *al*., 2008).**

III.1.Les Ephéméroptères

Les éphéméroptères sont classés dans un ordre d'insectes hémimétaboles dont les larves vivent uniquement dans l'eau**.** Les Ephéméroptères sont les plus anciens des insectes aquatiques **(Tachet, 2010)**. Les larves se distinguent par leurs 3 cerques (rarement 2) à l'extrémité de l'abdomen et les branchies formant des plaques ou des sortes de plumes accrochées au

flanc de l'abdomen. Leurs pattes ne portent qu'une griffe, ce qui les distingue des plécoptères. Tous portent des branchies abdominales sur les segments 4 à 7 et sur les segments 1 à 3 selon le genre. La forme et la position de ces branchies sont capitales pour leur identification. Ils sont très sensibles tant aux pollutions qu'aux modifications anthropiques des milieux. Ils constituent ainsi un outil de bio monitoring très utilisé **(Moisan, 2010).**

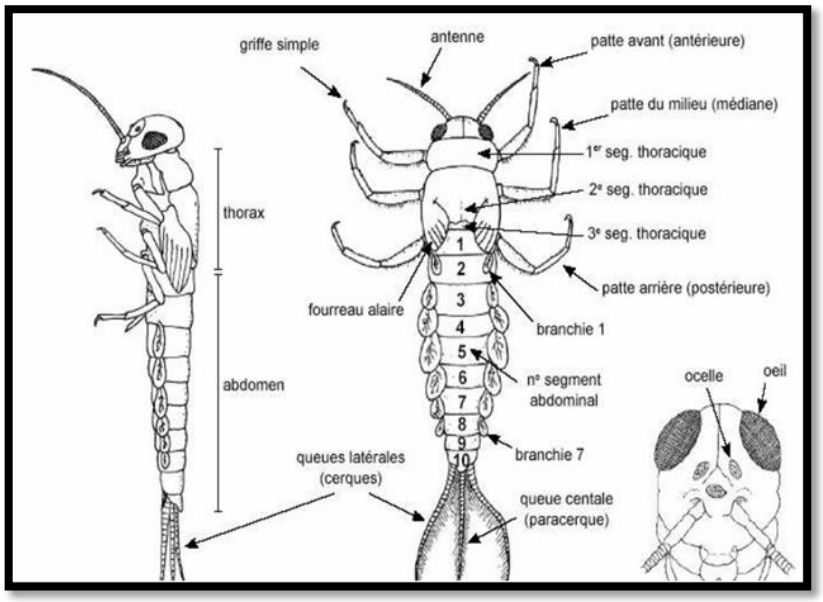


Figure 14: Larve d'Ephéméroptère (Moisan et al., 2008).

III.2. Les Coléoptères

Les Coléoptères sont le groupe d'insectes le plus important en termes de nombre d'espèces. Ils existent depuis le permien et sont donc l'un des ordres d'insectes holométaboles les plus anciens (Ils ont des métamorphoses complètes et passent au moins par 4 états : oeuf, larve, nymphe et imago **(Benetti et *al*., 2018; Krinsky, 2019). Ils sont caractérisés par** la présence d'une première paire d'ailes transformées en élytres chez l'adulte. Environ 15% des espèces de Coléoptères sont considérées comme aquatiques **(Tachet, 2013).** Dans l'ensemble, les coléoptères ne sont pas sensibles à la pollution de l'eau comparativement à de nombreuses autres espèces aquatiques. Cependant, certains, ne se trouvent que dans des habitats propres et bien oxygénés **(Thorp & Roger, 2011).**

Morphologie

Les larves: Les larves de Coléoptères sont très polymorphes. Elles sont également de tailles variées du millimètre pour hydroscapha à 6 centimètres pour Hydrophilus. La tête est entièrement sclérifiées **(Tachet et *al* ., 2012). Les** yeux constitués de stemmates.

les antennes sont à quatre articles; Les mandibules de type broyeur. La morphologie des 3 paires de pattes est souvent similaire. L'abdomen comprend de 8 à 10 segments visibles. L'extrémité de l'abdomen peut présenter des variations importantes **(Tachet et *al*., 2000).**

Biologie et écologie

La plupart des Coléoptères aquatiques. Leur durée de vie est généralement d'un an. Les larves possèdent généralement un appareil buccal de type broyeur et ont un régime alimentaire diversifié : herbivore, détritivore, algivore et carnivore. Il existe quatre principaux types de respiration chez les larves : la respiration directe à travers le tégument, la respiration par les stigmates situés à l'extrémité de l'abdomen, la respiration par les branchies trachéennes et enfin la respiration grâce aux crochets stigmatiques. les Coléoptères ont colonisé tous les habitats d'eaux continentales possibles. Ils se rencontrent en milieu superficiel et phréatique, en zone eutrophe comme en zone oligotrophe , en eau douce comme en milieu saumâtre , en haute montagne comme en plaine **(Tachet, 2010).**

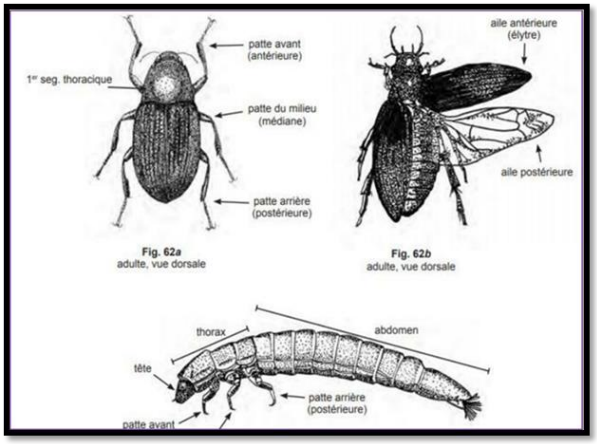


Figure 15: Coléoptère adultes et larve et (Moison, 2008).

III.3. Ies Diptères

Les Diptères représentent le deuxième ordre d'insectes le plus important après les Coléoptères. La majorité d'entre eux vivent sur terre. Seules quelques familles sont adaptées à la vie aquatique aux stades larvaire et nymphal **(Moisan , 2006).** Dans les environnements aquatiques, la famille la plus prédominante est celle des *Chironomidae* , qu'est considérée tolérante à la pollution. La tolérance des autres diptères est moyenne **(Moison, 2008).**

Morphologie

Les larves: Les pattes thoraciques sont remplacées par des pseudopodes ou des bourrelets locomoteurs. Le corps comprend de onze à quinze segments dont les trois premiers sont thoraciques **(Tachet et *al* ., 2010).**

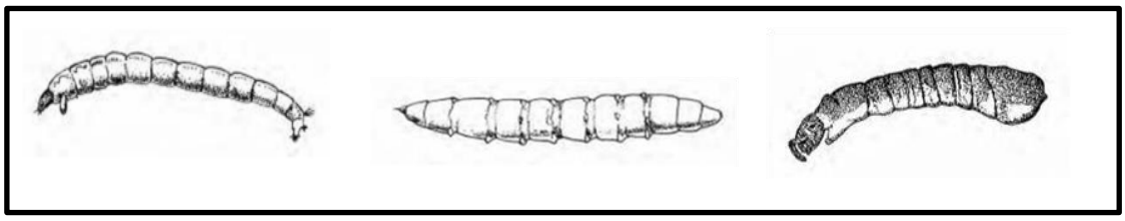


Figure 16: Différentes formes de larves de Diptères (Moisan et *al*., 2008)

Biologie et écologie

Le cycle de vie est très variable, allant de quelques semaines à un ou deux ans. En général, la durée de vie imaginale est courte, mais les compétences de vol sont élevées, ce qui permet une grande dispersion des adultes. De nombreuses espèces sont monovoltines, tandis que certaines sont polyvoltines . En général, il existe quatre stades larvaires. Les Diptères à larves aquatiques sont largement répandus dans toutes les grandes régions du monde. Ils possèdent une grande capacité d'adaptation pour survivre dans des conditions extrêmes. Les larves de diptères ont un régime alimentaire très diversifié, comprenant des formes broyeuses détritivores, des formes racleuses de substrat, des formes filtreuses et des formes prédatrices et parasites **(Tachet, 2010).**

III.4. Les Gastéropodes

Les Gastéropodes possèdent une coquille unique, généralement spiralée. Certains possèdent une plaque cornée ou calcaire appelée opercule qui ferme l'ouverture de la coquille quand l'animal est à l'intérieur. Les Gastéropodes avec un opercule (prosobranches) ont une tolérance moyenne à la pollution, et ceux sans opercule (pulmonés) sont considérés comme tolérants **(Moisan et *al*., 2010).**

Morphologie

Les coquilles des Gastéropodes présentent des formes variables en fonction de deux sous-classes. Chez les *prosobranches* : la coquille spiralée (En général est dextre), fermée soit par un opercule calcaire, soit corné. Elle peut être conique ou aplatie. Chez les *pulmonés* : la coquille peut être spiralée conique (elle peut être soit dextre, soit senestre) ou bien en forme de chapeau chinois. Les yeux se trouvent à la base des tentacules du côté externe chez les *prosobranches*, tandis que chez les *pulmonés*, ils se situent à la base des tentacules du côté

interne .Chez les *pulmonés* la transformation de la cavité palléale en poumon à orifice unique est le pneumostome **(Tachet, 2010).**

Biologie et écologie

la reproduction est sexuée, du printemps à l'été après les individus meurent. Le développement est direct chez tous les Gastéropodes d'eau douce. Les individus vivent entre 9 et 15 mois. Il existe un Monovoltinisme ou Bivoltinisme avec une génération d'été et une de printemps. Pendant l'hibernation ou l'estivation, les individus sécrètent un épiphragme. Les Gastéropodes sont principalement herbivores ou détritivores. Les poissons sont les principaux prédateurs. La dispersion peut être effectuée par les oiseaux ou grâce aux crues. **(Tachet, 2010).**

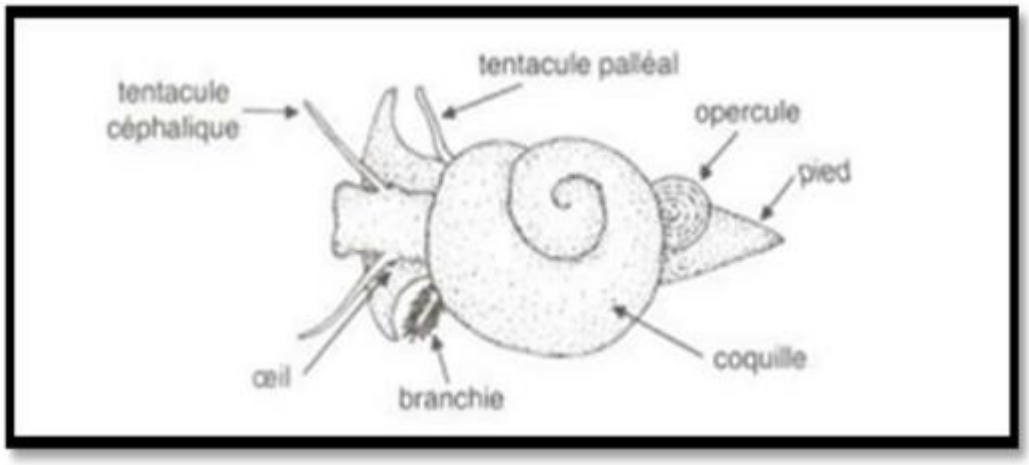


Figure 17: Gastéropode Prosobranche vue dorsale (Tachet et al, 2012)

III.5. Les Trichoptères

Les Trichoptères sont des insectes holométaboles aquatique, à l'exception du *Limnephilidea Enoieyla* qui adaptée à la vie terrestre **(Tachet, 2010).**

Morphologie :

La larve est de type eucéphale ; on distingue aisément la tête, le thorax et l'abdomen. La tête est de forme elliptique. Le thorax est formé de 3 segments bien individualisés portant chacun une paire de pattes. Ils se caractérisent par la présence de formations sclérifiées dorsales plus ou moins importantes qui sont utilisées comme critère de détermination des différentes familles. La partie dorsale des segments thoraciques est désignée sous le terme de pro-méso- et métanotum correspondant respectivement au 1er, 2ème e et 3 ^{ème} segment thoracique. Les pattes comportent 5 segments : hanche ou coxa, trochanter, fémur, tibia et tarse terminé par une seule griffe pourvue ou non de crochets ou de soies. L'abdomen allongé est constitué de 9 segments

bien individualisés mous Un certain nombre de segments abdominaux peuvent être munis de branchies dont le nombre e la disposition et la forme sont variables selon le genre et les espèces. Enfin, l'abdomen se termine par deux prolongements charnus plus ou moins longs : les pygopodes munis d'une griffe qui servent essentiellement à maintenir l'animal sur son support dans son fourreau **(Faessel et Monnier, 1985).**

Biologie et écologie : Certaines familles sont monovoltines d'autres polyvoltines. Il existe également une diapause larvaire, embryonnaire ou imaginale selon les espèces. La ponte peut être aquatique ou terrestre; les larvules commencent leur développement post-embryonnaire. Il y a cinq stades larvaires, sauf chez Sericostomatidae (six ou sept) et le genre Agapetus (Sept). La nymphose est toujours aquatique. Les larves de Trichoptères constituent une source de nourriture pour de nombreux invertébrés ou pour les poissons. La prédation est réduite sur les nymphes puisque l'émergence est nocturne. Quant aux adultes, ils constituent des proies pour les oiseaux et les chauves-souris **(Tachet et *al*., 2010).**

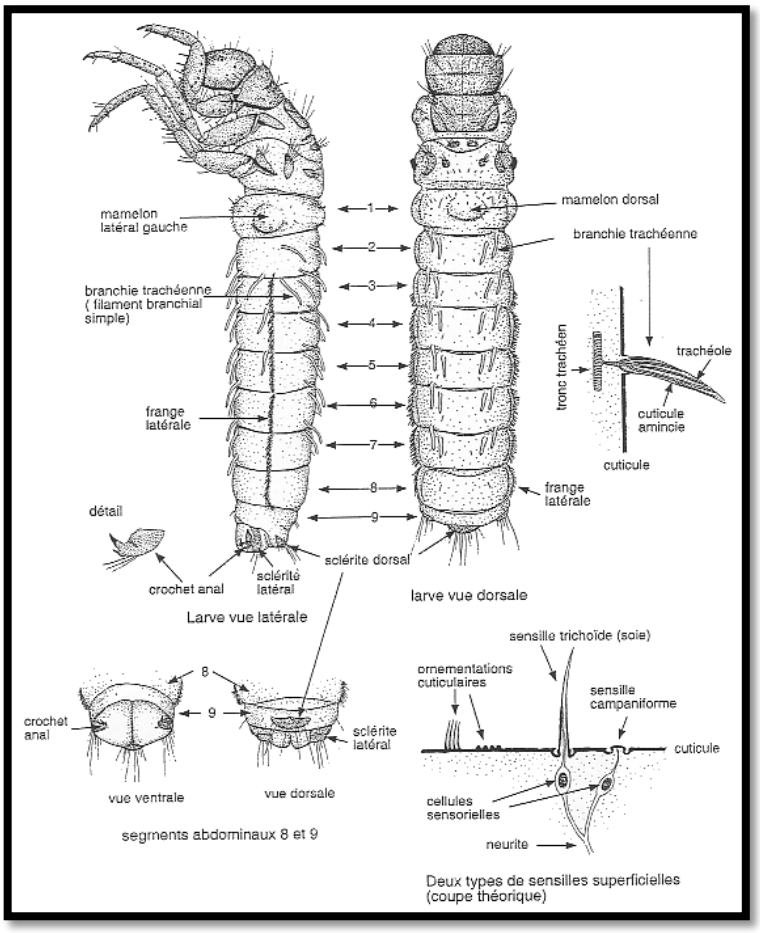


Figure 18: Larve de trichoptère (3)

III.6. Les Crustacés

Les Crustacés forment un vaste ensemble de plus de 50 000 espèces dont les formes sont très diverses. La plupart des espèces sont aquatiques marines ou dulçaquicoles, quelques-unes mènent une vie partiellement ou totalement terrestre (nous nous limiterons ici à la seule description de l'ordre des Amphipodes (Gammaridae) échantillonné dans la présente étude sachant que les autres espèces n'ont pas encore été identifiées avec certitude.

Morphologie

Les Amphipodes se caractérisent par un aplatissement latéral, les antennes sont presque de même taille excepté chez les Corophiidae où les antennes présentent un fort développement. Chez certaines familles, les péréipodes 4 et 5 sont dirigés vers l'avant et les péréipodes 6,7et 8 sont dirigés vers l'arrière.

Biologie et écologie

Le nombre d'œufs par femelle varie de 2 à 35, il y a 8 portées par femelle et par an. Les amphipodes muent pendant toute leur vie. Les espèces sont détritivores, herbivores, prédateurs et charognards. Leur alimentation se compose d'un mélange de matière végétale fraiche ou en décomposition, d'algues, d'autres macro-invertébrés et probablement de micro-organismes, notamment des champignons et du film bactérien se développant sur les matières en décomposition. En absence de proies, les gammares deviennent cannibales. Ils sont des proies aux poissons, oiseaux et aux sangsues. Les Gammaridae occupent tous les types d'habitats lotiques, lénitiques, des eaux douces aux eaux saumâtres.

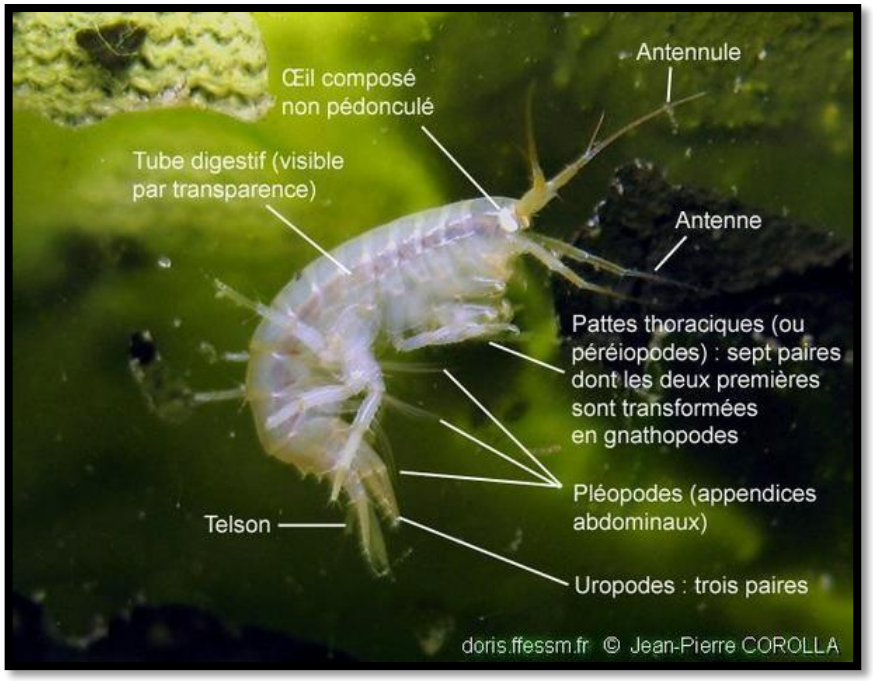


Figure 19: Larve de Gammaridae (4)

Partie II : Partie pratique

I. Protocoles expérimentaux

II. Résultats et discussions

I. Protocoles expérimentaux

I.1. Matériel usité

Plusieurs sorties sur le terrain ont été effectuées et quelques paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ*. Par ailleurs, le traitement des données biologiques et la mesure d'autres paramètres physico-chimiques ont été réalisés au niveau du laboratoire de pédagogie de l'université de Guelma.

I.1.1. Sur le terrain :

- ✓ Une paire de bottes
- ✓ Une épuisette
- ✓ Un tamis
- ✓ Un chronomètre
- ✓ Des bouchons en liège
- ✓ Des bouteilles en plastique
- ✓ Des étiquettes
- ✓ Un carnet de terrain
- ✓ Un GPS 72 H GARMIN
- ✓ Des pinceaux
- ✓ Une cuve
- ✓ Des gants
- ✓ De l'Ethanol 96 %
- ✓ Une Glacière
- ✓ Un Thermomètre
- ✓ Un décamètre

I.1.2. Au laboratoire :

- ✓ Un multi paramètre Hanna Hi 9829
- ✓ Flacons étiquetées
- ✓ Des pinces
- ✓ Des pinceaux
- ✓ Des passoires

- ✓ Un ou deux guides pour identifier le matériel biologique (Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 ; Tachet et *al.,* 2010)
- ✓ Une loupe binoculaire
- ✓ Une cuve
- ✓ Des boîtes de pétri
- ✓ Des gants
- ✓ Ethanol 70 %
- ✓ Eau distillé
- ✓ Un DBO mètre de type OxiTop®
- ✓ Etuve
- ✓ Dessiccateur
- ✓ Rampe de filtration
- ✓ Des membranes filtrantes de type Whatman
- ✓ Balance
- ✓ Bécher
- ✓ Spectrophotomètre
- ✓ Un photomètre à flamme PFP

I.2. Méthodologie de travail :

Avant le début de l'échantillonnage régulier sur le terrain, plusieurs sorties de prospection ont été réalisées dans le but de choisir les stations d'étude. Pour cela, les stations situées le long du cours d'eau de Chedakha devaient être facilement accessible, avec une végétation peu dense pour faciliter l'échantillonnage. Entre la période comprise entre Février et Avril 2024, Cinq sorties ont été réalisées à raison de quinze jour d'intervalle, lorsque cela était possible à cause des précipitations qui augmentaient le risque des crues et la dérive des macroinvertébrés benthiques. Lorsque c'était le cas une durée allant de 48h à 72h était observée afin d'éviter les risques d'érosion des berges et retrouver la stabilité du lit de l'oued et maximiser ainsi la réussite de l'échantillonnage.

I.2.1 Sur le terrain :

- ❖ **Mesure des paramètres *in situ* :**

Arrivés sur le terrain, plusieurs paramètres tels que la température de l'eau (°C), l'oxygène dissous (mg/l) et en pourcentage (%) de saturation, la conductivité (µS/cm) , la salinité, TDS,

la vitesse (m/s) de l'eau, la profondeur (cm) et la largeur (m) du lit , la turbidité (NTU) , le pH. Une description succincte des principaux paramètres est donnée ci-dessous :

- **La profondeur et la largeur :**

  Ces deux critères donnent une indication sur la dimension du cours d'eau dans une station spécifique. La profondeur de l'eau joue un rôle dans le réchauffement des eaux, ce qui affecte la présence et la propagation de la faune et de la flore thermophile. De plus, la profondeur de l'eau influence la teneur en oxygène dissous. La largeur du lit, quant à elle, est influencée par les précipitations et la température, et elle varie d'un cours d'eau à l'autre, ainsi que tout au long de l'année pour un même cours d'eau **(Touati, 2008).** Pour mesurer ces facteurs en utilise un Décamètre.

- ✓ **La vitesse de l'eau :** Il s'agit d'un facteur écologique important qui détermine la probabilité d'existence des organismes en fonction de leurs limites de tolérance. En général, la faune des eaux courantes présente des caractères d'adaptation qui permettent aux animaux de lutter contre le courant **(Angelier, 2003)**. Pour mesurer ce facteur, un bouchon en liège est lâché à la surface du cours d'eau sur une distance de dix mètres, le temps est alors chronométré puis la valeur est déduite de la relation D= V/T .

- ✓ **La température de l'eau (°C) :** La température de l'eau est vitale pour la faune et la flore aquatique dans les écosystèmes lotiques. En effet, les caractéristiques physiques et chimiques et biochimiques de l'eau en dépendent **(Jourdan et *al*., 2018).).** Des températures élevées de l'eau peuvent détruire la faune et la floreprésentes dans l'eau et favoriser le développement d'espèces peu utiles telles les algues **(Chaib, 2002).** La température de l'eau dans l'oued Chedakha a été mesurée grâce à un thermomètre de type (Mercery yellow -10-110°C).

- ✓ **la conductivité (µS/cm)** : La conductivité est un indicateur de la capacité de l'eau à transmettre le courant entre deux électrodes. La majorité des substances dissoutes dans

  l'eau sont des ions chargés, ce qui permet d'évaluer la quantité de sel dissous dans l'eau en utilisant la mesure de la conductivité **(Rodier, 1996. Detay, 1993).** la conductivité a été mesurée sur place en utilisant un multi paramètre Hanna Hi 9829.

- ✓ **la turbidité (NTU) :** La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle est causée par la présence de matière en suspension (MES) fines comme les argiles, les grains de silice et

les microorganismes **(Asgher et *al* ., 2018).** La turbidité a été mesurée au laboratoire à l'aide d'un multi paramètre Hanna Hi 9829.

- ✓ **Le pH** : Le pH est une mesure qui indique le degré d'acidité (prédominance des ions H+ et des ions OH-) ou de basicité (prédominance inverse) d'une solution aqueuse **(Frontier et Pichodviale, 1991)**. Le pH des organismes aquatiques est compris entre 4,5 et 9,5. Par conséquent, une eau trop acide ou trop alcaline peut être mortelle pour la vie aquatique. Il est important de rappeler que les protéines enzymatiques peuvent voir leur structure tridimensionnelle affectée, ce qui perturbe leur activité biologique **(Huguette, 2006)**. La mesure a été faite grâce à un multi paramètre Hanna Hi 9829.

- ✓ **L'oxygène :** L'oxygène est l'un des paramètres les plus importants de la vie aquatique et est essentiel au métabolisme de la plupart des organismes présents.Il provient du contact de la colonne d'eau avec l'atmosphère , de l'action mécanique de la vitesse du courant et de la photosynthèse assurée par le phytoplancton qui fixe le CO2 de l'eau en utilisant l'énergie solaire et des molécules d'eau, elles libèrent de l'oxygène dans le milieu **(Huguette, 2006).** Ce paramètre a été mesuré en utilisant multi paramètre Hanna Hi 9829.

- ✓ **La salinité :** La salinité est un élément écologique d'une grande importance qui affecte certains éléments tels que la conductivité et la pression osmotique (Aberkane, 2011). La mesure a été effectuée en utilisant un multi paramètre Hanna Hi 9829.
- ✓ **Les solides dissous totaux TDS (mg/l) :** La mesure des solides dissous totaux est essentiel pour évaluer la qualité de l'eau brute, car une augmentation de la TDS peut signaler une contamination de l'eau par des produits chimiques ou des polluants d'origine naturelle ou anthropique. Ces éléments incluent des sels inorganiques tels que le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium, les bicarbonates, les chlorures et les sulfates, ainsi que de faibles quantités de matière organique se dissolvant dans l'eau. **(Xu et *al*., 2019).** La mesure a été effectuée en utilisant un multi paramètre Hanna Hi 9829**.**

❖ Echantillonnage des macroinvertébrés benthiques :

L'objectif de l'échantillonnage est de collecter la diversité la plus représentative des macro-invertébrés au niveau de chaque station Pour l'échantillonnage, nous avons essayé au maximum de respecter la durée de temps imparti dans chaque station. La technique de récolte consiste à utiliser une épuisette de 1 mm de vide de maille. Les coups de filet étant effectués

au milieu et en bordure des berges dans les parties à forte végétation aquatique ainsi qu'au fond dans les parties boueuses et sableuses du lit de l'oued. Le contenu de l'épuisette est versé dans un récipient, puis passé dans un tamis (Fig.20). Une fraction de la faune ainsi que des débris de la végétation étaient récupérées dans des flacons en plastique étiquetés. La fixation de la faune est effectuée sur place par l'ajout de l'éthanol à 96 %. Le temps alloué à chaque station était de 30 minutes. Les échantillons étaient transportés au laboratoire dans une glacière en vue de leur identification.

Figure 20: Echantillonnage des macro-invertébrés

I.2.2. Au laboratoire :

Cette partie pratique de notre recherche a été effectuée au laboratoire pédagogique de la faculté SNV-STU. Elle comprend 2 volets : le premier concerne le tri des macroinvertébrés benthiques et le second, l'analyse d'autres paramètresphysico-chimiques.

I.2.2.1. Le tri des macroinvertébrés bentiques :

Il a pour objectif de séparer les individus appartenant aux différents ordres faunistiques d'une même station en familles. Ce tri et la détermination sont faits à l'aide d'une loupe binoculaire, en utilisant des pinces et un pinceau, dans des boîtes de pétri. Les taxons faunistiques sont conservés dans un petit flacon en plastique, contenant de l'éthanol 70 %. L'identification des différentes familles a été réalisée grâce aux clés de **(Tachet et *al.*, 2010)**: Invertébrés d'eau douce (systématique, biologie, écologie) et la confirmation a été faite par Mme Yalles Amina.

Figure 21: Identification des différentes familles de Macro-invertébrés benthiques

I.2.2.2. Analyses des paramètres physico-chimiques :

❖ Détermination de la Demande biologique en oxygène (DBO5) :

Ce paramètre est un indicateur de la qualité de l'eau, il mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer la matière organique dans l'eau en cinq jours .Un taux élevé de DBO5 indique une forte pollution organique et peut suggérer une contamination bactérienne de l'eau **(Kumar, 2007)**.

Méthode : Les mesures sont réalisées à l'aide du DBO mètre de type OxiTop® . On commence d'abord par nettoyer les flacons avec l'échantillon, puis on met le volume appropriée, nous insérons la barre magnétique dans la bouteille. Avec une pince on ajoute deux pastilles de soudes dans le gobelet en caoutchouc, On appuie sur le Boutons S et M simultanément jusqu'à ce que 00 s'affiche, et on met le flacon de mesure à 20°C dans oxitop pendant 5 jous. puis nous effectuons la lecture.

Figure 22: Appareil DBO mètre

❖ Détermination de Matières en suspension (MES): (Rodier et al, 2009)

La présence de la matière en suspension peut être d'origine minérale (comme l'argile et la boue) ou organique (résultant de la dégradation des plantes et des animaux), ce qui entraîne une augmentation de la demande en oxygène **(Chang, 2005)**. La mesure des matières en suspension est directement liée à la turbidité de l'eau qui est un indicateur de la qualité de l'eau **(O'Connr, 2006).**

Méthode : Les membranes filtrantes Whatman sont mises dans une étuve à 105°C pendant 20 minutes pour les déshumidifier, puis laissées refroidir dans un dessiccateur, ensuite pesées : soit P1 le poids des membranes avant filtration. Par la suite, ces membranes sont placées dans la rampe à filtration et où on laisse passer 200 ml d'eau à analyser. Les membranes sont déposées dans l'étuve à 105°C pendant 20 min puis de nouveau, mises dans un dessicateur puis on passe à la deuxième pesée P2 .

Expression des résultats : MES (mg/l) = (P2 – P1) × 5 × 1000

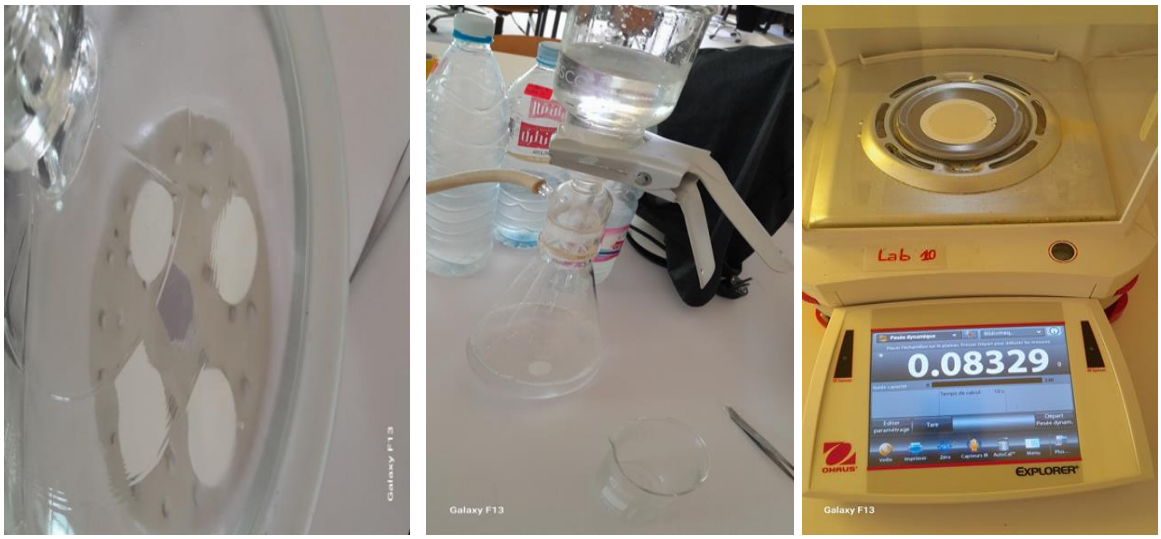


Figure 23: Images du dispositif pour la détermination des MES

❖ Préparation des solutions :

Avant la détermination des différents paramètres, il faut préparer au préalable plusieurs solutions.

❖ Préparation de la solution d'EDTA :

-Peser sur une balance de précision 3.725 grammes de sels d'EDTA.

- Verser le dans un bécher de 1 litre contenant de l'eau distillée.

- Agiter le mélange bien sur un agitateur pendant 10 minutes.

- Mettre la solution dans une bouteille en plastique.

❖ préparation du tampon ammoniacal :

Préparé sous haute en portant le masque à gaz et des lunettes de sécurité

On a besoin que 200 ml du tampon ammoniacal, on prends les quantités suivantes :

200 ml d'eau distillée + 114 ml d'ammoniaque + 13.5 grammes de chlorure d'ammonium +01 grammes de sels d'EDTA.

Mettre sur agitateur pendant 10 minutes.

❖ Préparation de la solution NaOH :

80 rammes de NaOH + 1 litre d'eau distillée .

Mettre sur agitateur pendant 10 minutes .

- **préparation de la solution AgNO3 :**

IL suffit de dissoudre 16.987 gs dans un litre d'eau distillée.

- **préparation de la solution H2SO4 :**

1 litre d'eau distillée + 0.6 ml de H2SO4 pûr.

I.2.3. Les méthodes volumétriques

- **Détermination des chlorures (Cl-) : (ISO 9297 : 1989)**

Les chlorures sont des anions inorganiques essentiels dont les concentrations varient dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme indicateurs de pollution et ont un impact sur la biodiversité aquatique ainsi que sur le développement des végétaux **(Ferreira, 2015).**

Méthode : on introduit dans un erlenmeyer 25 ml d'échantillon (en cas de non dilution), puis ajoute 2 à 3 gouttes de chromate de potassium pour avoir la couleur jaune.

-Titrer avec la solution d'AgNO3 sur colonne jusqu'au virage du jaune vers le violet.

- calculer le volume de Ag NO3 versé.

- **Détermination du calcium (Ca2+) : (ISO 6058 :1984)**

Le calcium est un élément majeur de la dureté de l'eau, étant souvent l'élément prédominant dans les eaux naturelles. Sa dissolution est principalement due à l'infiltration des eaux de surface à travers les formations carbonatées et même pendant leur séjour à l'intérieur de ces formations. Le calcium peut également être trouvé dans les formations gypsifères (CaSO4, 2H2O) et est largement présent dans les eaux thermales circulant dans un environnement calcaire. Il peut parfois atteindre des concentrations élevées dans les eaux thermales gazeuses en contact avec les roches cristallines basiques **(Bekkouch & Benhamza, 2009).**

Méthode : On introduit dans un erlenmeyer 10 ml d'échantillon+40 ml d'eau distillée (on fait la dilution), on ajoute 2 ml de la solution de NaOH et quelques grains de murixide

-Agiter le contenu bien à la main.

- Titrer avec EDTA jusqu'au virage du rouge vers le violet et noter le volume d'EDTA versé.

- **Détermination de la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) : (ISO 6059, 1984)**

La dureté totale d'une eau est produite par la présence des sels de calcium et de magnésium.Il est possible de distinguer une dureté carbonatée, liée à la présence de carbonates et de bicarbonates de calcium et de magnésium, et une dureté non carbonatée causée par les autres sels **(Belghiti et *al*.,2013).**

Méthode : On introduit dans un erlenmeyer 10 ml d'échantillon+40 ml d'eau distillée (on fait la dilution), on ajoute 4 ml du tampon eau ammoniacal et quelques grains de noir urochrome.

-Titrer avec EDTA et mesurer le volume ajouté jusqu'au virage du violet vers le bleu pour calculer le TH.

- **Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) : (Rodier, 2009).**

Contrairement à l'acidité, l'alcalinité d'une eau est déterminée par la présence de bases et de sels d'acides faibles. En milieu aquatique naturel, l'alcalinité est généralement due à la présence d'hydrogénocarbonates, de carbonates et d'hydroxydes **(Ràdier et *al*., 2009).**

Le TAC est déterminé par la concentration des ions OH, $CO3^{2-}$ et $HCO3^{-}$ lorsque le pH est inférieur à 8,3. Lorsque la concentration des ions OH- et CO32- est négligeable (TA=0), le TAC est mesuré uniquement par le dosage des bicarbonates **(Rodier et *al*., 2009).**

Méthode : on introduit dans un erlenmeyer 50 ml d'échantillon+50 ml d'eau distillée (on fait la dilution), on ajoute 02 gouttes de méthyle orange à 0.5%.

-Titrer avec l'acide sulfurique 0.02N sur colonne jusqu'au virage de la couleur du bleu vers le rouge orange, on arrête le titrage et on prendra la valeur.

- **Détermination du Magnésium (Mg2+) : (ISO 6058 : 1984)**

Le magnésium est un composé naturel très abondant, présent dans de nombreux minéraux et dans les calcaires **(Rodier et al., 2009).**

Expression des résultats : On détermine la mesure du TH magnésien d'après le titrage de la dureté et le TH calcique selon l'expression suivante.

Mg2+ (mg/l) = (V2-V1) × F × 4,8

Avec V2 : Volume titrée de calcium et de magnésium**. V1:** Volume titrée de calcium**.**

F : Facteur.

Figure 24: le titrage des échantillons

I.2.4. Méthodes spectrophotométriques :

❖ Détermination des Nitrites (NO2-) : (ISO 6777 :1984)

Les nitrites peuvent être issus d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, d'une réduction des nitrates due à une action dénitrifiante, ou encore d'une oxydation incomplète des matières organiques. Les nitrites se retrouvent dans le sol, les eaux et les plantes, mais en quantités relativement faibles. Leur présence a également été détectée dans les eaux de pluie et celles provenant de la fonte des neiges. En effet, la pollution atmosphérique favorise l'augmentation de la concentration en nitrites. Par conséquent, une eau contenant des nitrites doit être considérée comme suspecte car cette présence est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique **(Savary, 2010).** Le nitrite est dosé par Spectrophotomètre.

Méthode : on introduit dans un tube a essai 05 ml d'échantillon, puis ajoute 1 micro-cuillère arasée réactif NO2- et agiter bien jusqu'à dissolution totale. 10 minutes pour le temps de réaction sont attendues. L'apparition de la coloration rose indique la présence de nitrite, puis l'échantillon est introduit dans la cuve du spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

❖ Détermination de l'ammonium (NH4+) : (ISO7150/1-1984)

L'ammonium est souvent utilisé comme un indicateur courant de la pollution de l'eau, car il peut être présent en quantités significatives dans les eaux usées et les effluents agricoles. Il provient principalement des déchets animaux, des engrais, des eaux usées et des déchets industriels. Les concentrations d'ammonium dans l'eau brute peuvent varier en fonction des conditions environnementales, des activités humaines et des caractéristiques géographiques de la région environnante **(Fent, 2010).**

La présence des ions ammonium dans les eaux est fréquemment le témoignage d'une dégradation incomplète de la matière organique due à un manque d'oxygène disponible. Cela indique une contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle **(Rodier, 1984).** L'ammonium est dosé par Spectrophotomètre.

Méthode : on introduit dans un tube a essai 05 ml d'échantillon, puis on ajoute avec pipette réactif NH4-1K, et mélanger. 10 minutes sont attendues puis une 1 micro-cuillère ajoutée du réactif $NH4^{-2}$, agiter bien jusqu'à dissolution totale. laisser reposer 10 min (temps de réaction), l'apparition de la coloration vert indique la présence d'ammonium. On introduit l'échantillon dans la cuve du spectrophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

❖ Détermination des phosphates ($PO4^{3-}$) : (ISO N° 6878, 2004).

Leur existence dans les cours d'eau naturels cela varie en fonction de la nature des terrains traversés et de la décomposition de la matière organique. Les eaux de surface ou souterraines peuvent être polluées par les déchets industriels et domestiques, ainsi que par le ruissellement des terres agricoles contenant des engrais phosphatés **(Bouchenouk, 2013)**. Le phosphate est dosé par Spectrophotomètre.

Méthode : 5 ml d'échantillon sont introduits dans un tube à essai, puis avec une pipette est ajouté le réactif $PO4^{-1}$, mélanger. Apèrs 10 minutes une micro-cuillère arasée du réactif $PO4^{-2}$ est ajoutée, agiter bien jusqu'à dissolution totale. laisser reposer 10 minutes (temps de réaction). L'échantillon est introduit dans la cuve du spectophotomètre, le résultat est donné directement en mg/l.

❖ Détermination de Sodium (Na+) & potassium (K+) : (ISO 9964/3)

Le sodium se trouve toujours dans les eaux naturelles en proportions très variables, provenant principalement du lessivage des formations géologiques riches en Na Cl et des minéraux

silicatés comme les plagioclases, et peut être abondant dans les eaux carbogazeuses. Les eaux de pluie peuvent également fournir des quantités non négligeables de sodium. Le potassium K+, beaucoup moins abondant que le sodium, est rarement présent dans l'eau à des concentrations supérieures à 20 mg/l, où il est considéré comme négligeable par rapport au sodium (**Benhamza, 2008).** Le Sodium (Na+) & potassium (K+) sont dosés par le photomètre de flamme PFP.

- **Mode opératoire :**

Les instructions du constructeur ont été suives pour la mise en œuvre de l'appareil:

Le détail des opérations de démarrage (débits de gaz et conditions de flamme), la stabilisation de l'appareillage, les conditions de mesure, de rinçage (système aspiration/nébulisation) et arrêt (jenway PFP7). Le dosage des éléments Na+ et K+ se fait comme suit :

- La sélection de la longueur d'onde propre à l'élément (589 nm pour le sodium et 766 nm pour le potassium).

- Ajustement de la largeur de fente et de la gamme de sensibilité.

- Réglage des pressions et des débits des gaz.

- Mesure les intensités d'émission en aspirant les différents étalons suivis des échantillons.

REMARQUE :

Si l'échantillon contient des matières en suspension, un filtrage est nécessaire pour éviter L'encrassement capillaire du brûleur. Pour le stockage des solutions :

- On évite la lumière.

- Les solutions sont gardées à une température à 25 °C.

- Les flacons en verre sont à éviter.

❖ Détermination des nitrates (NO3-) : (ISO 7890-3 :1988)

Les nitrates sont le résultat final de l'oxydation de l'azote organique. Ils sont facilement solubles dans l'eau et se trouvent naturellement à de faibles concentrations dans les eaux souterraines et

de surface. Ce sont principalement les engrais et les rejets d'eaux usées qui entraînent de fortes doses **(Sharma, 2016).** Les nitrates présents dans l'eau brute proviennent principalement des activités agricoles et urbaines, étant des composés chimiques azotés **(Mary, 2018).**

Principe :

Les Nitrates réagissent avec le salicylate de sodium et donnent du paranitrosonylate de sodium coloré en jaune

Méthode :

- A 10 ml de l'échantillon à analyser sont ajoutées 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 % et 1 ml de salicylate de sodium.

- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88 °C. (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) et laisser refroidir.

- Dans une deuxième étape, le résidu est repris avec 2 ml H_2SO4, laisser reposer 10 min.

- Puis sont ajoutés 15 ml d'eau distillée et 15 ml de la solution d'Hydroxyde de sodium et le tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.

- Enfin, la solution est dosée au spectrophotomètre à 415 nm.

Expression des résultats :

En se référant à la courbe d'étalonnage, on exprime les concentrations des Nitrates des échantillons en milligramme par litre d'eau.

- **Détermination des sulfates ($SO4^{2-}$) : (ISO 22743 : 2006)**

Les sulfates sont des ions issus de l'oxydation de composés organiques et inorganiques. Ils peuvent se trouver naturellement dans les eaux souterraines, mais aussi résulter de l'utilisation de substances chimiques comme les pesticides et les détergents **(Tallha, 2020).**

Principe :

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectro photomètre.

$BaCl_2 + SO4^{-2}$ $BaSO4 + 2Cl^-$

Méthode :

A 20ml d'eau à analyser est ajoutée de l'eau distillée jusqu'à 100 ml . 5 ml de la solution stabilisante sont ajoutés et 2 ml de chlorure de baryum; Agiter énergiquement pendant 1 min. Enfin, la lecture se fait au spectrophotomètre à ʎ=420nm.

Expression des résultats :

La courbe donne directement la teneur des sulfates exprimée en milligramme de $SO4^{2-}$ par litre d'eau.

- **Détermination du bicarbonate (HCO3-) :**

La détermination du bicarbonate se fait par méthode titrimétrique. Sur 100 ml d'eau à examiner ajouter 3 gouttes de méthyle orange témoin puis agir une solution de concentration connue d'acide sulfurique H_2SO_4. la réaction provoquée est due à la neutralisation des ions bicarbonate par les ions H de l'acide sulfurique **(Rodier, 2009).**

Expression des résultats : (HCO3-) mg/l = V × 12,2

I.2.5. Analyse des données :

I.2.5.1. La structure d'un peuplement :

L'étude de la diversité peut être réalisée selon plusieurs approches fondées sur l'usage d'indices de diversité.

- **Indice de Shannon** : l'échantillon apporte une quantité d'information sur les structures du peuplement dont proviennent l'échantillon et la manière dont les individus sont répartis entre diverses espèces (Daget, 1976). Selon Dajoz (1957), la diversité est la fonction de la probabilité Pi de présence de chaque espèce i par rapport au nombre total d'individus. Avec : H' : Diversité spécifique, pi = ni / N où n i : effectif de l'espèce i et N : l'effectif total du peuplement. Cet indice s'exprime en bit (unité d'information) et mesure le niveau de complexité d'un peuplement. Un indice de diversité élevé correspond à un peuplement à grand nombre d'espèce pour un petit nombre d'individus.

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} pi.log_2(pi)$$

- **Equitabilité :** Elle constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité (Ramade, 1984). Selon Dajoz (1995), Cet indice varie donc entre 0 et 1. S'il tend vers E = 1, alors les espèces présentes dans le peuplement ont des abondances identiques. S'il tend vers E = 0, alors nous sommes en présence d'un déséquilibre où une seule espèce domine tout le peuplement.

$$E = H'/Hmax$$

H'max : étant la diversité maximale H max = log2.S

S : richesse spécifique.

H' : indice de diversité .

- **L'indice de Jaccard- Tanimoto**: Permet de mesurer le degré de similarité en espèces de deux sites :

$$I = Nc / (N1 + N2 - Nc)$$

Avec Nc : Nombre de taxons communs aux stations 1 et 2

N1 et N2 : nombre de taxons présents respectivement aux stations 1 et 2. Il varie de 0 à 1.

I.2.5.2. L'organisation d'un peuplement : Il s'agit d'une mesure quantitative des divers peuplements d'une biocénose, elle peut -être mesurée par :

- **L'abondance** : Le nombre d'individus échantillonnés
- **La fréquence** : Le nombre de relevés contenant l'espèce

$$C = (p/pi) *100$$

-P : Nombre de relevés contenant l'espèce

Pi : Nombre total de relevés effectués

- **La richesse spécifique** : Le nombre d'espèces échantillonnées sur le site
- **La phénologie** : Présence de l'espèce durant la période d'étude.

II. Résultats et Discussion

Volet Analyse des paramètres physico-chimiques : Il s'agit des paramètres mesurés in situ : la température de l'eau (°C), l'oxygène dissous (mg/l) et en pourcentage (%) de saturation , la conductivité (µS/cm) , la salinité, TDS, la vitesse (m/s) de l'eau, la profondeur (cm) et la largeur (m) du lit , la turbidité (NTU) , le pH, et les paramètres mesurés au niveau du laboratoire : la DBO5,MES,Chlorure,Calcium,TH TAC, Nitrite, Nitrate ,Phosphate, Ammonium ,Sodium ,Potassium ,Sulfate .

II.1. Analyse des paramètres mesurés *in situ :*

II.1.1.Vitesse (cm/s) :

La vitesse du courant dans les cours d'eau est un facteur important qui influence le transport des nutriments, le renouvellement de l'oxygène et la dérive des insectes. Des organismes ont développé des modifications morphologiques pour s'adapter au courant, comme les larves de Trichoptères qui se couvrent de petits cailloux et de bouts de bois pour se protéger et s'orienter **(Soualmia et Kebebsa, 2013).** Les valeurs de l'eau mesurées durant toute la période d'étude, varient entre 0.28cm/s et 2.5cm/s, ont une classe de vitesse très lente selon l'échelle de Berg.(Fig.25).

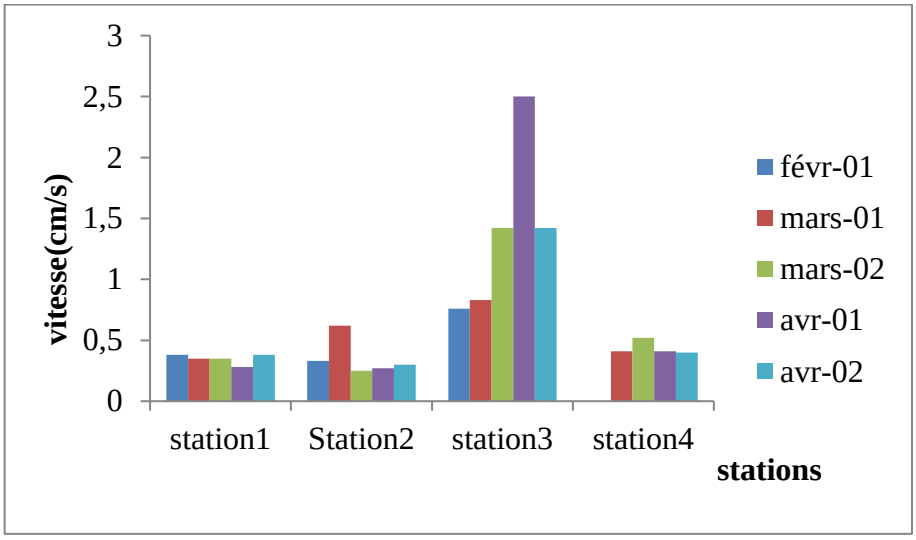


Figure 25: Evaluation spatio-temporelle de la vitesse

Tableau 1: Définition des classes de vitesses selon l'échelle de Berg (KHETTAR, 2009 in Satha 2014)

Vitesse (cm/s)	Classe
< 10	**Très lente**
10-25	**Lente**
25-50	**Moyenne**
50-100	**Rapide**
>100	**Très rapide**

II.1.2.Profondeur (cm) :

La profondeur de l'eau a un impact sur le réchauffement des eaux, ce qui influe sur la présence et la dispersion de la faune et de la flore thermophile. Pendant la période d'étude les stations 1 et 4 qui ont une profondeur faible de 3.75cm et 4.5cm et la station 2 a une profondeur maximale de 12 cm (Fig.26).

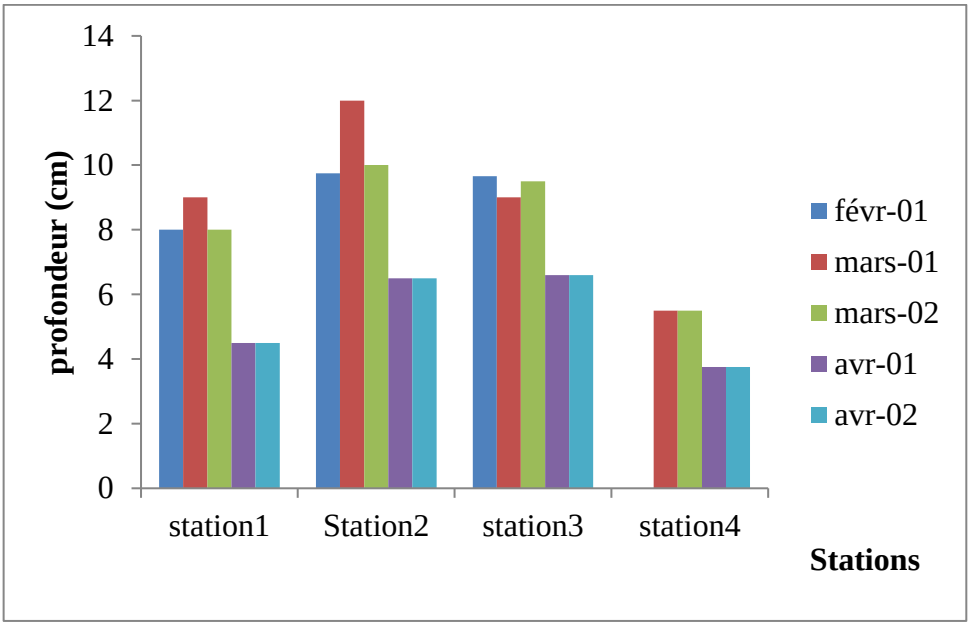


Figure 26: Evaluation spatio-temporelle de la profondeur

II.1.3. La Largeur moyenne (cm) :

La largeur du lit diffère d'un cours d'eau à l'autre et pendant toute l'année pour un même cours d'eau (Touati, 2008). Les valeurs fluctuent de 53cm à 2,86 m pendant les mois de fortes précipitations.(Fig.27).

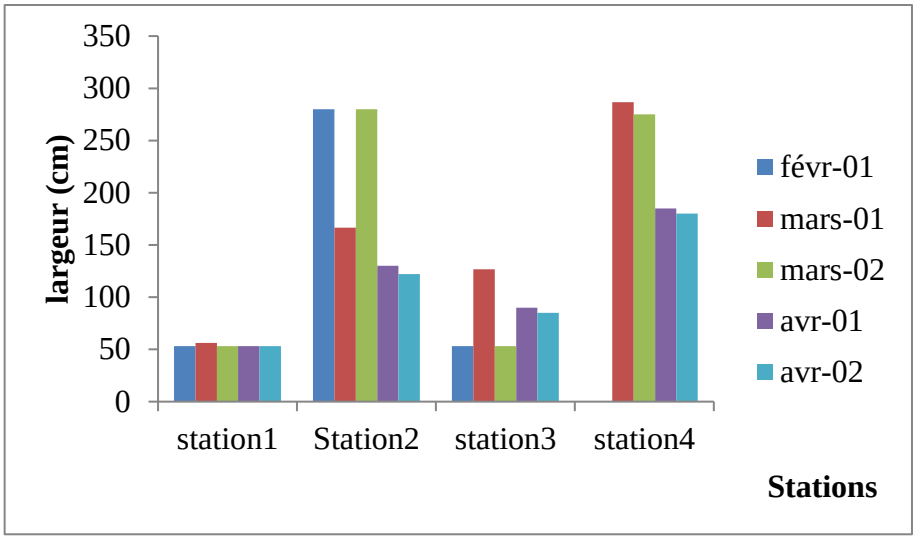


Figure 27: Evaluation spatio-temporelle de la largeur

II.1.4. La température :

Le rôle de la température de l'eau est important pour le développement, la croissance et le cycle biologique de la plupart des insectes aquatiques (notamment lors de l'état larvaire). De plus, elle peut influencer la localisation des espèces et la densité des populations **(Dajoz, 1985).** Durant toute la période d'étude , la moyenne des températures varie entre (22 °C) et (50°C),Il est à remarquer une élévation progressive des valeurs de février à Avril qui peut atteindre jusqu'à 50°C, la valeur la plus élevée est enregistrée dans la station 4 au mois d' Avril, puisque les stations reçoivent les eaux thermales de Chedakha.(Fig.28).

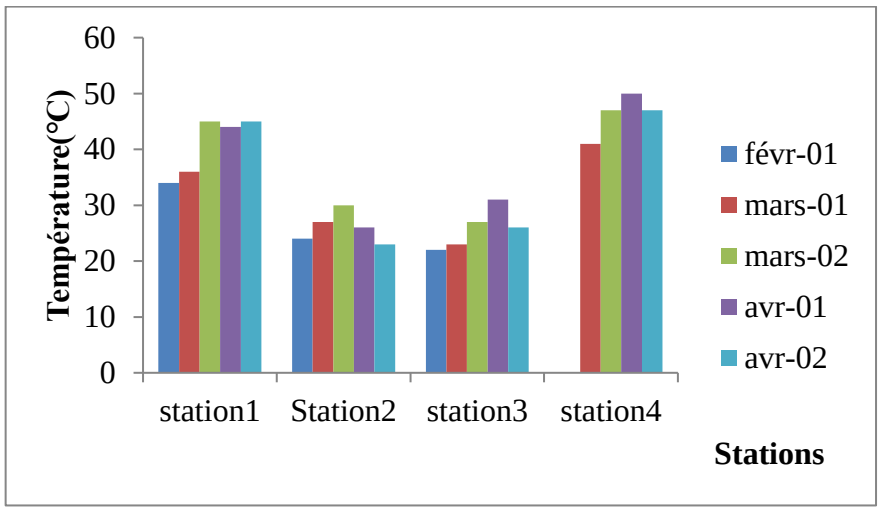


Figure 28: Evaluation spatio-temporelle de la température

II.1.5. La Conductivité (µs/cm) :

Il s'agit d'un élément essentiel pour la dynamique des populations, car il représente le niveau de minéralisation des eaux **(Baaloudj et *al*, 2020 ; Touati, 2008).** Des valeurs élevées de la conductivité ont été enregistrées au niveau des quatre stations avec des moyennes variant de 2063,2µS/cm à 2135,5µS/cm. la station 3 quant à elle a enregistré la valeur la plus élevée de 2328 µS/cm durant le mois d'Avril. Ceci s'explique d'une part par l'érosion des roches au fond qui se fait de façon naturelle et également à cause de l'anthropisation.(Fig.29).

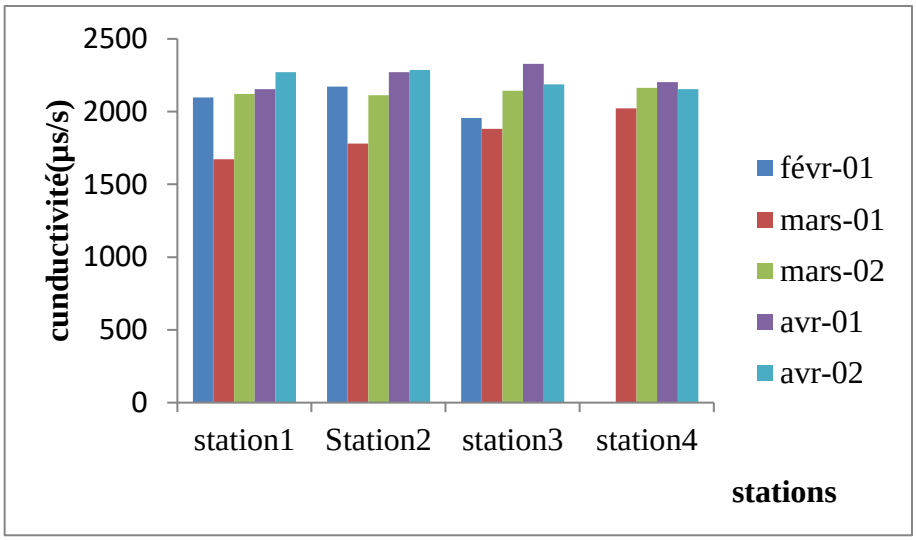


Figure 29: Evaluation spatio-temporelle de la conductivité

II.1.6. La salinité :

La salinité joue un rôle écologique essentiel en influençant des facteurs tels que la conductivité et la pression osmotique. Les résultats de salinité obtenus varient entre 0.85 (S1) au mois de Mars1 et 1.19 (S3) en Avril 1. Il est à remarquer que les valeurs de ces deux paramètres sont intimement corrélées.(Fig.30)

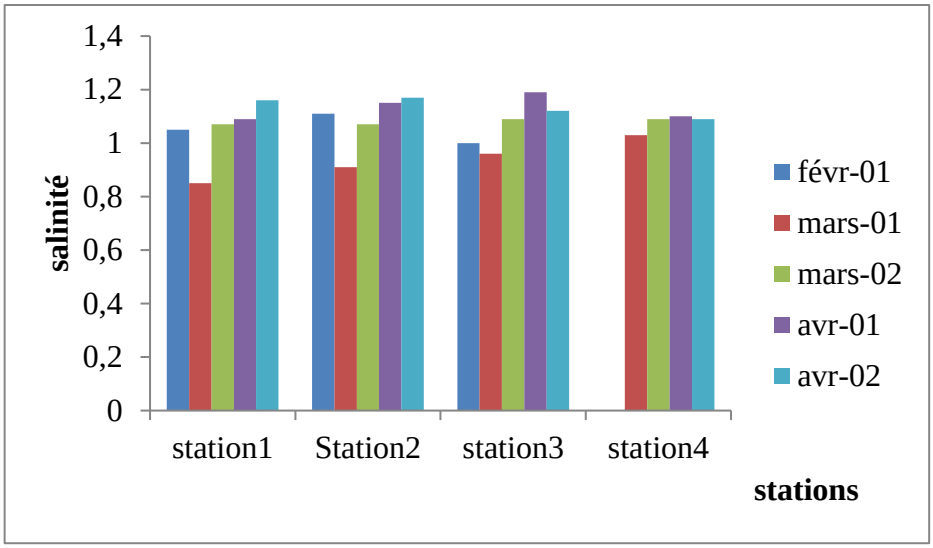


Figure 30: Evaluation spatio-temporelle de la salinité

II.1.7. l'Oxygène dissous (mg/l) :

La quantité d'oxygène présente dans les eaux est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs (présence de la végétation, la vitesse de l'eau...etc). L'évolution de l'oxygène dissous montre que la valeur la plus basse (0.20 mg/l) est notée au mois de février dans la première station et la valeur la plus haute (6.55 mg/l) est notée aussi au mois de mars au niveaux de la station 2.(Fig.31)

NB/ Les mesures de l'oxygène ont été prises au laboratoire excepté pour le mois de février.

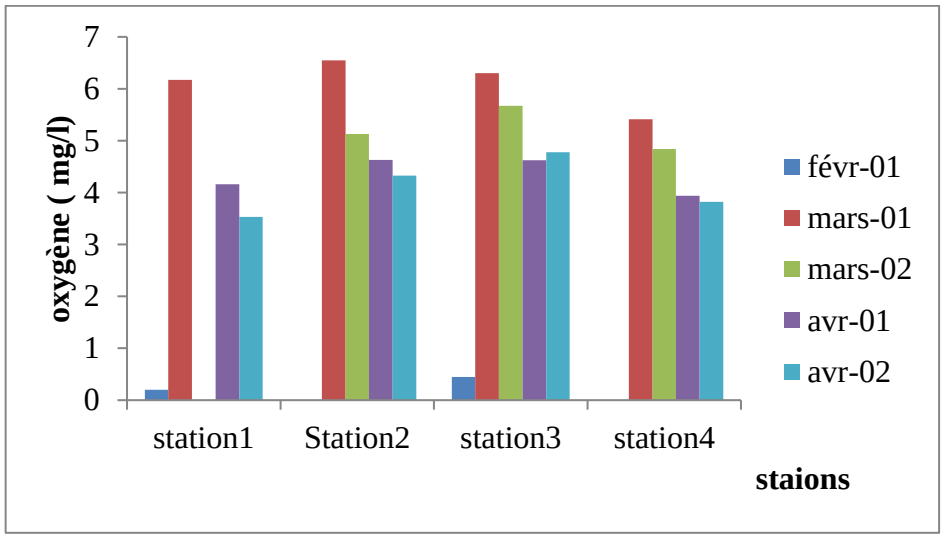


Figure 31: Evaluation spatio-temporelle de l'oxygène

II.1.8. Le pH :

Les valeurs du pH varient très peu au niveau des stations d'étude, elles oscillent de 7.27 à 8,13. Le pH de ces stations est favorable car le niveau de la tolérance des organismes aquatiques se situe entre (4.5 et 9.5) **(Frontier et Pichodviale, 1991**).(Fig.32).

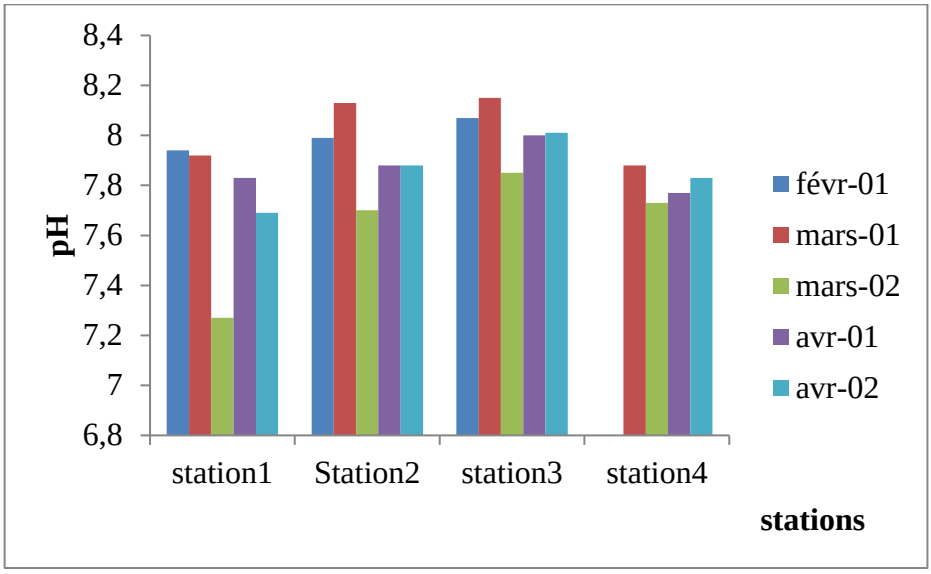


Figure 32: Evaluation spatio-temporelle du pH

II.1.9. La Turbidité (NTU) :

La transparence de l'eau est étroitement liée à sa turbidité. Elle est causée par la présence de matières en suspension telles que les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Durant toute la période d'étude, les valeurs de la turbidité sont estimées entre 2.3 NTU (station 2) en Avril 2 à une valeur maximale de 23.4 NTU (station 3) en février 1. Ce Paramètre varie selon les conditions climatiques (Agitation éolienne, précipitations...). Les eaux de nos stations sont claires à légèrement trouble.(Fig.33).

Tableau 2: Classes proposées pour la turbidité (In Satha, 2008).

NTU < 5	**Eau claire**
5 <NTU < 30	**Eau Légèrement trouble**
NTU > 50	**Eau trouble**

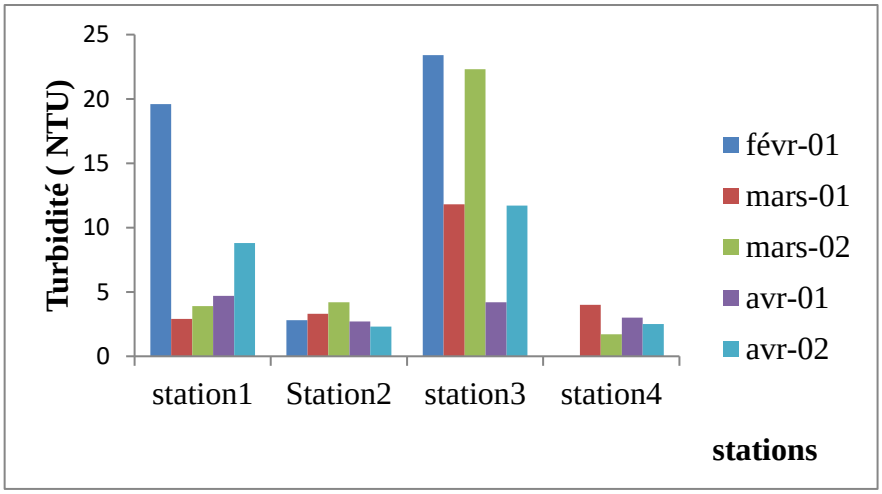


Figure 33: Evaluation spatio-temporelle de la turbidité

II.1.10. Les TDS :

La mesure des solides dissous totaux est essentielle pour évaluer la qualité de l'eau brute, car une augmentation de la TDS peut signaler une contamination de l'eau par des produits chimiques ou des polluants d'origine naturelle ou anthropique. Les valeurs varient entre 837 mg/l mesurée à la station 1 en mars 1 alors que la valeur la plus élevée était de 1164 mg/l. dans la station 3 en Avril 1 ce qui concorde parfaitement avec les valeurs de la conductivité et de la salinité mesurées dans cette même station. Par ailleurs d'autres travaux effectués au niveau de la même région, ont signalé des valeurs bien supérieures, de l'ordre de 1600mg/l

(Belhai et *al*., 2017).(Fig.34).

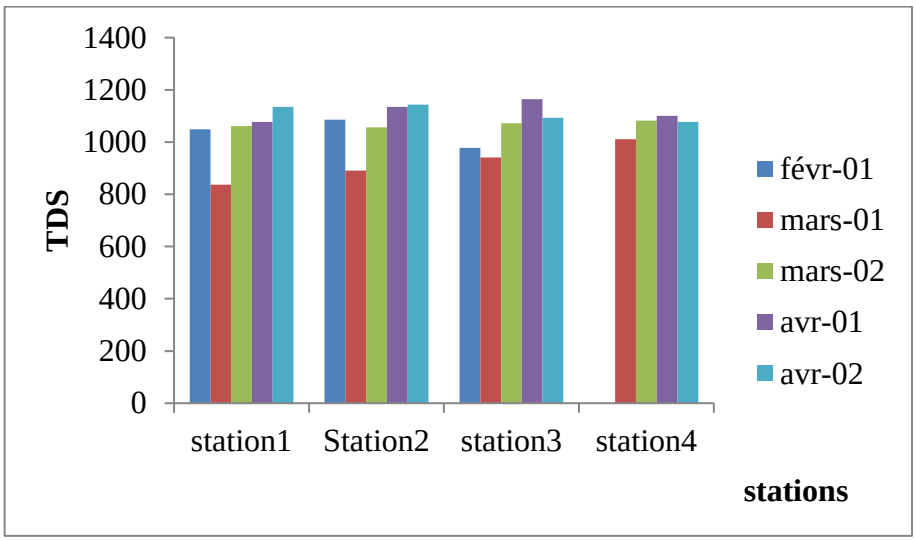


Figure 34: Evaluation spatio-temporelle des TDS

II.2. Les Résultats des analyses volumétriques :

II.2.1. Les matières en suspension (MES) :

La concentration de matières en suspension entraîne une demande accrue en oxygène. Durant la période d'étude les valeurs sont comprises entre 1.45 mg/l et 149.4 mg/l .Les fortes valeurs coïncident avec les épisodes de crues qui ont affecté la région durant la période d'étude.(Fig.35).

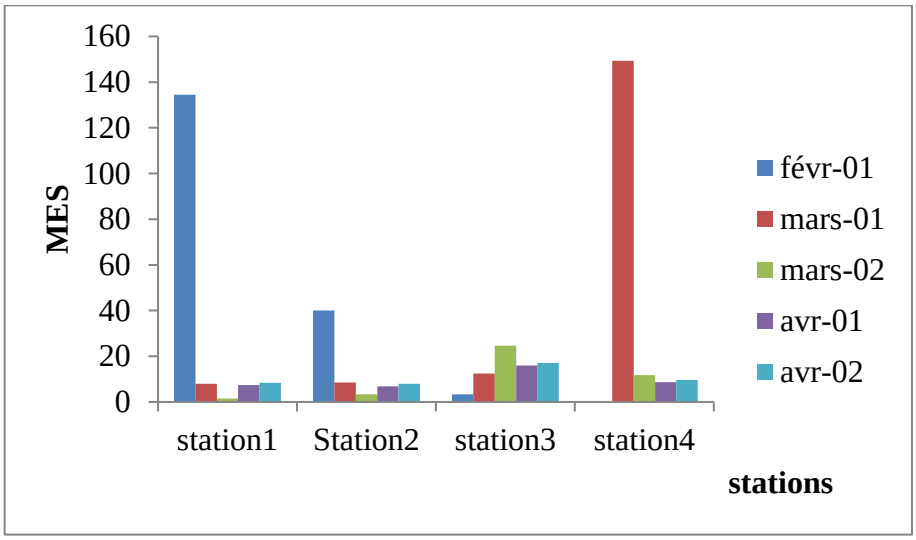


Figure 35: Evaluation spatio-temporelle des MES

II.2.2. La DBO5 (mg/l) :

Un indicateur de la qualité de l'eau, La DBO5 élevé témoigne d'une pollution organique importante et peut indiquer une contamination de l'eau. Durant le suivi des stations, les valeurs de la DBO5 ont varié de 1 à 12 mg/l d'oxygène ce qui atteste de la bonne qualité de ces eaux thermales.(Fig.36).

II.2.3. Le Calcium (mg/l) :

Le calcium joue un rôle essentiel dans la dureté de l'eau, étant fréquemment l'élément dominant dans les sources d'eau naturelles. Il provient de l'infiltration des eaux de surface à travers les formations carbonatées ou bien des roches gypsyfères. Durant les trois mois, toutes les stations avaient des valeurs moyennes oscillant de 174,4-180-192,8 et 215,2 mesurées respectivement dans les stations S3, S4,S1 et S2 ce qui montre que les eaux thermales de Hammam Debagh sont de nature calcique.Ces résultats sont en ligne avec les recherches faites précédemment **(Belhai et al.,2017; Benamara et al., 2017. Khiter, 2018)**.(Fig.37).

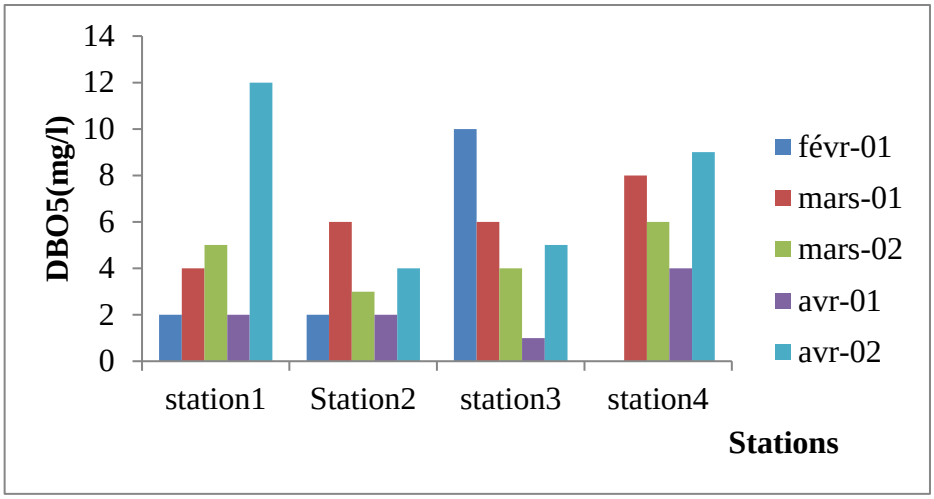


Figure 36: Evaluation spatio-temporelle de la DBO5

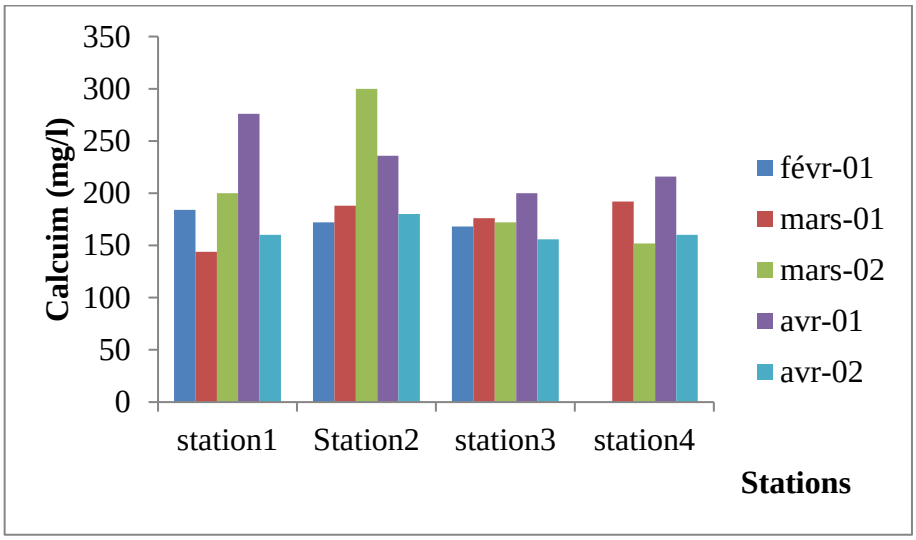


Figure 37: Evaluation spatio-temporelle du Calcuim

II.2.4. Les Chlorures (mg/l)

Il est observé que les concentrations moyennes mensuelles s'échelonnent dans l'intervalle de 118,57mg/l dans la station 3 à 217,37mg/l dans la station 4. Nos résultats concordent avec ceux de **(Benamara et al.,2017)** avec une valeur de 123,51mg/l . Cependant, des valeurs supérieures aux nôtres (336 mg/l) ont été mesurées en 2017 dans la même région dans les travaux de **(Belhai et *al*.,2017).** Il est à noter que les Chlorures proviennent du soit du lessivage des évaporites ou bien des roches magmatiques **(Khiter, 2018).**(Fig.38).

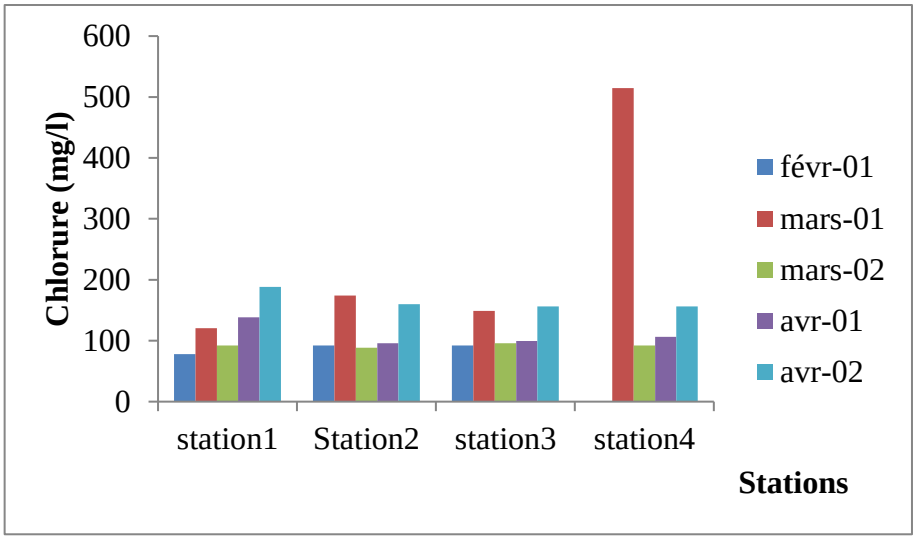


Figure 38: Evaluation spatio-temporelle des Chlorures

II.2.5. Le titre hydrotymétrique (TH) :

La présence des sels de calcium et de magnésium est responsable de la dureté totale de l'eau. Les teneurs du T.H durant les trois mois varient entre 2.6°f et 7,15°f . Les valeurs moyennes restent globalement bonnes et oscillent de 4, 18°f (S3), 4,35 °f (S4), 4,55°f (S2) à 5,22 °f(S1). Des études sur d'autres sources thermales ont montré les mêmes résultats à savoir 4.85°f à la source thermale de Hammam Beni Saleh à El Tarf et au contraire des valeurs maximales de 1303.9 °F à la source thermale de Hammam Tassa à Souk Ahras **(Bekkouche, 2016)**.(Fig.39).

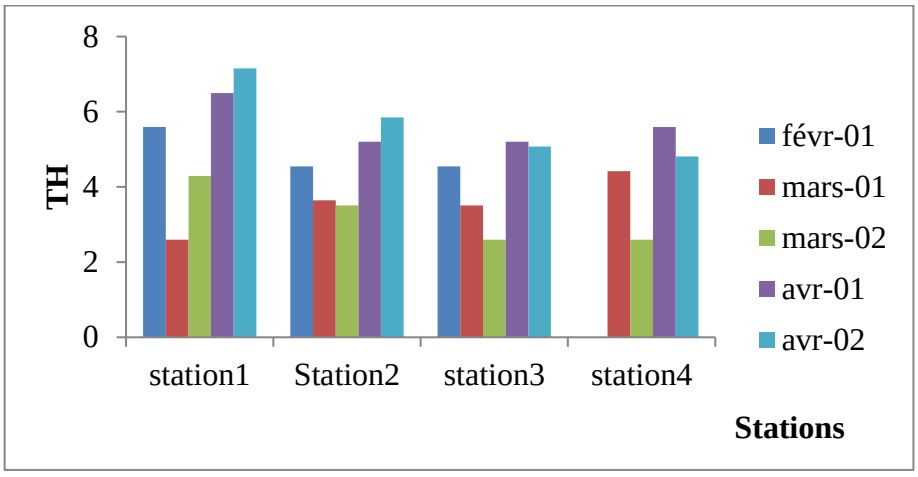


Figure 39: Evaluation spatio-temporelle du TH

II.2.6. le Magnésium :

Les moyennes des concentration enregistrées du magrnésium se situent entre 52,96 mg/l (S2), 54,40 mg/l (S4), 55,74 mg/l (S1) ; et la valeur maximale a été notée dans la station 3 avec 74,52

mg/l. Ces résultats sont proches de ceux de **(Belhai et *al*., 2017)** avec 28mg/l mais restent très inférieurs à ceux de (**Banamara et *al*., 2017)**.(Fig.40).

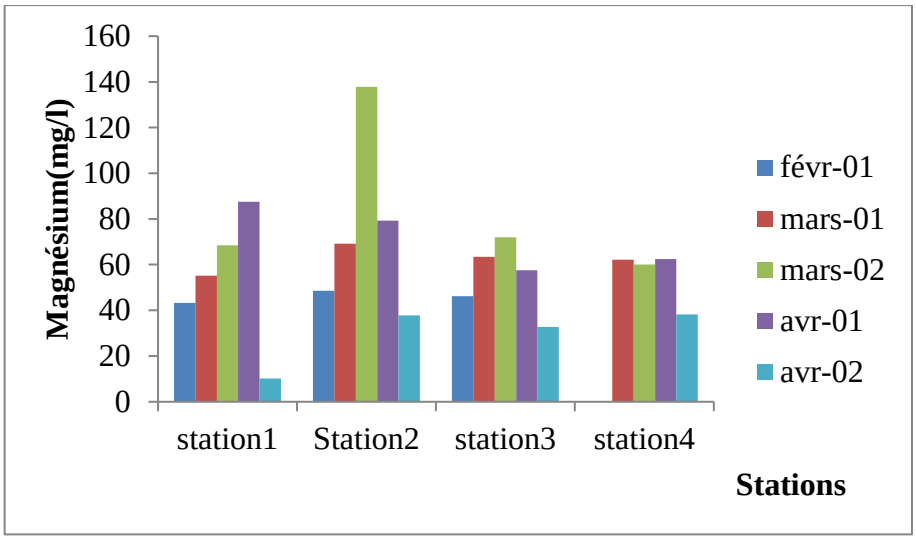


Figure 40: Evaluation spatio-temporelle du magnésium

II.3. Les Résultats des analyses spectrophotométriques :

II.3.1. Les Nitrites (mg/l) :

Une eau contenant des nitrites doit être considérée comme suspecte car cette présence est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique. Pendant les trois mois d'étude, les valeurs moyennes des Nitrites sont comprises entre 0,54 mg/l (S3) comme valeur minimale ce qui témoigne que les eaux de cette station sont de qualité passable. Cependant, les eaux des stations (S4, S2, S1) sont de qualité médiocres avec des valeurs moyennes respectives de (1,97, 2,65, 2,94) mg /l.(Fig.41).

II.3.2. Les Nitrates (mg/l):

Les nitrates présents dans les eaux thermales sont d'excellente qualité. Les moyennes mensuelles varient peu 0,52-0,81-1,06- 1,74 respectivement mesurées dans les stations (S3,S2, S4 et S1) . Ces valeurs reflètent des eaux de bonnes qualities.(Fig.42).

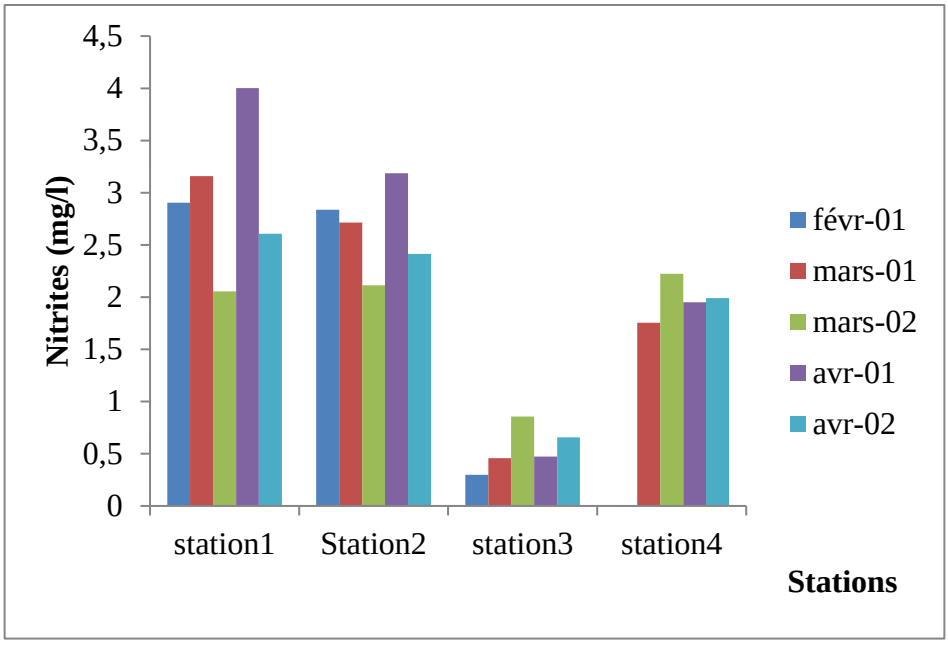


Figure 41: Evaluation spatio-temporelle des Nitrites

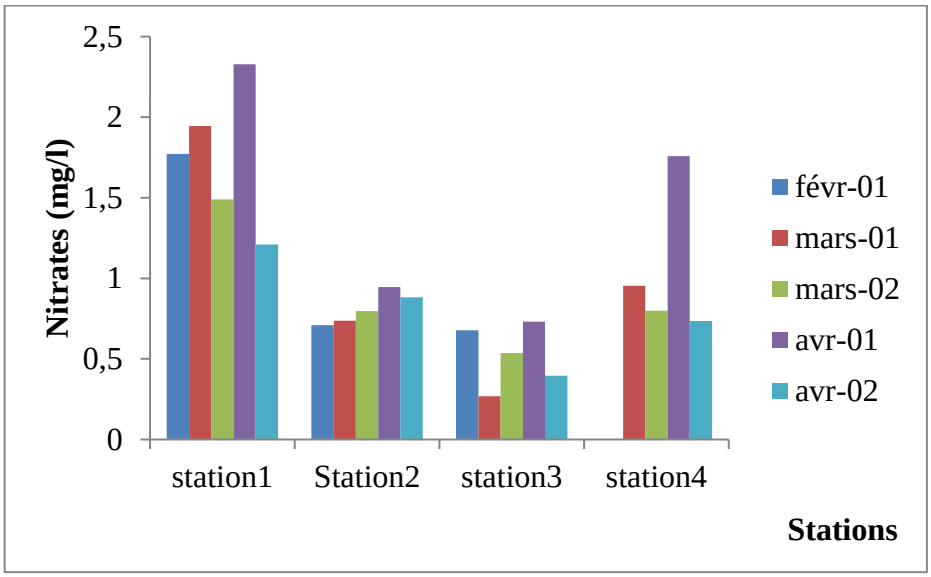


Figure 42: Evaluation spatio-temporelle des Nitrates

II.3. 3. L'Ammonium (mg/l):

L'ammonium est souvent utilisé comme un indicateur courant de la pollution de l'eau. La présence des ions ammonium dans les eaux est fréquemment le témoignage d'une dégradation incomplète de la matière organique due à un manque d'oxygène disponible. Les concentrations moyennes d'ammonium des eaux au cours des trois mois varient de 0,48mg/l dans la station 2 à 0,79mg/l en (S3) et 1,06mg/l en (S1et S4) Ce qui caractérise les eaux thermales des quatre stations d'étude comme étant de bonne qualité (S2) à qualité passable (S1,S3, S4), selon les normes de l'agence des bassins hydrographiques **(ABH, 1999)** .(Fig.43).

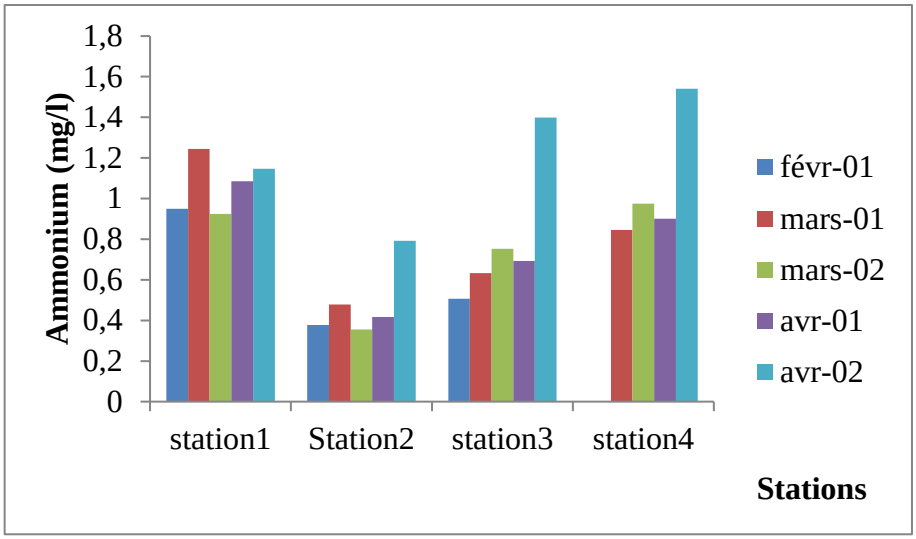


Figure 43: Evaluation spatio-temporelle de l'ammonium

II.3.4. Les Phosphates (mg/l):

Leur existence dans les cours d'eau naturels dépend de la composition des sols traversés et de la dégradation de la matière organique. Les valeurs mesurées varient de 5,52 (S1) en Février à 11,23(S4) en Avril. Les moyennes enregistrées quant à elles fluctuent de 6,79-7,79-8,79- 9,79) respectivement dans les stations (S1, S2, S3, S4) et traduisent une pollution excessive d'après les normes de **(l'ABH, 1999).** Ces résultats suggèrent une origine anthropique : En effet, beaucoup de personnes viennent prendre des bains à l'air en différents points du cours d'eau Chedakha ou encore appelé Ain Skhouna.(Fig.44).

II.3.5. Le Sodium (mg/l) :

Le sodium est présent dans les eaux naturelles en particulier les sources thermales. Il provient des roches évaporites (Des roches salines). Les valeurs du Sodium des eaux des quatre stations fluctuent de 232,8 mg/l(S4) à 279,9 (S2) et (S3) la station (S1) enregistre une forte teneur de 287, 23mg/l. Ces résultats sont compatibles avec ceux de **(**à savoir 219mg/l mais restent supérieurs à ceux enregistrés par (**Benamara et *al*., 2017)**.(Fig.45).

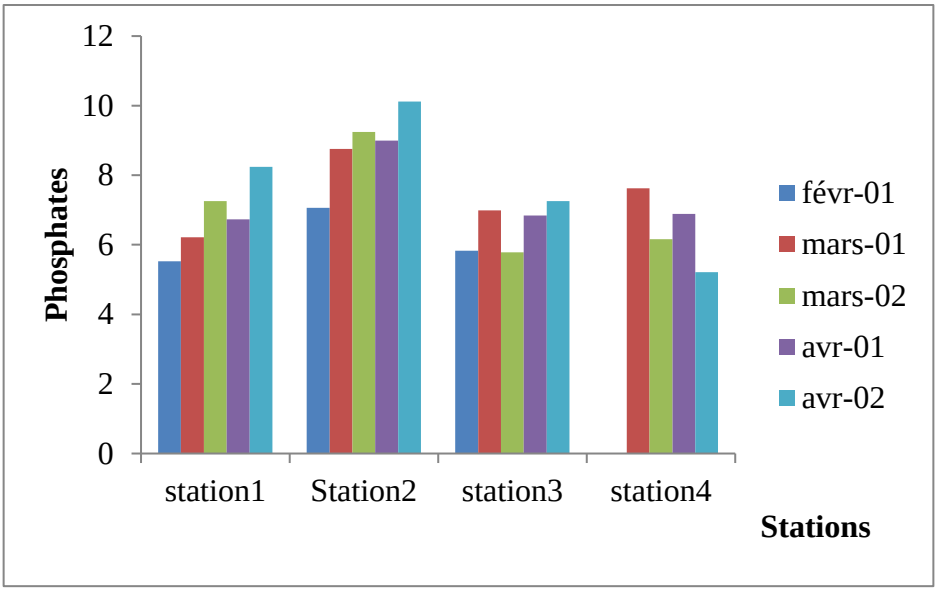


Figure 44: Evaluation spatio-temporelle des Phosohates

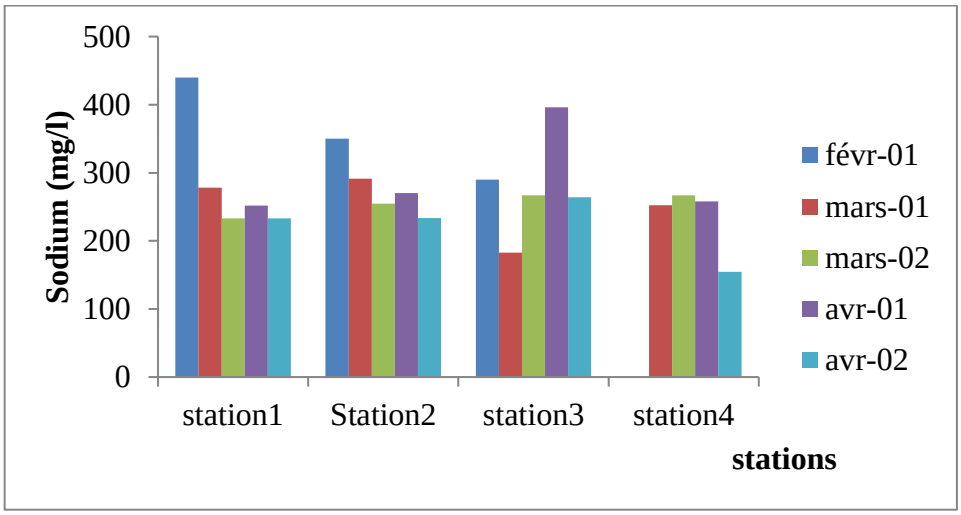


Figure 45: Evaluation spatio-temporelle du sodium

II.3.6. Le Potassium (mg/l):

Le potassium K+, qui est beaucoup moins abondant que le sodium, se trouve rarement dans l'eau à des concentrations supérieures à 20 mg/l **(Bekkouche, 2016)**. Les moyennes mensuelles calculées varient très peu et vont de 12,23mg/l (S3), 12,24 mg/l (S2), 12,53 mg/l(S1) ; la valeur maximale est atteinte dans la station 4 avec 13,22. Ces résultats corroborent ceux de Belhai et *al*., 2017) avec des teneurs de 16mg/l de potassium. Cependant **(Benamara et *al*., 2017)** ont trouvé des teneurs beaucoup plus importante de l'ordre de 104,78 mg/l.(Fig.46).

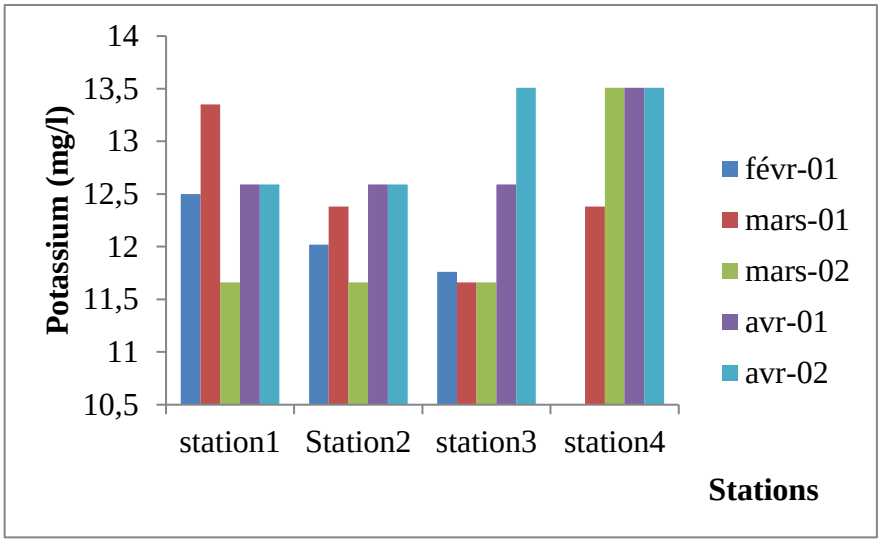


Figure 46: Evaluation spatio-temporelle du Potassium

II.3.7. Les Sulfates (mg/l) :

Les valeurs des sulfates sont élevées au niveau des stations 1 et 3 . Les niveaux de sulfates obtenus varient de manière irrégulière en fonction des mois. En effet la valeur maximale est atteinte au mois de mars au niveau de la station 1 avec une valeur de 289,15 mg/l et la valeur minimale est atteinte au mois de mars au niveau de la station 2 avec une valeur de 46,22 mg/l . Rappelons que l'origine de ces sulfates est naturelle et provient de la solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses. les résultats sont en accord avec ceux effectuées précédemment dans la région de Guelma **(Benamara, 2017 ; Khiter, 2018)** et également, par rapport aux eaux thermales de Mila **(Boulatrous & Bounneche, 2021)**.(Fig.47).

II.3.8. les bicarbonates :

Les valeurs des bicarbonates au niveau des stations (S1, S2, S3) sont proches avec respectivement 1383,48 mg/l, 1342,08mg/l et 1123,04 mg/l. La station (S4) a enregistré des taux de bicarbonates de l'ordre de 748,26mg/l. Ces résultats se rapprochent de ceux de **(Benamara et *al.*, 2017)** avec 601mg/lpour la station 4 . Cependant, elles restent inférieures aux travaux de **(Belhai et *al.*, 2017).**(Fig.48).

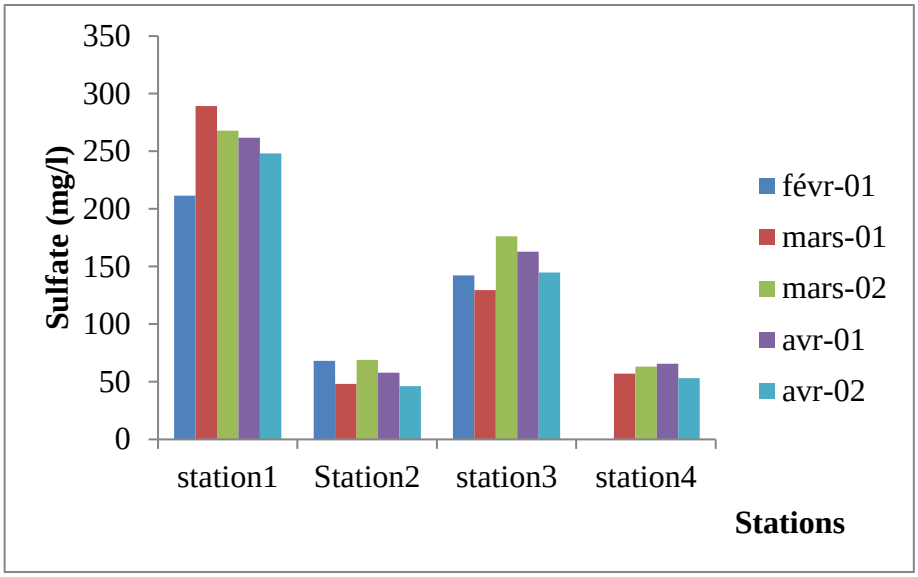


Figure 47: Evaluation spatio-temporelle des sulfates

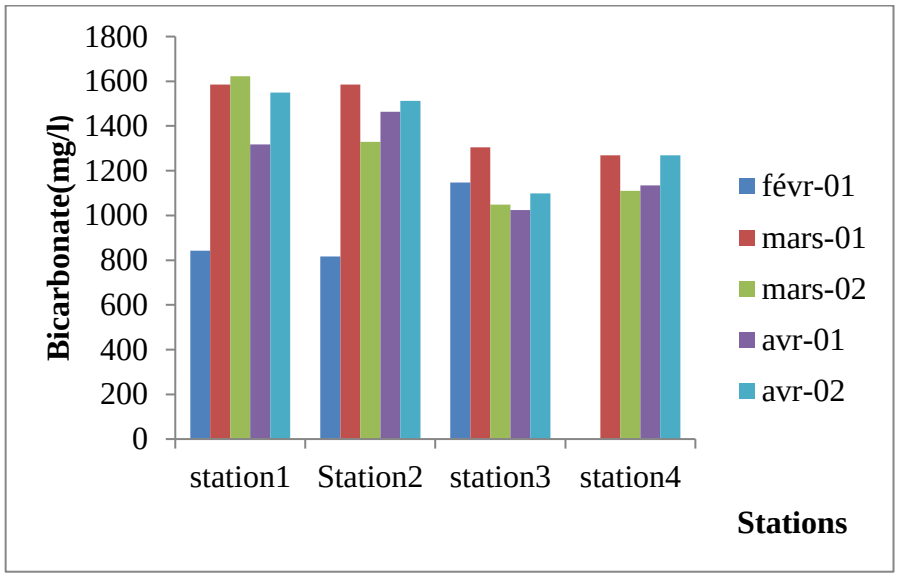


Figure 48: Evaluation spatio-temporelle du Bicarbonate

II.4. Analyse globale des taxons faunistiques :

II.4.1. Check-list des taxa faunistiques :

Tableau 3: Check-list des taxa faunistiques

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	Station1	Station 2	Station 3	Station 4
Arthropodes	Insectes	Trichoptères	Hydropsychidae	-	-	+	-
		Ephéméroptères	Beatidae	-	+	+	+
			Caenidae	-	+	+	
			Ephéméroptère sp	-	-	-	+
		Diptères	Chironomidae	+	+	+	+
			Tabanidae	+	-	+	+
			Simuliidae	+	+	+	-
			Stratiomyidae	+	-	-	+
			Ceratopogonidae	-	+	-	-
			Tipulidae	-	-	+	-
		Coléoptères	Coléoptères (sp)	+	+	+	+
			Dytiscidae	-	+	+	+
			Elmidae	+	+		-
			Carabidae (Terrestre)	+	-	-	-
			Hydrophilidae	-	+	-	-
			Curculionidae (Terrestre)	-	-	+	-
		Odonates	Anisoptères	+	+	-	-
		Hyménoptèrs	Formicidae	+	+	+	-
Crustacés		Isopodes	Sphaeromatidae	+	-	-	
			Gammaridaee				+
Mollusques			Planorbidae	+	+	+	+
			Valvatidae	-	+	-	
			Physidae	-	-	-	+
			Pleuroceridae	+	-	-	
	Arachnides			-	+	-	-
Totale				**12**	**14**	**12**	**10**

(+) Présence (-) Absence

II.4.2. La Richesse spécifique des principaux taxa par station :

La richesse spécifique est de 13 taxons au niveau de la station 2, suivi de 12 familles dans les stations 1 et 3, quant à la station 4 elle ne renferme 10 taxons (Fig. 49).

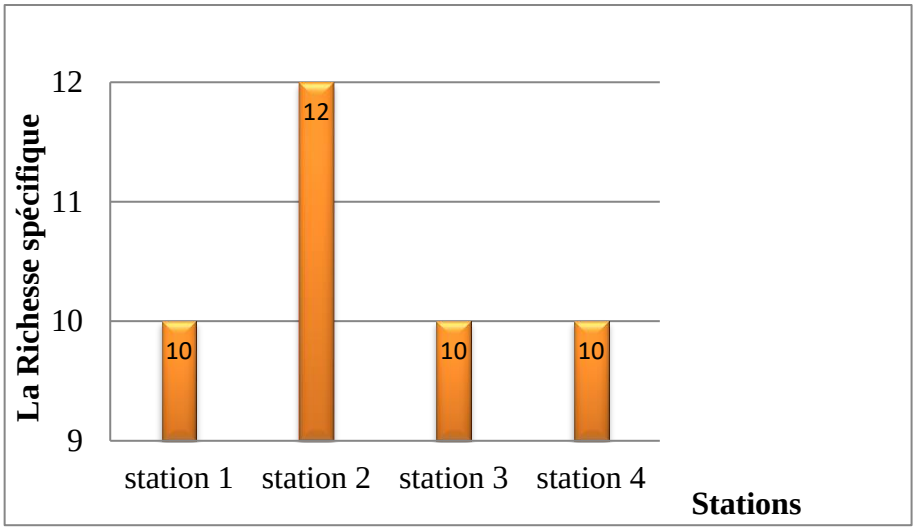


Figure 49: La richesse spécifique des quatre stations.

II.4. 3. Analyse quantitatif globale des taxons faunistiques dans les stations :

La totalité des taxons faunistiques représentent 1964 individus. L'abondance des groupes des taxons fluctue d'une station à l'autre variant de 61 individus dans la station 1 (3%) à 333 individus dans la station 2 ce qui équivaut à (17%). La station 4 renferme 346 individus (18%) alors que la station 3 présente quant à elle l'abondance la plus élevée avec 1224 individus 62% de la faune totale (Fig.50)**.**

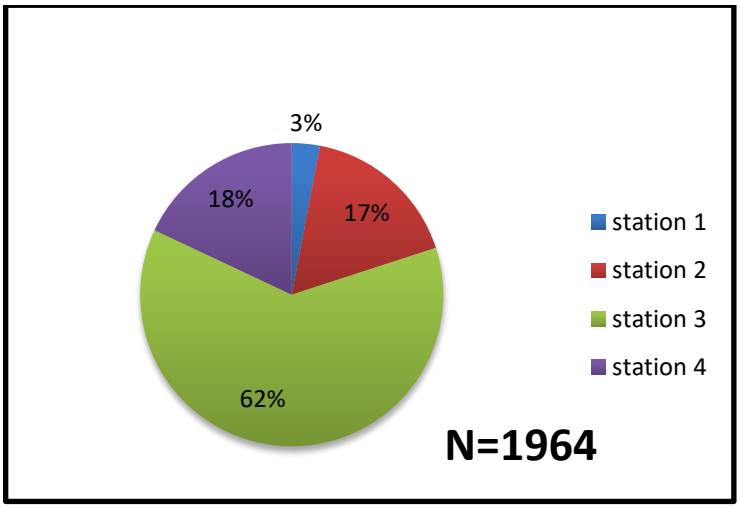


Figure 50: Abondance globale en pourcentage des taxa faunistiques par station

II.4. 4. Analyse quantitative par ordre des Macroinvertébrés benthiques :

D'un point de vue quantitatif, les insectes ont la plus grande prédominance par rapport aux autres groupes (Fig.51) avec une abondance globale calculée comme suit : Ephéméroptères 1460 individus (74.33%), les Diptères 216 individus (10.99%), les Coléoptères 190 individus

(9.67%), les Trichoptères 62 individus (3.15%), les crustacés 16 individus (0.18%), les Mollusques 16 individus 0.18 % , les Odonates 3 individus 0.15% .

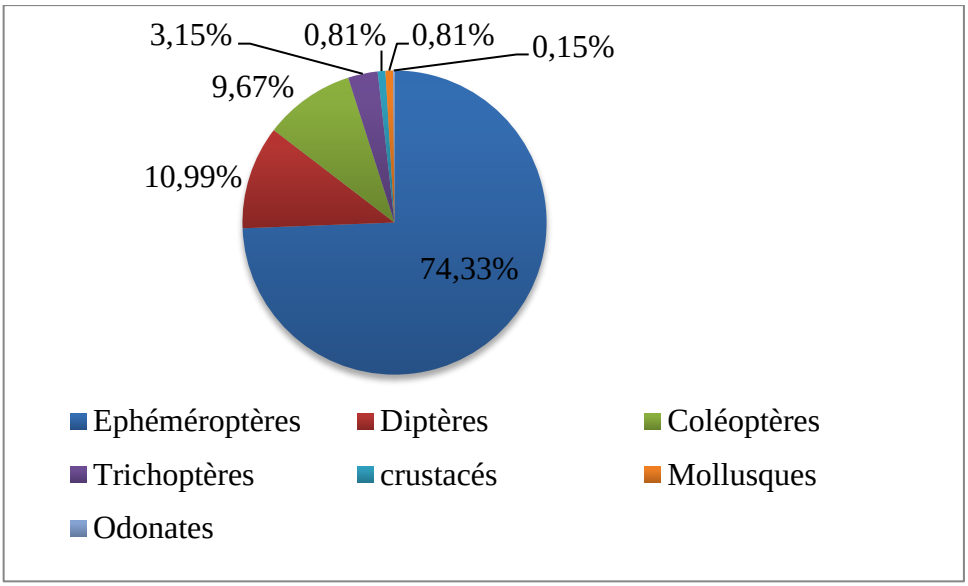


Figure 51: Abondance globale par ordre des principaux taxons des Macro invertébrés

II.4.4.1. Les Ephéméroptères :

Les Ephéméroptères sont l'ordre le plus abondant de tous avec 1460 individus. Les larves d'éphéméroptères sont présentes dans les stations 2, 3 ,4 et affichent des abondances très élevées en particulier dans la station 3 avec 1042 individus (71.36%). la station 4 compte 284 individus (19,45%) tandis que la station 2 compte 134 individus (9.17%). Il est à remarquer que la station 1 ne comporte pas d'Ephéméroptères durant toute la période d'étude (Fig. 52).

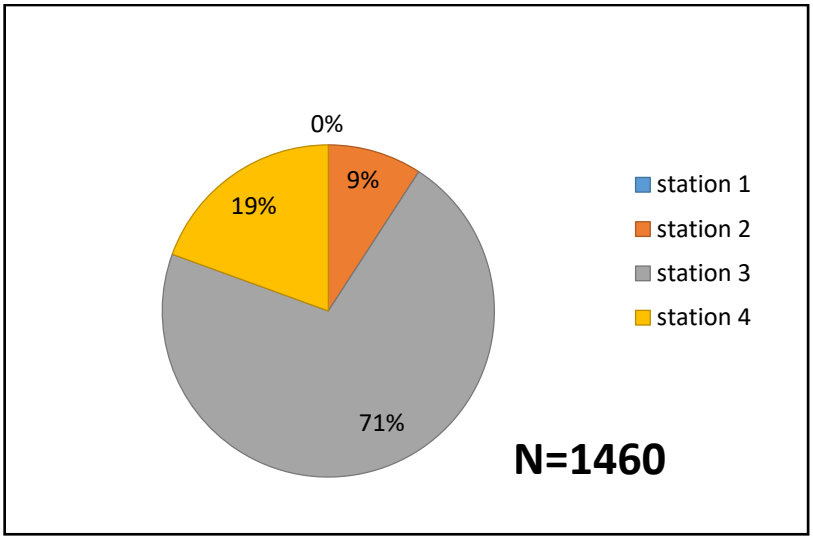


Figure 52: L'Abondance des Ephéméroptères par station

II.4.4.2. Les Diptères :

Les Diptères sont le deuxième ordre le plus abondant avec 216 individus. La station 2 compte le plus grand nombre de Diptères avec 101 individus soit (46.75%). Les autres stations comptent 68 individus soit (31.48%) dans la station 3, 28 individus soit (12,96%) à la station 4 et 19 individus soit (8,79%) à la station 1 (Fig. 53).

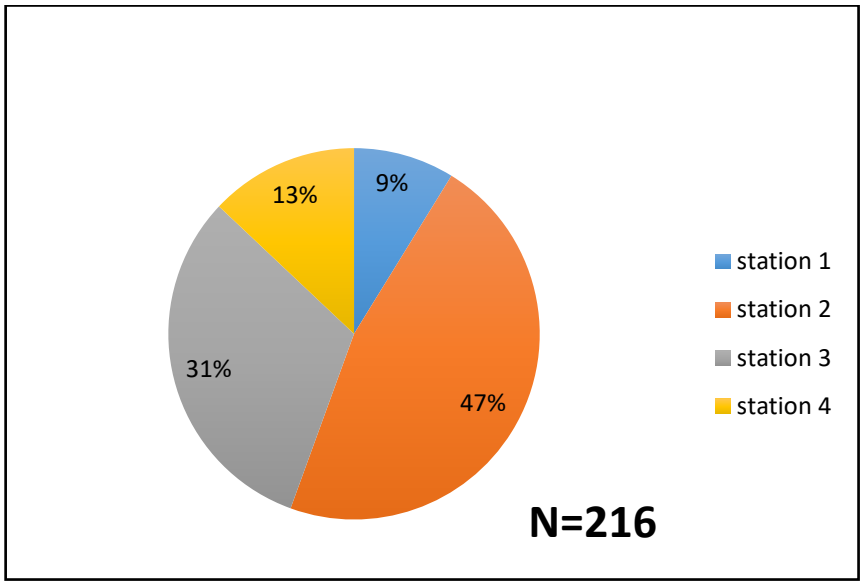


Figure 53: L'Abondance des Diptères par station

II.4.4.3. Les Coléoptères :

La figure 54 indique que les Coléoptères sont les plus abondants au niveau de la station 2 avec 91 individus soit (47.89%) concernant les autres stations, 50 individus (26.31%) au niveau

de la station 3 et 28 individus (14.73%) dans la station 1 et enfin , la station 4 qui compte 21 individus soit (11.05%) par rapport au nombre total des Diptères .

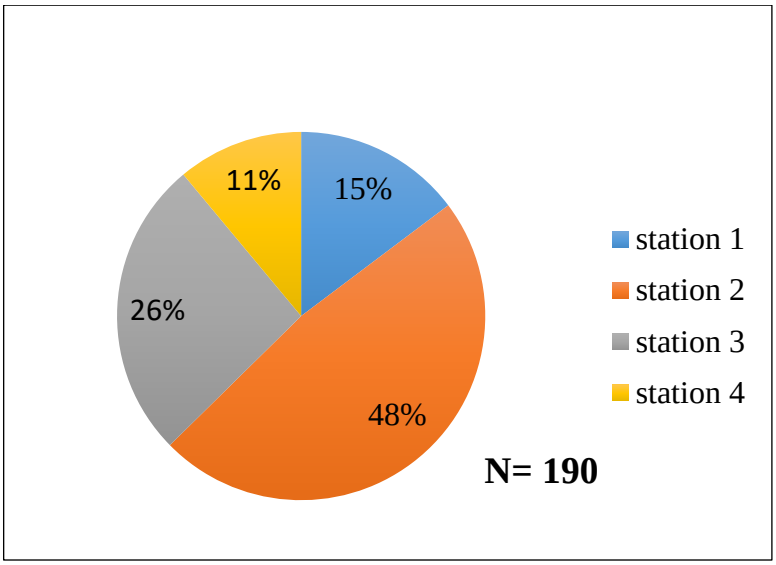


Figure 54: L'Abondance des Coléoptères par station

II.4.4.4.Les Trichoptères :

Les Trichoptères sont peu nombreux est sont représentés avec une abondance totale de 62 individus, prédominant uniquement au niveau de la station 3 avec 62 individus soit (100%). Aucun Trichoptère n'a été échantillonné au niveau des autres stations (Fig. 55).

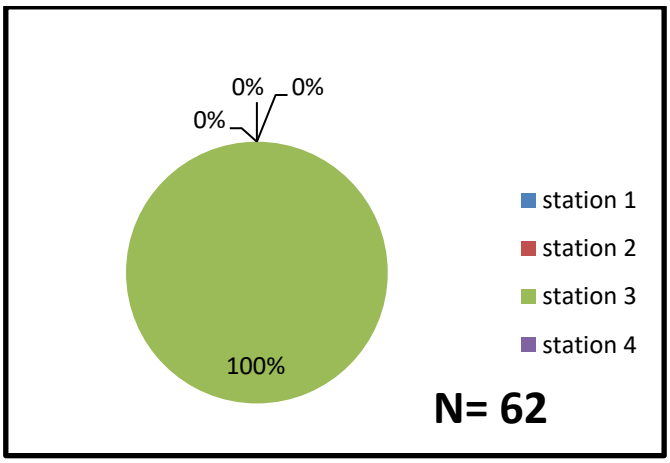


Figure 55: L'Abondance des Trichoptères par station

II.4.4.5. Les Crustacés :

Les Crustacés sont plus abondants au niveau de la station 1 où ils présentent les effectifs les plus élevés 11 individus soit (68.75%). 5 individus seulement soit (31.25%) au niveau de la station 4 Les stations 2 et 3 ne comptent pas de Crustacés (Fig. 56).

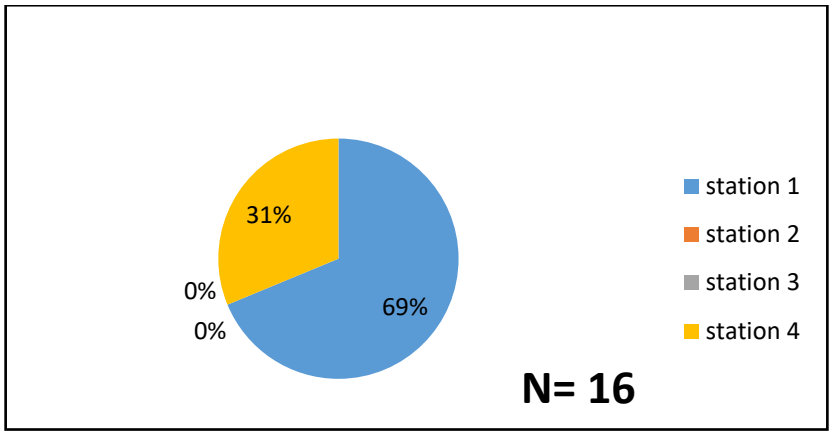


Figure 56: L'Abondance des Crustacés par station

II.4.4.6. Les Mollusques :

Les Mollusques sont les plus représentés au niveau de la station 4 avec 8 individus soit (50%) par rapport à la station 2 qui compte 4 individus soit (25%). Les deux stations 1 et 3 comptent 2 individus (12.5%) (Fig. 57).

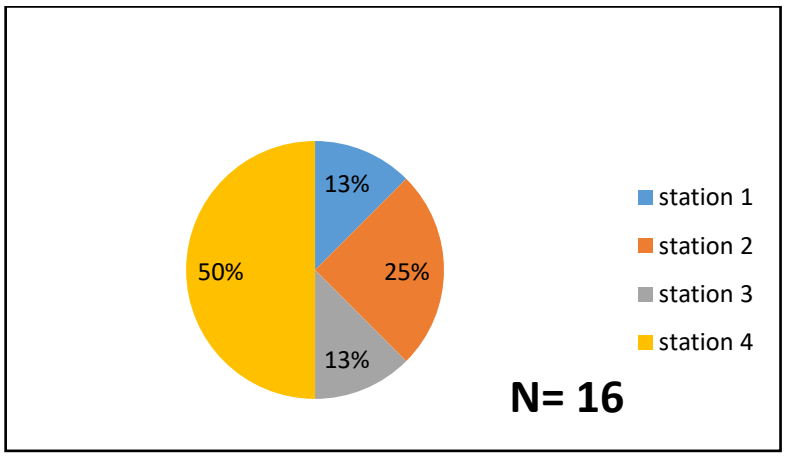


Figure 57: L'Abondance des Mollusques par station

II.4.4.7. Les Odonates :

L'ordre des Odonates est représenté seulement par trois individus soit (100%) qui ont été enregistrés au niveau de la station 3. Aucun Odonate n'a été échantillonné au niveau des stations 1, 2 et 4 (Fig.58).

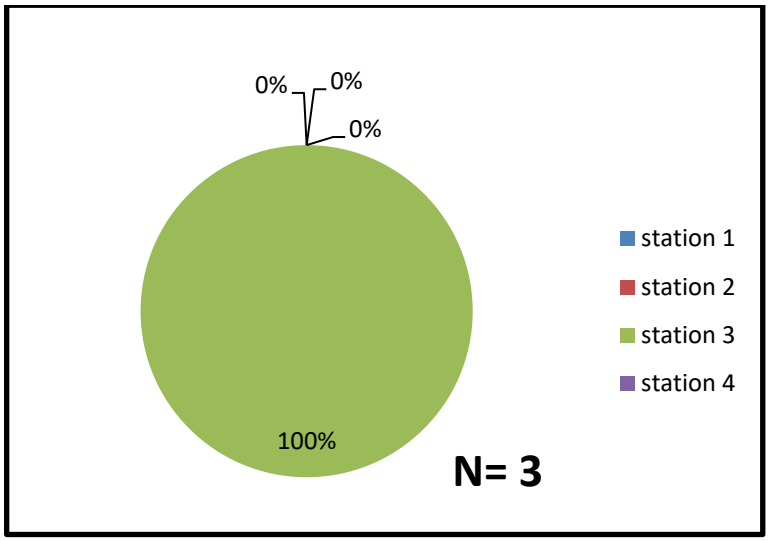


Figure 58: L'Abondance des Odonates par station

II.4. 5. Abondance relative des familles par rapport à l'ordre :

II.4.5.1. Abondance relative des familles d'Ephéméroptères

L'abondance totale des Ephéméroptères est estimée à 1460 individus récoltés durant toute la période d'étude. Cet Ordre est dominé par la famille des Baetidae avec 1388 individus échantillonnés durant les cinq sorties (Fig. 59).

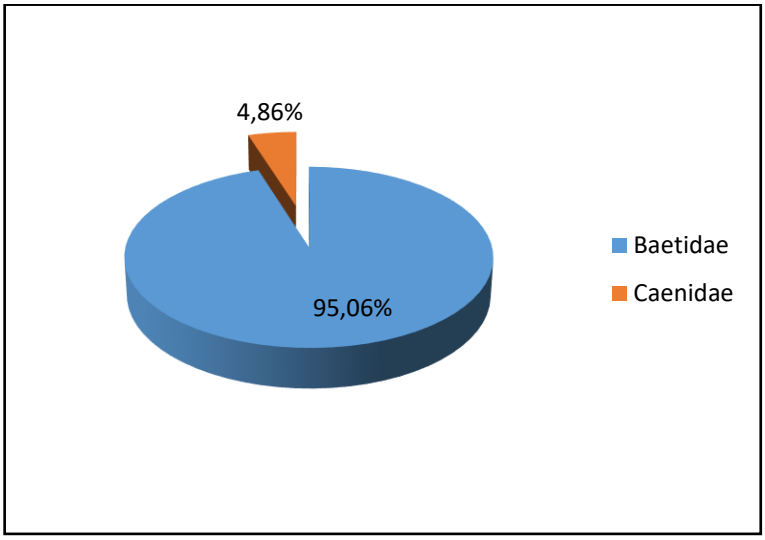


Figure 59: Abondance globale des familles d'Ephéméroptères

II.4.5. 2. Abondance relative des familles de Trichoptères

La collecte des Trichoptères a révélé une abondance totale de 62 individus, dont la majorité est représentée par les Hydropsychidae avec 61 individus durant les cinq sorties (Fig. 60).

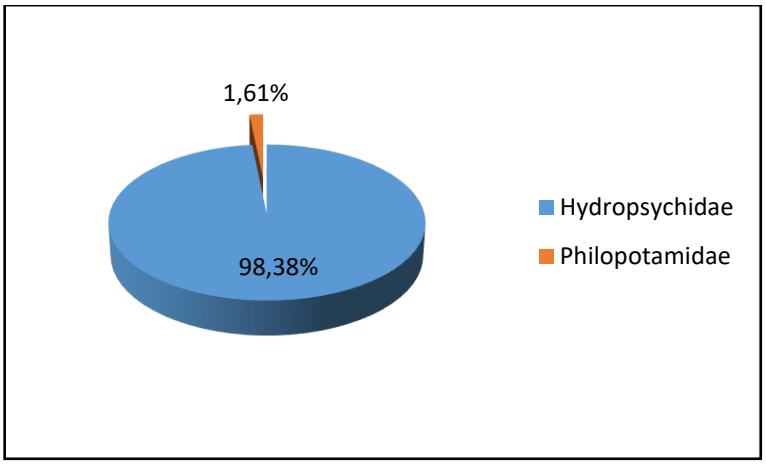


Figure 60: Abondance globale des familles des Trichoptères

II.4.5.3.Abondance relative des familles des Diptères :

Le total de la collecte de Diptères a été estimé à 216 individus, dont la plupart sont des Simuliidae 101 individus soit par contre les Ceratopogonidae ne comptent que 7 individus durant la période d'étude (Fig. 61). Les Simulidae sont connus comme tolérants à la pollution

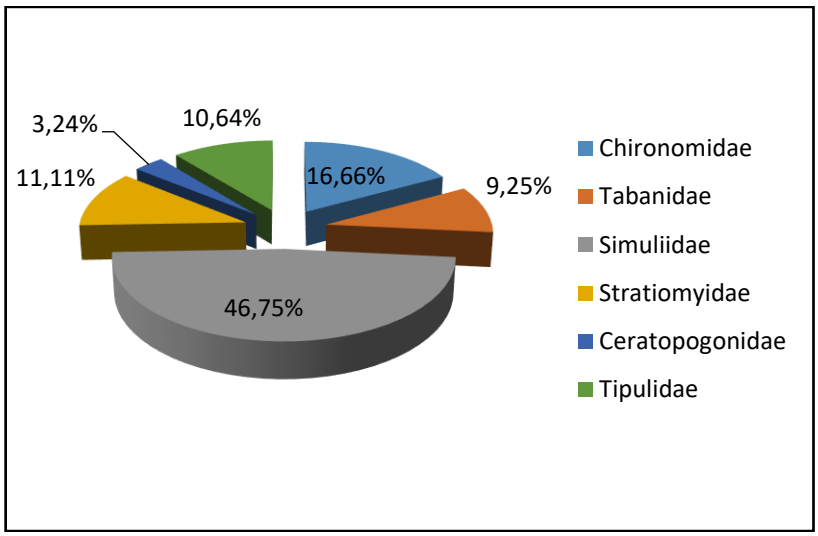


Figure 61: Abondance globale en pourcentage des familles de Diptères

II.4.5.4. Abondance relative des familles de Coléoptères :

Au total, 190 individus ont été collectés, dont la majorité sont des coléoptères Sp, avec 164 individus lors de 5 sorties (Fig. 62).

II.4.5.5. Abondance relative des familles des Crustacés :

Il y a eu un ensemble de 16 individus, principalement des Crustacés Sp avec 11 lors de 5 sorties (Fig. 63).

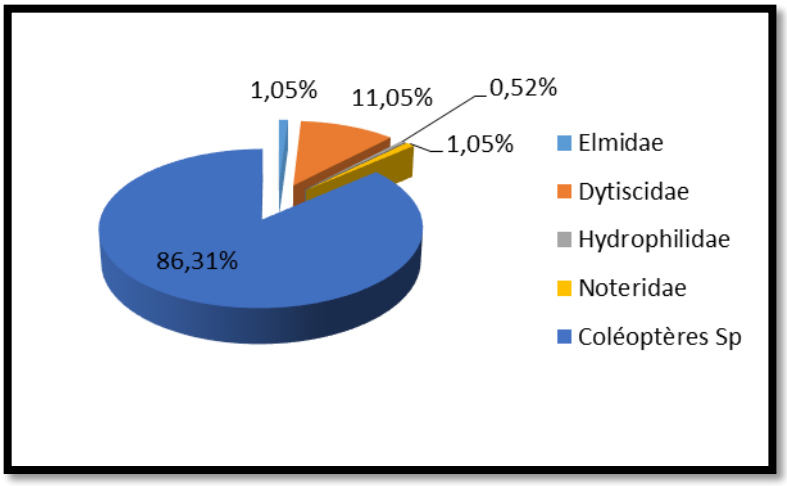


Figure 62: Abondance globale des familles des coléoptères

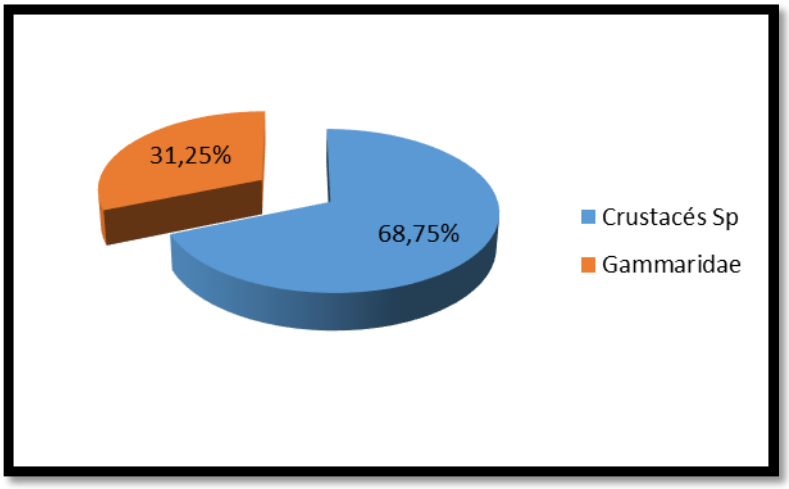


Figure 63: Abondance globale des familles des Crustacés

II.4.5.6. Abondance relative des familles des Mollusques par rapport à l'ordre :

Un total de 16 individus sont présents, principalement des Planorbidae et Physidae, avec 7 individus lors de 5 sorties (Fig. 64).

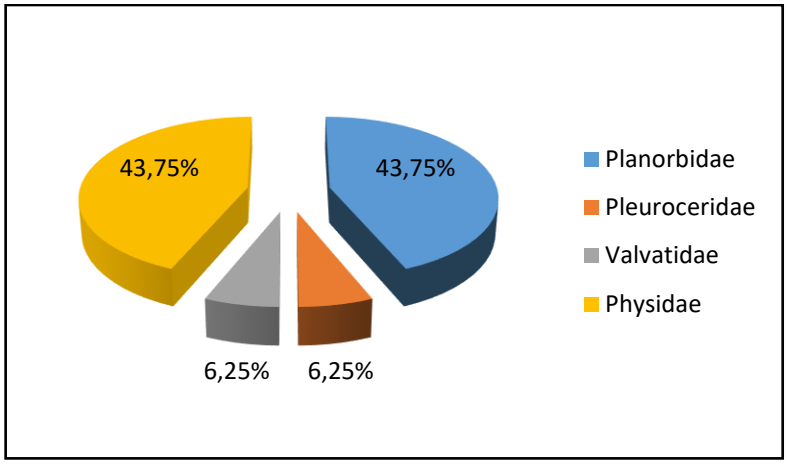


Figure 64: Abondance globale des familles des Mollusques

II.4.5.7.Abondance relative des familles des Odonates :

L'abondance totale des Odonates collectée est de 3 individus au cours des 5 sorties (Fig. 65).

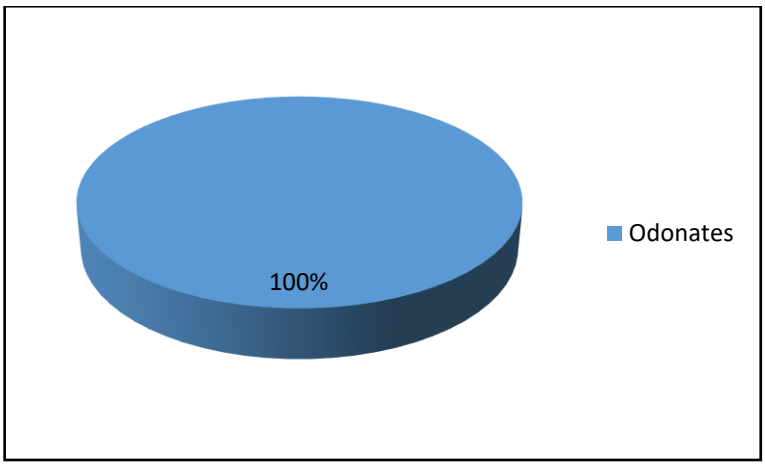


Figure 65: Abondance globale des familles des Odonates

II .5. Analyse des données :

II.5.1.La structure d'un peuplement :

- **L'indice de Shannon et d'équitabilité :**

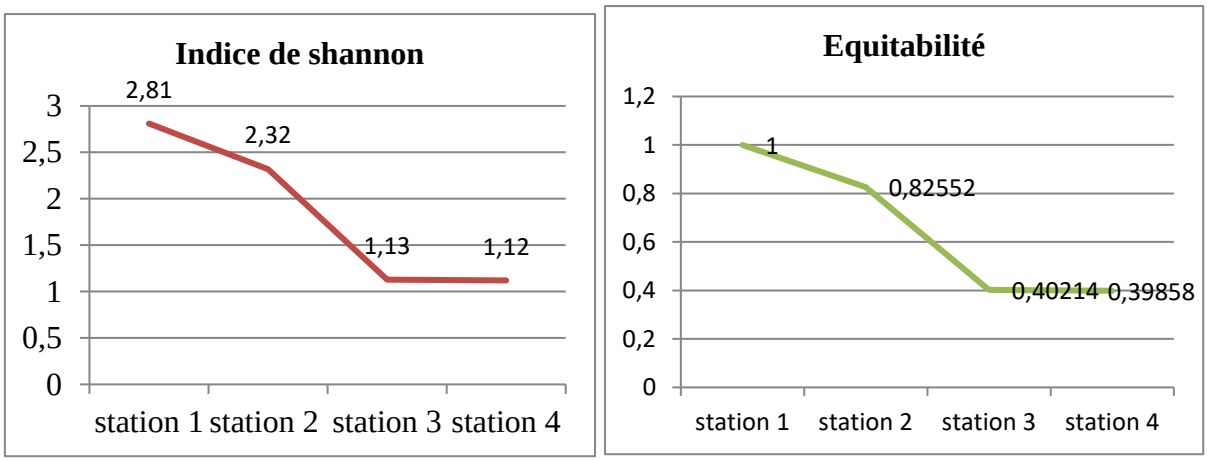
Durant toute la période d'étude nous avons remarqué que c'est la station 1 qui présente la plus haute valeur de l'indice de Shannon avec 2,81 suivie de la station 2 avec 2,32(bits) ce qui témoigne de la diversité des familles de macroinvertébrés de ces deux stations. Les stations 3 et 4 quant à elles enregistrent un faible indice de Shannon avec respectivement 1,13 et 1,12

(bits) ce qui prouve une richesse moindre. L'équitabilité varie au niveau des quatre stations. Les stations 1 et 2 ont une équitabilité proche donc des abondances proches de 1 et 0,82. Les valeurs minimales de l'équitabilté sont notées au niveau des stations 4 et 3 avec des valeurs proches de (0,39) et (0,40) ce qui témoigne d'un déséquilibre des peuplements et la dominance d'une seule (Fig. 66) A) et B).

II.5.2. Organisation d'un peuplement

- **L'indice de Jaccard- Tanimoto:**

- Les stations 2 - 3 ont un indice de 0,46 et ayant en commun 7
- Les stations 3-4 ont un indice de 0,42 et ayant en commun 6
- les station 1-2,, 1-3, 1-4, 2-4 présentent de faibles indices de similarité. En effet les stations ont en commun respectivement 6 ,5, et 5,5 familles. Cela confirme donc une variabilité spécifique dans ces stations d'étude (Tab. 4).



A) **B)**

Figure 66: L'indice de Shannon (A) et d'équitabilité (B)

Tableau 4: Similarités entre les peuplements benthiques des stations d'étude

	station 1	station 2	station 3	station 4
station 1	1			
station 2	0,30	1		
station 3	0,33	0,46	1	
station 4	0,33	0,29	0,42	1

La phénologie globale :

La durée de cette étude, qui s'est étendue sur près de trois mois, de février à avril, a permis de déterminer la phénologie des vingt-cinq (25) espèces recensées. Il est important de noter que le tableau ci-dessous ne reflète que les moments d'observations personnelles. La station peut accueillir l'espèce en dehors de ces dates. (Tab.5).

Tableau 5: Phénologie globale des espèces durant toute la période d'étude

Ordres	Familles	Février	Mars	Avril
Trichoptères	Hydropsychidae			
	Philopotamidae			
Ephéméroptères	Beatidae			
	Caenidae			
Diptères	Chironomidae			
	Tabanidae			
	Simuliidae			
	Stratiomyidae			
	Ceratopogonidae			
	Tipulidae			
Coléoptères	Coléoptères (sp)			
	Dytiscidae			
	Elmidae			
	Noteridae			
	Hydrophilidae			
Odonates	Odonates (Anisoptère)			

Crustacés	Crustacés sp			
	Espèce inconnue			
	Espèce inconnue			
	Gammaridae			
Mollusques	Physidae			
	Planorbidae			
	Valvatidae			
	Pleuroceridae			

❖ La fréquence globale :

Les Coléoptères sp est l'espèce la plus fréquente avec (50%) par rapport aux autres espèces présentes. Toutes les familles (Hydrophilidae, Odonates, Crustacés sp , Gammaridae Physidae , Valvatidae, Pleuroceridae, Ceratopogonidae, Tipulidae , Philopotamidae) sont des espèces accessoires (Fig.68 & Tab. 6)**.**

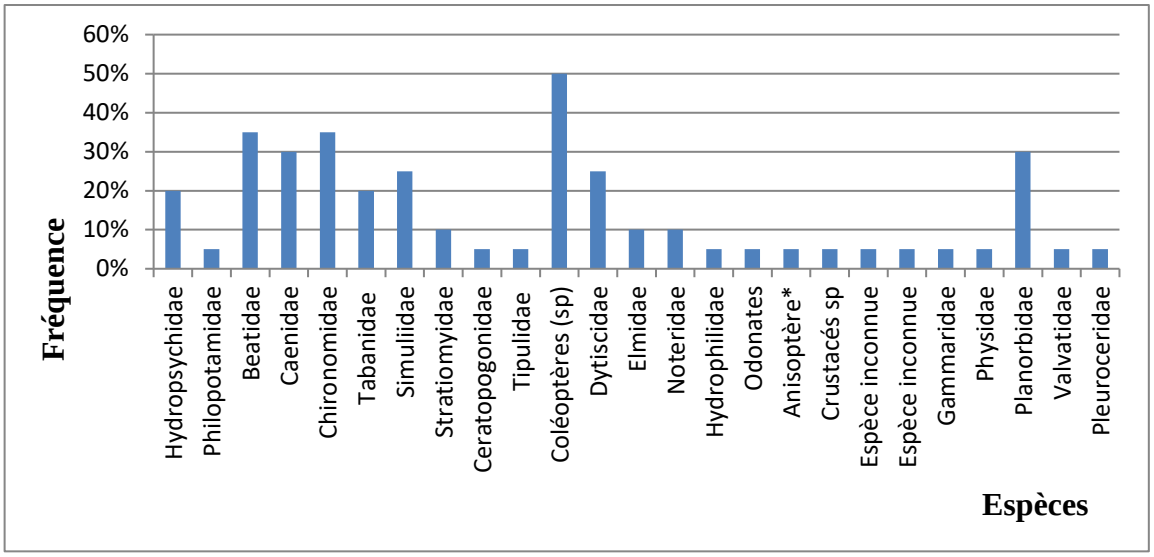


Figure 67: La fréquence globale

Tableau 6: fréquences des Espèces

100%	**Omniprésente**
75-100%	**Espèces constantes**
50-75%	**Espèces fréquentes**
5-25%	**Espèces accessoires**
5<%	**Espèces rares**

Tableau 7: Fréquence globale des espèces

Nombre de sorties	**5**	
Ordres	**Familles**	**Fréquence**
Trichoptères	Hydropsychidae	20%
	Philopotamidae	5%
Ephéméroptères	Beatidae	35%
	Caenidae	30%
Diptères	Chironomidae	35%
	Tabanidae	20%
	Simuliidae	25%
	Stratiomyidae	10%
	Ceratopogonidae	5%
	Tipulidae	5%
Coléoptères	Coléoptères (sp)	50%
	Dytiscidae	25%
	Elmidae	10%
	Noteridae	10%
	Hydrophilidae	5%
Odonates	Odonates	5%
Hétéroptères	Anisoptère*	5%

Crustacés	Crustacés sp	5%
	Espèce inconnue	5%
	Espèce inconnue	5%
	Gammaridae	5%
Mollusques	Physidae	5%
	Planorbidae	30%
	Valvatidae	5%
	Pleuroceridae	5%

Conclusion

Notre étude s'est proposée comme objectifs d'évaluer la qualité de l'eau d'une source thermale ainsi que d'inventorier la faune benthique des macro invertébrés de quatre stations situées dans la région de Hammam Debagh connue pour ses sources d'eau thermales. Pour cela, 5 sorties ont été effectuées à quinze jours d'intervalle et la période d'étude s'est étalée du mois de Février au mois d'Avril.

Des paramètres ont été mesurés in situ en particulier la température de l'eau, la largeur, la profondeur et la vitesse de l'eau. D'autres, au laboratoire pédagogique de l'université 8mai 1945 à savoir la conductivité, la salinité, les TDS, l'oxygène dissous et le pH. Par ailleurs, nous avons également effectué des analyses volumétrique (MES, DBO5, le calcium, les chlorures et le Titre hydrotimétrique, le magnésium) et spectrophotométrique (Les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les sulphates, le sodium, le potassium ainsi que les bicarbonates). Les résultats dans l'ensemble montrent une qualité de l'eau moyennement bonne : En effet la DBO5 varie de 1 à 12, par contre la mesure des nitrites montrent une qualité des eaux médiocres en (S1, S2 et S4) et passable pour (S3) station située au bas de la cascade. L'ammonium également et indicateur d'eau de qualité passable en (S1, S3, S4) et de de bonne qualité pour (S2). Il est à noter que les hautes températures de ces eaux empêchent la dégradation complète de la matière organique à cause du manque d'oxygène. Les chlorures, la salinité, la conductivité, le sodium et les TDS, les sulfates, le potassium sont des paramètres bien corrélés grâce à la dissolution des roches évaporites qui sont des roches sédimentaires. Les teneurs en calcium sont élevées par rapport aux teneurs du magnésium avec respectivement (174,4 mg/l à 215,2mg/l) et (52,96-74,52) les eaux des 5 stations sont plus calciques que magnésium.

Par ailleurs, L'échantillonnage mensuel des macro invertébrés a révélé l'existence d'une faune aquatique constituée de 1964 individus où les insectes sont dominants et sont par ordre décroissant d'abondance: Ephéméroptères 1460 individus , les Diptères 216 individus , les Coléoptères 190 individus , Trichoptères 62 individus , les crustacés 16 individus , les Mollusques 16 individus , les Odonates 3 individus l'ordre des Hétéroptères n'est représenté par aucun specimen .

Parmi les insectes, les Ephéméroptères (Les Beatidae) sont nettement dominants. Il est connu que ces familles sont tolérantes à la pollution puisqu'elles forment un groupe indicateur avec un indice de 2 (AFNOR, 1992) . La diversité est moyenne et globalement, il existe une faible similarité entre les stations dûe d'une part à la qualité de l'eau et d'autre part aux actions anthropiques exercées au niveau de ces stations.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- ABH-CSM (Agence des Bassins Hydrographiques – COnstantinois- Seybouse – Mellegue) (1999).— Cahiers de l'Agence (Ministère algérien de l'/quipement et de l'Aménagement du Territoire).
- Abrekane M., Hambli S et Tebbikh O. (2011).Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet hadj Tahar (Skikda). Université 8 Mai 1945 Guelma, 43- 62 -79- 84 p.
- Asgher M., Bhatti R., Ashraf M. A, Bilal M.J. 2018). "Tubidity and its removal from water by conventional and emerging adsorbent *"Environmental science and pollution research": 3049-3063* .

B

- Baaloudj A., S. Ouarab A. Kerfouf M. Bouriach, Ali Hussein A. C. Hammana, and H. N'diaye Djeneba. (2020). Use of macro invertebrates to assess the quality of Seybouse River (North-East of Algeria). Ukrainian Journal of Ecology 10 (4): 60–66.
- Belghiti M L., Chahlaoui A., Bengoumi D., EL Moustaine R.(2013) .Etude de la qualite physico -chimique et bacteriologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de meknès (maroc) Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 21-36.
- Belhai, M., Fujimitsu, Y., Nishijima, J., & Bersi, M. (2017). Hydrochemistry and gas geochemistry of the northeastern Algerian geothermal waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 10:8 .1-15. DOI 10.1007/s12517-016-2790-2.
- Bekkouche Benhamza .(2009). Caractéristiques des sources thermales de la région D'Azzaba, thèse de magister, université Badji Mokhtar, Annaba,p 59,58,57,56,46.
- Benamara A. (2017). Les eaux thermo-minérales et développement durable : cas de Hammam Meskoutine et Hammam Ouled Ali (Nord-Est Algérien). Thèse de Doctorat . Université Badji Mokhtar -Annaba, 144p.
- Benamara, A., Kherici-Bousnoubra, H., & Bouabdallah, F. (2017). Thermo-mineral waters of Hammam Meskoutine (north-east Algeria): Composition and origin of mineralization. Journal of water and land development, 34(1), 47.

- Benetti C. J., Michat M. C. et Archangelsky M. (2018). Chapter 15 - Order Coleoptera: Introduction. In N. Hamada, J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition): Academic Press, 497-517 p.
- Benhamza M.(2008). Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), Nord Est Algérie. Conséquences de L'exploitation des gisements mercuriels sur l'environnement. Thèse de doctorat d'état de l'université d'Annaba, Algérie. p, 47.
- Blonde J. (1985). **Ramade, F.**—Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale. McGraw-Hill, Paris, 1984. Revue d'Écologie (La Terre et La Vie), 40(2), 281-282.
- Bouaziz S., Jedoui Y., Barrier É., et Angelier J. (2003).Néotectonique affectant les dépôts marins tyrrhéniens du littoral sud-est tunisien : implications pour les variations du niveau marin. Comptes Rendus Geoscience, 335(2), 247-254.
- Bouchenouk I. (2013). Processus d'enrichissement en nitrates des eaux souterraines dans les zones semi-arides, cas de la plaine de boukadir (Nord-ouest Algérien), Magister, Hydrogeologie, Université Oran.
- Boulatrous B., Bounneche A., & Debieche, T. H. E. (2021). Caractérisation physico-chimique et origine des eaux thermo-minérales de la région de Mila (NE Algérien) (Doctoral dissertation, Université de jijel).

C

- Camargo J. A., Alonso A., De la Puente, M. (2004). Multimetric assessment of nutrient enrichment in impounded rivers based on benthic macroinvertebrates. *Environmental Monitoring*, 96:233-249.
- Chaib N. (2002). Contribution à l'étude écologique et hydrochimique de quelques hydrosystèmes de la Numidie (Région d'El Kala et de Guerbès-Sanhadja). Mémoire de Magister. Université Badji Mokhtar Annaba.
- Chang H. (2005). Spatial and Temporal Variation of Water Quality in the Han River and Its Tributaries, Seoul, Korea, 1993–2002. Water Air SoilPollut., 161, 267–284.
- Clausnitzer, V., Dijkstra, K. D. B., Koch, R., Boudot, J. P., Darwall, W. R., Kipping, J., ... & Suhling, F. (2012). Focus on African freshwaters: hotspots of dragonfly diversity and conservation concern. Frontiers in Ecology and the Environment, 10(3), 129-134.

D

- Detay M. (1993).Le Forage D'eau ; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. Edition Masson. 379p.

F

- Faessel B., Monnier A. (1985). Les Trichoptères, Données biologiques, éthologiques et écologiques ,Clés de détermination larvaire des familles et des principaux genres de France. *Bull. Fr. Pêche Piscic*. (1985) 2 9 9 : 1-41. Article available at http://www.kmae-journal.org http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1985001 Consulté le 30 mai 2024.
- Feio M. J., Hughes R. M., Callisto M., Nichols S. J., Odume O. N., Quintella B. R., ... & Yates A. G. (2021). The biological assessment and rehabilitation of the world's rivers: An overview. Water, 13(3), 371.
- Fent K. (2010).Occurrence, fate and effects of pharmaceutical residues in the aquatic environment, Review of environmental contamination and toxicology 1-53.
- Ferreira R. (2015) .Chloride in drinking water: source, concentration and chloride/ sulphate ration influence on taste perception, water research: 10565 -10571.
- Fiasson J. (1985). Roger Dajoz.—Précis d'Ecologie. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 54(6), 52-52.
- Froutier S., Pichod-viale D. (1991). Écosystème, fonctionnement, évolution. Edition Masson. Paris. 392 p.

G

- Ghachi A. (1986). Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin de la Seybouse. OPU Alger.

H

- Haouchine S. (2011). Recherches sur la faunistique et l'écologie des Macro invertébrés des cours d'eau de Kabylie. Mémoire de Magistère. Université de Tizi Ouzou .157p.
- Hesse A.S., Imbert E., Karabaghli C., Mangot S., et Saadat S. (2014) : Les macro-invertébrés benthiques bioindicateurs de la qualité de nos rivières. 2- 3 pp.
- Huguette T. (2006). Adoption du ruisseau plein champ par les étudiants de Sciences de la nature. Document du Département de Biologie et révisé par le Réseau des cégeps riverains complices en environnement de l'organisme Union Saint-Laurent Grands Lacs (USGL). Paris.

J

- James H.,Thorp D.(2011). Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, volume I. Fourth edition . Academic Press, London.
- Jourdan J., O'Hara R. B., Bottarin R., Huttunen K. L., Kuemmerlen M., Monteith, D., Muotka T., Ozolin S, D., Paavola R., Pilotto F., Springe G., Skuja A., Sundermann A., Tonkin J. D. et Haase P. (2018). Effects of changing climate on European stream

invertebrate communities: a longterm data analysis. Science of the Total Environment 621, 588–599.

K

- Khiter F. (2018). Caractérisation hydrochimique de quelques sources thermales de la wilaya de Guelma nord-est ALGERIEN.Mémoire de fin d'étude . Université 8mai 1945 Guelma. 90p .
- Krinsky W. L. (2019). Chapter 9 - Beetles (Coleoptera). In G. R. Mullen & L. A. Durden (Eds.), Medical and Veterinary Entomology (Third Edition): Academic Press, 129-143 p.
- Kumar R. (2007).Impact of agricultural and domestic pollution on the water quality of river yamuna ,*Environmental monitoring and assessment* :431-439.

L

- Laubier L. (1989) : Ecosystèmes benthiques profonds et chimiosynthèse bactérienne : sources hydrothermales et suintements froids. In: Denis. M. (ed.) Océanologie, actualités et prospective. Centre d'Océanologie de Marseille Publications, Marseille, p. 61-96.

M

- Mahdjoub H. (2017). Cycle de vie et écologie de Coenagrion mercuriale dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est de l'Algérie). Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar -Annaba .75p.
- Mary H, W. (2018). Nitrate and drinking water from wells an update on the epidemiologia evidence, current *environmental health reports* 1-11.
- Moisan J.(2006). Guide d'identification des principales macros invertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN-13 : 978-2-550-48518-6 (PDF), ISBN10 : 2550-48518-1 (PDF).
- Moisan J., Gagnon E, Laporte Y., Baillargeon J .P, Pelletier L.Piedboeuf,. Ed Hendrycks., Johanne R., Cloutier L.,Deschamps D., Génier F et André M. (2008). Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-53591-1 (version imprimée), 86 p.

- Moisan J. (2008). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010 : surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds : Développement durable, environnement et parcs Québec, 82 p.
- Moison M., Roux F., Quadrado M., Duval R., Ekovich M., Le DH Verzaux M , Budar F. (2010). Cytoplasmic phylogeny and evidence of cyto-nuclear co-adaptation in Arabidopsis thaliana. The Plant Journal, 63(5), 728-738.
- Moisan J. (2010).Guide d'identification des principaux macro invertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds". Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. ISBN-13 : 978-2- 55048518-6 (PDF), ISBN-10 : 2-550-48518-1 (PDF).

O

- O'Oconnor G, A. (2006).Agricultural pollution and water quality in the Northern everglades, Journal of environmental quality: 837-844.

R

- Rodier J. (1984). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 7eme édition, Dunod, pp: 1365.
- Rodier J. (1996). Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires. 8ème édition, Paris, Dunod, 1130 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N. et Brunet R. (2009). L'analyse de l'eau.9éme édition : Dunod. Paris. France, 1526 p.
- Rodier J, Bernard L, Nicole M, Coll. (2009). L'analyse de l'eau, ED : DUNOD , Paris, France.1579p.

S

- Savary P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition: Territorial Voiron, 261 .
- Sharma D.D. (2016). Nitrate in ground and drinking water; A Reviw, Environmental science and pollution research: 10485-10490.
- Soualmia I. et Kebebsa H. (2013). L'étude des macros invertébrées d'oued Seybouse. Mémoire de Master. Université de Guelma, 70p .
- SWIM-SM.2013. Atelier de concertation:Coût de la dégradation des ressources en eaux du bassin versant de la Seybouse . www.swim sm.eu/index.php?...755%3Acowd**alger**iafr2. Consulté le 20/5/2024.

T

- Tallha M. (2020). Sulfites in drinking water source, occurrence and health effects. *Environmental research and public health* 2240-2249.
- Touati L. (2008). Distribution spatio-temporelle des Genres Daphnia et Simocephalus dans les mares temporaires de la Numidie. Mémoire de Magister. Université 08 Mai Guelma.
- Tachet H., Rochoux P., Bournaud M., et Usseglol P. (2000). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS, Paris. 588 p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M et Usseglio-Polatera P. (2006). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS 2e Editions, Paris.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M et Ussegloi P. (2010). « Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie». CNRS Edition. Paris.607P.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-P. (2012).Invertébrés d'eau douce Systématique, biologie, écologie. Editions CNRS, Paris. 707p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., et Usseglio-Polatera P. (2013). Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie (Vol. 15). Paris : CNRS éditions.
- Touzin D.(2008). Utilisation des macroinvertébrés bentiques pour évaluer la dégradation de la qualité de l´eau des rivières au Québec. Université Laval. Canada.

U

- URBACO 2012. Plan d'aménagement du territoire de la wilaya de Guelma. Mission1: Evaluation territorial et diagnostic. Tome1: Géographie du territoire et développement humain.125p.

W

- *Woodcock T.S., Huryn A.D.* (*2007*).The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. Freshwater biology, 52 :177-196.

X

- Xu L. Yang J. Zhang Q, Li R & Gao J, Zhang X. Liu S. Duan X & Guo H. (2019).The impact of agricultural land use on stream PH and its controlling factors, *Environmental pollution* : 675-686 .

Sites internet :

(1) : https://guelma.mta.gov.dz/fr/zone-de-hammam-debagh/ consulté le 2 Juin 2024.

Webographie :

(1) : https://gifex.com/fr/wp-content/uploads/29082/Carte-des-dairas-de-la-wilaya-de-Guelma.png.

(2) https://gifex.com/fr/wp-content/uploads/29079/Carte-des-communes-de-la-wilaya-de-Guelma.png Consulté le 30mai 2024.

(3) : http://pmnvs.canalblog.com/pages/les-trichopteres/26447040.html consulté le 30mai 2024.

(4) Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques.https://doris.ffessm.fr/Especes/Gammarus-spp.-eau-douce-Gammare-1645. Consulté le 30 mai 2024

Résumé

Résumé

La présente étude a porté sur le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau d'une source thermale située à Hammam Debagh ainsi que l'inventaire des Macroinvertébrés. Pour cela, quatre stations ont été échantillonnées de février à avril 2024 à raison de quinze jours d'intervalle.

L'étude physico-chimique a montré que globalement il n'y avait pas de pollution, cependant, pour les nitrites les eaux des stations étaient de qualité passable à médiocre. Pour l'ammonium la qualité était de bonne à passable. Ce fait s'explique d'une part par les faibles teneurs en oxygène ce qui empêche la dégradation de la matière organique et d'autre part à l'anthropisation.

Concernant le volet biotique, 1964 individus de Macro invertébrés ont été collectés. Les insectes sont l'ordre le plus abondant : Ephéméroptères, Diptères, Coléoptères, Trichoptères, Crustacés, Mollusques, Odonates et Hétéroptères. Les indicateurs écologiques tels que la richesse spécifique, l'indice de diversité de Shannon et la similarité de Jaccard ont montré que les stations étudiées possèdent une diversité moyenne très hétéroclite d'une station à l'autre ce qui s'explique d'une part par le gradient de température qui règne dans chaque station et également d'autres paramètres physico-chimiques.

- **Mots clés:** macroinvertébrés benthiques , source thermal , qualité physico-chimique , Température , Guelma .

Abstract :

The present study focused on the monitoring of physicochemical quality of water from a thermal spring located in Hammam Debagh as well as the inventory of Macroinvertebrates. four sites were sampled from February to April 2024 at fifteen day intervals.

The physicochemical study showed that overall there was no pollution, however, for nitrites the water's stations was classified between fair to poor quality. For ammonium, the quality was good to fair. This fact can be explained by the low oxygen contents, which prevents the degradation of organic matter and on the other hand by anthropization.

Concerning the biotic aspect, 1964 individuals of Macro invertebrates were collected. Insects are the most abundant order: Ephemeroptera, Diptera, Coleoptera, Trichoptera, Crustaceans, Molluscs, Odonata and Heteroptera. Ecological indicators such as species richness, Shannon diversity index and Jaccard similarity showed that the sites surveyed have a very heterogeneous average diversity from one station to another, which can be explained by the temperature gradient that prevails in each site and other physico-chemical parameters.

Keywords: benthic macroinvertebrates, thermal spring, physicochemical quality, Temperature, Guelma.

ملخص:

ركزت الدراسة الحالية على مراقبة الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه من نبع حراري يقع في حمام الدباغ وكذلك مخزون اللافقاريات الكبيرة. ولهذا الغرض، تم أخذ عينات من أربع محطات من فبراير إلى أبريل 2024 على فترات خمسة عشر يومًا.

بشكل عام، أظهرت الدراسة الفيزيائية والكيميائية أنه لم يكن هناك أي تلوث بشكل عام. بالنسبة للنتريت، كانت نوعية المياه في المحطات تتراوح ما بين متوسطة إلى سيئة. بالنسبة للأمونيوم كانت الجودة جيدة إلى حد معقول. يتم تفسير هذه الحقيقة من ناحية بانخفاض محتوى الأكسجين الذي يمنع تحلل المادة العضوية ومن ناحية أخرى عن طريق تدخل الإنسان.

أما من الناحية الحيوية فقد تم جمع 1964 فرداً من اللافقاريات الكبيرة. تعد الحشرات الأكثر وفرة: ثنائية الأجنحة، ذبابات مايو، الخنافس، ذوات الأجنحة المشعرة، القشريات، الرخويات، اليعسوبيات ونصفية الأجنحة، أظهرت المؤشرات البيئية مثل ثراء الأنواع ومؤشر تنوع شانون وتشابه جاكارد أن المحطات المدروسة تتمتع بتنوع متوسط غير متجانس من محطة إلى أخرى، هذا يمكن تفسيره من ناحية التدرج الحراري السائد في كل محطة وكذلك العوامل الفيزيوكيميائية.

الكلمات المفتاحية: اللافقاريات القاعية الكبيرة، الربيع الحراري، الجودة الفيزيائية والكيميائية، درجة الحرارة، قالمة.

ANNEXE 1

Calendrier des sorties

SORTIE	DATE
Première	15/02/2024
Deuxième	06/03/2024
Troisième	21/03/2024
Quatrième	07/04/2024
Cinquième	18/04/2024

ANNEXE 2

- Solution étalon chlorure de sodium :

0,634 g de chlorure de sodium Na Cl de qualité analytique a été pesé, puis dissout avec l'eau distillé dans une fiole jaugée de 500 ml.

- Solution étalon chlorure de potassium :

Nous avons opéré de la même façon qui pour le sodium en utilisant 0,477 g de chlorure de potassium KCl au lieu de Na Cl.

Tableau : Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium

Numéro des fioles	**T**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Solution étalon de Na+ à 500mg/l	**0**	**2**	**4**	**6**	**8**	**12**
Eau distillée (ml) q.s.p	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Correspondance en (mg/l) de Na+	**0**	**10**	**20**	**30**	**40**	**60**

Tableau: Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium

Numéro des fioles	**T**	**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Solution étalon de k+ à 500mg/L	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Eau distillée (mL) q.s.p	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Correspondance en (mg/l) de K+	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**

ANNEXE 3

Détermination des nitrates (NO3-) :

Réactifs :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (à renouveler toutes les 24 h).

- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 30 %.

- Acide sulfurique (H_2SO4) concentré.

- Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium, préparé comme suit: On pèse 400 g de NaOH et 60 g de tartrate double de sodium et de potassium pour 1 L d'eau distillée et on Laisse refroidir avant de compléter 1 L. La solution est conservée dans un flacon de polyéthylène.

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/L. On pèse 0,722 g de KNO3 pour 1 L d'eau distillée. on ajoute 1 ml de chloroforme.

- Solution fille d'azote nitrique à 0,005 mg/L. On prélève 1ml de la solution mère qu'on amène à 50 ml d'eau distillée.

Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Tableau : Préparation des solutions étalons pour NO3-

Numéro de standard	**T**	**I**	**II**	**III**	**IV**
Solution fille d'azote nitrique à (0,005 mg/l (ml)	**0**	**1**	**2**	**5**	**10**
eau distillée (ml)	**10**	**9**	**8**	**5**	**0**
Solution de salicylate de Na (ml)	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	**0**	**0,5**	**1**	**2,5**	**5**

ANNEXE 4

Réactifs :

Solution mère de sulfates de sodium à 1000 mg/L: On pèse 1,47 g de Na2So4 pour 1L d'eau distillée.

Solution stabilisante: 60 ml d'acide chlorhydrique - 200 ml d'éthanol - 150 g du chlorure de sodium - Eau distillée q.s.p 1000 ml.

Solution de chlorure de baryum: 150 g du chlorure de baryum - 5 ml d'acide chlorhydrique - Eau distillée q.s.p 1000 ml.

Matériel :

L'instrument de mesure utilisé est un spectrophotomètre de marque PhotoLab Spektral-WTW.

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Tableau : Solutions étalons pour SO4-2

Numéro des fioles	**T**	**I**	**II**	**III**	**IV**
Solution mère à 1g/l	**0**	**1**	**2**	**3**	**5**
Q.S.P(ml)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**
Solution stabilisante (ml)	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
Solution de chlorure de baryum	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**
Agitation pendant 1 minute					
Correspondance en mg/l de SO4-2	**0**	**10**	**20**	**30**	**50**

L'enregistrement de la gamme dans le spectrophotomètre est à la longueur d'onde = 420 nm.

ANNEXE 5

Classification des eaux selon la température.(DENHOVE, 1990).

Température(°C)	Types d'eau
T <20	**Source minérale**
20<T<30	**Mésothermale**
30<T<50	**Thermale**
T>50	**Hyperthermale**