

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية 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 : Sciences Biologiques
Spécialité/ Option : Biodiversité et Environnement
Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

THEME

LES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES BIOINDICATEURS DE LA QUALITE ECOLOGIQUE DES MILIEUX LOTIQUES : CAS DE LA SEYBOUSE NORD- EST D'ALGERIE

Présenté par :

Belmami Intissar
Harfi Douaa

Devant le jury composé de :

Président : Pr. NEDJAH Riad (Pr).....Université 8 Mai 1945 Guelma
Examineur : Dr. YALLES Amina (MCA)..... Université 8 Mai 1945 Guelma
Encadreur : Dr. BOUCHELAGHEM EL Hadi (MCB).....Université 8 Mai 1945 Guelma

Juin 2023

REMERCIEMENTS

Après avoir rendu grâce à DIEU,

Nous adressons nos remerciements les plus chaleureux à :

Nos parents, pour tout le soutien et l'encouragement qu'ils nous avaient donné et toutes nos familles pour leur patience durant toutes ces années.

Nous tenons avant tout à témoigner notre plus vive reconnaissance à Monsieur BOUCHELAGHEM El Hadi, Docteur à l'université 8 mai 1945 - Guelma, de nous avoir encadré et suivi notre travail de près avec sa rigueur scientifique et ses précieux conseils.

Nous tenons à exprimer nos reconnaissances envers Pr Riadh NEDJAH et Dr Amina SATHA YALLES, qui ont eu la gentillesse de lire et corriger ce travail.

Nous aimerions remercier ensuite toute l'équipe des ingénieurs et techniciens des laboratoires pédagogiques de la Faculté, fidèles complices et compagnons mémorables pour leurs soutiens multiformes et pour la bonne ambiance dans laquelle elles nous ont permis de travailler. Merci à nos camarades étudiants, pour le soutien inestimable qu'ils nous ont apporté.

Que toutes celles et tous ceux qui ont bien voulu nous aider d'une manière ou d'une autre dans la réalisation de ce travail acceptent le témoignage de notre profonde gratitude.

Enfin, nous nous excusons auprès de tous ceux ou celles que nous avons omis de citer parmi des personnes à remercier.

DEDICACES

Ce travail est dédié à :

À ceux qui m'ont soutenu dans les détails de ma vie, et tous ceux qui m'ont aimé.

*À **ma chère mère** celle qui a toujours été à mes côtés, celle qui m'a comblé d'amour et de joie,*

le mots ne pourront jamais décrire mon amour pour elle. Je vous aime fort.

*A mes chères sœurs : **Soumia, Zinab, Khawela***

*A mes chères frères : **Taki ,Isslam , Mohmed , Nasro***

*A le prince de la famille : **Hadjer***

*Mes meilleurs(es) amis(es) : **Hadjer, Boutheyra, Hind, Meryem Malak***

INTISSAR

*Je dédie ce modeste travail ...à mes très chers parents,
ma mère la prunelle de mes yeux, celle qui m'a comblé d'amour et de joie, les mots ne
pourront jamais décrire mon amour pour elle, à mon père qui étais toujours à mes cotés.*

À ma grande famille.

*A tous mes chers professeurs, à tous mes amis et à tous ce qui me
connais de proche ou de loin*

DOUAA

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux	iii
Liste des photographies	iv
Index des annexes	v
Liste des sigles et abreviation	vi
Résumé	vii
Abstract	viii
ملخص	ix
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Problématique	1
2. Portrait de la situation	3
3. Pourquoi utiliser les macroinvertébrés benthiques	3
CHAPITRE 1 : CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA REGION D'ETUDE	6
1.1 Impact du changement climatique sur la région d'étude	6
1.1.1 Situation et cadre géographique	6
1.1.2 Réseau hydrographique	7
1.1.2.1 Les Eaux de surface	7
1.1.2.2 Les sources thermales	7
1.1.2.3 Les aménagements hydrauliques dans le bassin de la seyhouse	8
1.1.3.Contexte géologique	9
1.1.3.1 structure géomorphologique	9
1.1.4 occupation du sol	10
1.1.4.1 L'influence de l'agriculture intensive sur la qualité des eaux souterraines	10
1.1.5Les conditions climatiques et hydrologiques	11
1.1.5.1 Régime des précipitations	12
1.1.5.2Températures	12
1.1.5.3 Humidité relative	13
1.1.5.4Vent	14
1.1.5.5Relations entre la température et la précipitation	16
1.1.5.5.1Diagramme de Bagnouls et Gausson (1957)	16
1.1.5.5.2Quotient pluviométriques et étages bioclimatiques d'Emberger	17
CHAPITRE 2 : SITES ET METHODES D'ETUDES	19
2.1 Méthodologie	19
2.1.1 Démarche générale	19
2.1.2 Caractéristiques des stations d'étude et périodes de récolte	20
2.1.3 Matériel	24
2.1.3.1 Matériel de terrain	24
2.1.3.2 Matériel de laboratoire	24
2.1.4Protocole et Stratégie d'échantillonnage	26
2.1.4.1 Méthode d'échantillonnage	26
2.1.4.2 Pré-tri et conservation des échantillons	27
2.1.4.3 Tri des échantillons benthiques	27
2.1.4.4. Mesure des caractéristiques physiques in situ	28
2.1.4.5 Identification des macroinvertébrés et analyses des données	31
2.1.4.5.1. Les Ephéméroptères	31
2.1.4.5.2. LesTrichoptères	32

2.1.4.5.3. Les Diptères	32
2.1.4.5.4. Les Odonates.....	34
2.1.4.5.5. Les Mollusques	35
2.1.4.5.6. Les Crustacés	36
2.1.4.5.7. Les Achètes	36
2.1.5 Analyse des données	38
2.1.5.1. Descripteurs biologiques.....	38
2.1.5.2. Détermination de l'indice biologique global (IBGN).....	40
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION	42
3.1 Résultats	42
Paramètres physiques de l'eau	42
3.1.1.1. Température	42
3.1.1.2. Potentiel hydrogène	42
3.1.1.3. Conductivité électrique	43
3.1.1.4. Oxygène dissous	43
3.1.1.5. Salinité	44
3.1.1.6. Totale des solides dissouts	44
3.1.2. Analyse globale de la faune benthique d'oued Bouhamdane et ces affluents	45
3.1.2.1. Check-list des taxa faunistiques.....	45
3.1.2.2. Analyse globale des macroinvertébrés benthiques	46
3.1.2.3. Richesse taxonomique	46
3.1.2.4. Abondance	47
3.1.2.5. Fréquence relative des macroinvertébrés par station d'étude	47
3.1.2.6. Indices écologiques.....	48
3.1.2.7. Détermination de l'indice biologique global (IBGN).....	49
3.2. Discussion	54
3.2.1. Caractéristiques environnementales.....	54
3.2.1.1. Qualité physico-chimique de l'eau	54
3.2.1.2. Indices de diversité	57
3.2.1.3. Evaluation de la qualité hydro biologique des cours d'eau	58
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	59
BIBLIOGRAPHIE	60
WEBOGRAPHIE	67
ANNEXES	68

Liste des figures

Figure 1.1 : Variations mensuelles des précipitations (mm), Années 1994-2	12
Figure 1.2 : Courbe d'évaluation des températures à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2021)	13
Figure 1.3 : Evaluation mensuelle des humidités relatives à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2021)	14
Figure 1.4 : Variations moyenne mensuelle de la vitesse de vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2021)	15
Figure 1.5 : Diagramme de Bagnouls et Gausson (1957) à la station météorologique de Guelma (1994-2021)	16
Figure 1.6 : Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1994-2021)	18
Figure 2.1 : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse et Stations de prélèvements	20
Figure 2.2 : Le matériel utilisé au terrain et au laboratoire	25
Figure 2.3: Morphologie générale des larves d'éphéméroptères (Moisan, 2010)	31
Figure 2.4 : Morphologie générale des larves des trichoptères (Moisan, 2010)	32
Figure 2.5: Larves de Diptères (Moisan 2010)	.33
Figure 2.6 : Morphologie générale des larves d'Odonates (Société générale d'otonatologie, 2007 in Bouchlaghem, 2008)	34
Figure 2.7 : Morphologie générale des physidae (Moisan, 2010)	35
Figure 2.8: Morphologie générale des larves des crustacés (Moisan, 2010)	36
Figure 2.9: Morphologie générale des Achètes (Moisan, 2010)	37
Figure 2.10: Morphologie générale des planaires (Moisan, 2010)	37
Figure 3.1 : Fluctuation de la température mensuelle selon les stations	42
Figure 3.2 : Fluctuation du potentiel hydrogène selon les stations	42
Figure 3.3 : Fluctuation de la conductivité électrique selon les stations	43
Figure 3.4 : Fluctuation d'Oxygène dissous selon les stations	43
Figure 3.5 : Fluctuation de la salinité selon les stations	44
Figure 3.6: Fluctuation du total des solides dissouts selon les stations	44
Figure 3.7 : Abondance de la faune globale des macros invertébrées dans la zone d'étude	46

Figure 3.8 : Richesse taxonomique des stations étudiées	46
Figure 3.9: Abondance relative des groupes faunistiques selon les stations	47
Figure 3.10: Fréquence relative des Taxa capturés dans la zone d'étude	47
Figure 3.11: Fréquences relative de Taxa selon les stations explorées	48
Figure 3.12: Variation des indices de diversité de shanon et d'Equitabilité selon les station	49

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Humidité relative mensuelles moyennes à la station de Guelma entre 1994-2021	13
Tableau 1.2 : Profil des variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2021)	15
Tableau 2.1 : Tableau de détermination de la classe de variété taxonomique	40
Tableau 2.2 : Tableau de détermination du groupe faunistique indicateur (G.I)	41
Tableau 3.1 : check-list de taxa selon de stations	45
Tableau 3.2 : Relevé des macros invertébrées benthiques de la station Medjez Amarselon l'IBGN	50
Tableau 3.3 : Relevé des macros invertébrées benthiques de la station Nador selon l'IBGN	51
Tableau 3.4 : Relevé des macros invertébrées benthiques de la station Bouchegouf selon l'IBGN	52
Tableau 3.5 : Relevé des macros invertébrées benthiques de la station Chihani selon l'IBGN	53
Tableau 3.6 : Exemple de classification de pollution à partir du niveau de TDS	57
Tableau 3.7 : Exemple de classification de la pollution à partir de la valeur de H', dans les habitats sableux/vaseux (d'après Simboura et Zenetos, 2002)	57
Tableau 3.8 : Appréciation de la qualité des eaux en s'appuyant sur les résultats de l'indice IBGN	58

Liste des photographes

Photo 1.1: La Cascade des sources thermales de Hammam Debagh	08
Photo 2.1: Affluent Oued seybouse , Station MA1 Medjaz Amar	21
Photo 2.2: Oued seybouse, Station NA2 Nador	22
Photo 2.3: Oued seybouse, Station BH3 Bouchegouf	23
Photo 2.4 : Oued seybouse, Station CH4 Chihani	24

Index des annexes

Annexe 01. Evaluation des températures mensuelles de la région d'étude (Années 1994-2018)	68
Annexe 02. Variations mensuelles des précipitations en (mm) (1994-2018)	68
Annexe 03. Données climatiques (Précipitations et Températures) de Guelma (Années 1994-2018)	68
Annexe 04. Les normes européennes d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (OudinetMaupas,2003)	69
Annexe 05. Les valeurs de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) selon Afnor, 1992	69
Annexe 06. Liste des 138 taxons (extrait de la norme AFNORT90350,1992)	70

Sigles et abréviations

ABH : Agence des bassins hydrographiques

C° : Degrés Celsius

CV : Classe de variété

DO: Oxygène dissous

EC : Conductivité électrique

Fig : Figure

GI : Le groupe faunistique indicateur

HR : Humidité relative

IBGN : Indice biologique global

NQE : Normes de Qualité Environnementale

P : Précipitation

pH : Potentiel hydrogène

PSU: Unité de salinité pratique

RS: Richesse spécifique

SAL : Salinité

T : Température

Tab : Tableau

TDS : Total des solides dissous

VT : La variété taxonomique

Résumé

Les changements globaux marqués par une accentuation des pressions anthropiques et climatiques ont un impact sur les écosystèmes lotiques et la faune aquatique. Ce travail porte sur l'inventaire et la caractérisation de la diversité des macroinvertébrés benthiques le long de l'oued Seybouse, à partir des prélèvements réalisés mensuellement entre décembre 2022 et avril 2023. Quatre (4) stations minutieusement choisis sur le profil longitudinal du cours d'eau, caractérisé par des régimes d'écoulement temporaires à permanents affecté souvent d'une très grande variabilité interannuelle. L'inventaire de la faune benthique recensée a été réalisé pendant la saison mouillée selon le protocole d'échantillonnage de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Ainsi, un « Surber » d'une surface unitaire de $1/20 \text{ m}^2$ et de vide de maille de $100\mu\text{m}$ a été utilisé au niveau des quatre stations pour la récolte des macroinvertébrés. Avant les prélèvements, sept (07) paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, salinité de l'eau, potentiel d'oxydo-réduction, concentration d'oxygène dissous, solides dissous totaux) ont été mesurés à chaque station. La faune estimée au cours de cette étude se compose de 2832 individus correspondant à 07 Familles appartenant à 05 groupes faunistiques principales (insectes, Mollusques, Annélides et crustacés). L'effectif du peuplement benthique a montré que les Diptères, les Epheméroptères et les Trichoptères sont les plus numériquement inventoriés. Les Mollusques, les Achètes, les Odonates et les Crustacés ne constituent qu'une faible fraction de la faune totale. Les résultats de l'indice (IBGN) ont révélé que les eaux de Seybouse sont d'une qualité médiocre. La prépondérance de ces trois familles de macroinvertébrés polluo-résistants atteste une qualité médiocre de ce cours d'eau. Les indices de diversités indiquent que la communauté des macroinvertébrés de Seybouse est déséquilibrée et peu diversifiée. L'habitat aquatique est dégradé, la pollution organique a augmenté et la qualité biologique de l'eau a connu une forte régression. Les intenses activités humaines dans cette partie ont entraîné une pollution organique accrue, qui a pour conséquence une prolifération des macroinvertébrés polluo-résistants au détriment des polluo-sensibles. Le but de ce rapport est de donner un premier aperçu de la diversité printanière des macroinvertébrés benthiques présents, ainsi que des informations qu'ils peuvent apporter en tant que bio indicateurs des contextes locaux.

Mots clés : Seybouse, macroinvertébrés benthiques, bio indicateurs, habitats, perturbations physicochimiques.

Abstract :

Global changes marked by an increase in anthropogenic and climatic pressures have an impact on lotic ecosystems and aquatic fauna. This work focuses on the inventory and characterization of the diversity of benthic macroinvertebrates along the Seybouse wadi, from the samples taken monthly between December 2022 and April 2023. Four (4) stations carefully chosen on the longitudinal profile of the course of water, characterized by temporary to permanent flow regimes often affected by a very high inter-annual variability. The inventory of the benthic fauna recorded was carried out during the wet season according to the sampling protocol of the standardized global biological index (IBGN). Thus, a “Surber” with a unit surface of 1/20 m² and a mesh size of 100 µm was used at the level of the four stations for the harvesting of macroinvertebrates. Before sampling, seven (07) physico-chemical parameters (temperature, pH, conductivity, water salinity, redox potential, dissolved oxygen concentration, total dissolved solids) were measured at each station. The fauna estimated during this study consists of 2832 individuals corresponding to 08 Families belonging to 05 main faunal groups (insects, Molluscs, Annelids and crustaceans). The number of benthic populations showed that Diptera, Ephemeroptera and Trichoptera are the most numerically inventoried. Molluscs, Achètes, Odonates and Crustaceans constitute only a small fraction of the total fauna. The results of the index (IBGN) revealed that the waters of Seybouse are of poor quality. The preponderance of these three families of pollutant-resistant macroinvertebrates attests to the mediocre quality of this watercourse. The diversity indices indicate that the macroinvertebrate community of Seybouse is unbalanced and not very diversified. The aquatic habitat is degraded, organic pollution has increased and the biological quality of water has experienced a sharp decline. The intense human activities in this part have led to increased organic pollution, which has resulted in a proliferation of pollutant-resistant macroinvertebrates to the detriment of pollutant-sensitive ones. The purpose of this report is to give a first overview of the springtime diversity of benthic macroinvertebrates present, as well as the information they can provide as bioindicators of local contexts.

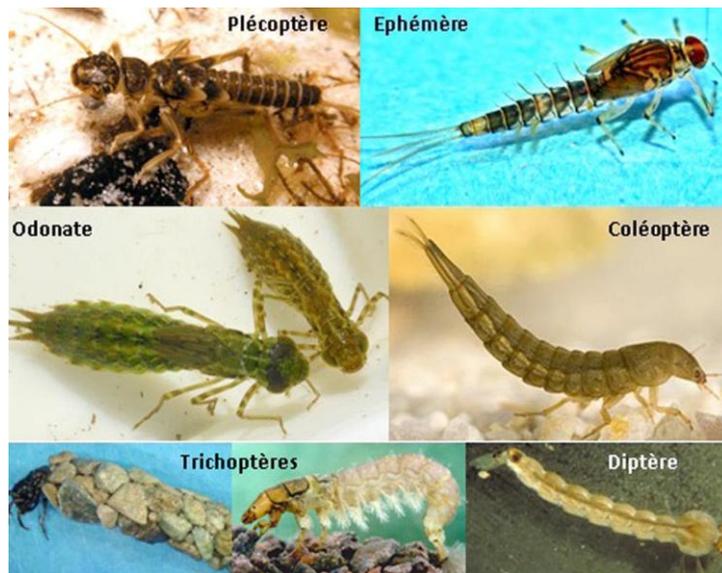
Keywords: Seybouse, benthic macroinvertebrates, bioindicators, habitats, physicochemical disturbances

المخلص:

التغيرات العالمية التي تتميز بزيادة الضغوط البشرية والمناخية لها تأثير على النظم الإيكولوجية للوتيك والحيوانات المائية. يركز هذا العمل على جرد وتوصيف تنوع اللافقاريات القاعية على طول وادي سيبوس ، من العينات المأخوذة شهرياً بين ديسمبر 2022 وأبريل 2023. تم اختيار أربع (4) محطات بعناية على المظهر الجانبي الطولي لمسار المياه ، والتي تتميز غالباً ما تتأثر أنظمة التدفق المؤقتة إلى الدائمة بتقلبات عالية جداً بين السنوات. تم جرد الحيوانات القاعية وهكذا ، (IBGN) المسجلة خلال موسم الأمطار وفقاً لبروتوكول أخذ العينات الخاص بالمؤشر البيولوجي العالمي الموحد بسطح وحدة تبلغ 20/1 م² وحجم شبكة 100 ميكرومتر على مستوى المحطات الأربع لحصاد "Surber" تم استخدام اللافقاريات الكبيرة. قبل أخذ العينات ، تم قياس سبعة (07) معاملات فيزيائية كيميائية (درجة الحرارة ، ودرجة الحموضة ، والتوصيلية ، وملوحة الماء ، وإمكانية الأكسدة ، وتركيز الأوكسجين الذائب ، والمواد الصلبة الذائبة الكلية) في كل محطة. تتكون الحيوانات المقدره خلال هذه الدراسة من 2832 فرداً مقابل 07 عائلة تنتمي إلى 05 مجموعة حيوانية و Diptera (والقشريات). أظهر عدد التجمعات القاعية أن Annelids رئيسية (الحشرات ، الرخويات ، Odonates ، و Achètes هي الأكثر جرداً عددياً. تشكل الرخويات ، و Trichoptera و Ephemeroptera أن مياه سيبوس ذات نوعية رديئة. إن (IBGN) والقشريات جزءاً صغيراً فقط من إجمالي الحيوانات. أظهرت نتائج مؤشر غلبة هذه العائلات الثلاث من اللافقاريات الكبيرة المقاومة للملوثات تشهد على الجودة المتواضعة لهذا المجرى المائي. غير متوازن وغير متنوع للغاية. تدهور الموائل Seybouse تشير مؤشرات التنوع إلى أن مجتمع اللافقاريات الكبيرة في المائية ، وزاد التلوث العضوي وشهدت الجودة البيولوجية للمياه انخفاضاً حاداً. أدت الأنشطة البشرية المكثفة في هذا الجزء إلى زيادة التلوث العضوي ، مما أدى إلى انتشار اللافقاريات الكبيرة المقاومة للملوثات على حساب حساسية الملوثات. الغرض من هذا التقرير هو تقديم نظرة عامة أولية على التنوع الربيعي للفقاريات القاعية الموجودة ، بالإضافة إلى المعلومات التي يمكن أن توفرها كمؤشرات بيولوجية للسياقات المحلية.

الكلمات المفتاحية: سيبوس ، اللافقاريات القاعية ، المؤشرات الحيوية ، الموائل ، الاضطرابات الفيزيائية والكيميائية.

INTRODUCTION GENERALE



INTRODUCTION GENERALE

1. Problématique

Ce travail constitue un intrant majeur pour la prise de décision en matière de protection de l'eau et des écosystèmes aquatiques du bassin de la Seybouse. En ayant une meilleure compréhension de la situation de l'eau sur son territoire, particulièrement dans le contexte où le climat change, le gouvernement algérien souhaite pouvoir orienter de manière plus efficace et efficiente les décisions collectives pour gérer cette précieuse ressource. Or, on ne protège bien que ce que l'on connaît bien. L'Université agit à titre de surveillant de cette ressource dans une perspective de développement durable.

Il est bien reconnu dans la communauté scientifique que les macroinvertébrés aquatiques constituent un des groupes les plus performants pour réaliser un éco-diagnostic de la santé des cours d'eau. Le maintien de la qualité de l'eau est une préoccupation majeure pour une société qui doit subvenir à des besoins en eau de plus en plus importants, et ce, tant du point de vue quantitatif que qualitatif.

Les changements globaux se traduisent au sein des écosystèmes lotiques par une altération des caractéristiques physicochimiques et hydrologiques des cours d'eau, résultant souvent de l'intensification des activités anthropiques. Cela a un impact direct sur les macroinvertébrés benthiques qui sont de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques (USEPA, 2002), et sont les plus utilisés pour l'évaluer (Hellawell, 1986 ; Barbour *et al.*, 1999 ; WFD, 2003).

Les macroinvertébrés benthiques possèdent des sensibilités variables à différents stress comme la pollution ou la modification de l'habitat. Certains groupes de macroinvertébrés tels que les vers sont ainsi peu sensibles aux perturbations, ils sont dits « pollutotolérants », contrairement à d'autres tels que les plécoptères dits « polluosensibles ». Par ailleurs, ils sont présents dans l'ensemble des écosystèmes aquatiques et à plusieurs niveaux trophiques des biocénoses (consommateurs primaires et secondaires, décomposeurs) ; et peu mobiles en général : ils n'ont qu'une faible capacité de fuite. De ce fait, ils sont donc très représentatifs des conditions du milieu ; en conséquence ils sont relativement sédentaires et, pour beaucoup d'entre eux, ils se rencontrent sur tous les types de substrats et à tout moment de l'année. Ainsi, ils sont faciles à collecter et ne nécessitent pas de matériel d'échantillonnage sophistiqué. Face à des perturbations ou des pollutions majeures, ils ne peuvent ainsi que subir (pour les plus résistants) ou mourir (pour les plus sensibles). De plus, leur durée de vie est suffisamment longue (quelques mois à quelques années) pour fournir un enregistrement intégré de la qualité environnementale. Ils sont abondants et relativement faciles à collecter. Les macroinvertébrés benthiques sont ainsi

considérés comme de très bons indicateurs de la qualité d'un milieu : on parle de « bioindicateurs ».

Pendant longtemps l'accent a été mis sur la qualité physico-chimique de l'eau, qui permet de mettre en évidence des pollutions, que l'on compare par la suite à des normes ou des critères de qualité éprouvés. Cette approche ne suffit pas pour dire si un cours d'eau est en bon état fonctionnel ou pas ; en effet, tout ce qui constitue le milieu physique ou l'habitat (berges, lit), les zones humides annexes contribue également au bon fonctionnement des cours d'eau. Cette approche a ses limites, car elle peut prédire un impact alors qu'il n'y en a pas, ou bien ne pas prédire d'impact alors qu'il y a eu un. Selon une étude américaine (Thomas, 1993), cela peut se produire dans respectivement 36 % et 6 % des cas. L'approche traditionnelle peut être avantageusement complétée par un suivi biologique qui consiste à utiliser des organismes vivants, par exemple des microorganismes, des plantes ou des animaux, afin de mesurer les effets de la pollution de l'eau. Ainsi, le suivi biologique tient compte des effets combinés des produits chimiques, de l'effet des pics de contamination ainsi que de l'impact des perturbations écologiques comme l'eutrophisation, la présence d'espèces exotiques ou, encore, la dégradation des habitats.

La démarche biologique ou biocénotique vient compléter l'évaluation en permettant d'identifier ces mêmes perturbations par leurs effets sur les communautés animales et végétales ; afin de donner un aperçu des conditions et des pressions environnementales. Différents groupes d'espèces ont servi à de telles évaluations, bien que l'un des groupes les plus utiles demeure celui des macroinvertébrés benthiques. Les invertébrés benthiques sont de petits animaux, visibles à l'œil nu, ne possédant pas de colonne vertébrale et habitant le fond des lacs et des cours d'eau. Ils comprennent des organismes comme les crevettes, les vers, les écrevisses, les escargots d'eau, les moules et le stade aquatique de plusieurs larves d'insectes comme les libellules, les éphéméroptères, les trichoptères ou les diptères (moustique, mouche noire), qui sont sensibles aux modifications de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques.

Historiquement, les communautés de macroinvertébrés aquatiques ont été utilisées dès les années 1960 pour évaluer la qualité biologique d'un cours d'eau. Cette approche s'est ensuite raffinée de manière à mieux tenir compte des communautés de macroinvertébrés, en observant le nombre d'espèces (diversité) et les espèces présentes (composition), puis en comparant des sites perturbés (sites d'essai) avec des sites de référence, ces derniers étant peu ou pas perturbés par les activités humaines, dans le but d'établir des critères d'évaluation biologique.

L'évolution au fil du temps des méthodes basées sur les invertébrés repose principalement sur les questions d'échantillonnage et de référentiel. La première méthode française est celle des « indices biotiques » proposée en 1967 par [Verneaux & Tufféry](#) et inspiré de travaux anglais. Cette approche a évolué en Indice Biologique de Qualité Générale (IBG), qui a fait l'objet d'une norme expérimentale en 1985, puis à une norme homologuée intitulée IBGN en 1992 qui a été révisée en 2004. L'I2M2 (Indice Invertébrés Multi-Métrique, 2012) représente la dernière évolution de ces approches.

2. Portrait de la situation

Plus récemment, cinq missions d'échantillonnage ont eu lieu pour l'étude des effets des facteurs environnementaux sur les communautés benthiques du cours d'eau d'Oued Seybouse au courant de la période allant du mois de décembre 2022, jusqu'au mois d'avril 2023. L'installation des quatre stations prospectées, répartis sur l'ensemble du cours d'eau en tenant compte des types de sédiments et, qui font l'objet d'un échantillonnage mensuel. Durant ces missions, plusieurs centaines d'insectes aquatiques adultes (**2832**) ont été capturés au moyen de pièges d'interception de type « Surber ».

L'objectif de l'étude est d'établir une base de données sur les conditions actuelles et sur l'évolution des cours d'eau et des écosystèmes qui lui sont liés. En conséquence d'acquérir de meilleures connaissances sur l'état des composantes physicochimiques et biologiques de ces milieux. L'approche privilégiée dans cette étude est la distribution spatiotemporelle des macroinvertébrés benthiques ainsi de déterminer l'impact des ruisseaux drainant les terres agricoles environnantes sur la faune benthique d'Oued Seybouse afin d'apprécier le niveau de perturbation du milieu. Et ceci selon le protocole d'échantillonnage de l'indice biologique global normalisé (IBGN), la méthode normalisée utilisée depuis 1992 ([NF T 90-350- AFNOR, 1992, révisée en 2004](#)) pour évaluer la qualité écologique des cours d'eau peu profonds à partir des macroinvertébrés. L'IBGN attribue une note de 0 à 20 d'après le nombre de familles d'invertébrés relevé et leur degré de polluo-sensibilité pour qualifier la qualité biologique d'un site.

3. Pourquoi utiliser les macroinvertébrés benthiques ?

Les macroinvertébrés sont sensibles aux changements physico-chimiques d'un cours d'eau, ils sont reconnus comme de très bons bioindicateurs de qualité écologique des lacs et rivières car ils sont en contact étroit avec leur environnement durant toute leur durée de vie ([Pinel-Alloul et al., 1996](#); [Tessier et al., 2008](#); [Tall et al., 2008](#)). Le suivi environnemental basé sur les macroinvertébrés est très efficace parce que ceux-ci ne répondent pas seulement aux polluants,

mais aussi aux changements dans l'utilisation des terres dans le bassin versant et aux changements physiques et biologiques de l'habitat, qui sont difficiles à évaluer avec un suivi classique de toxicologie ou de chimie (Rosenberg et Resh, 1993).

Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux. Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques dès les années 1960 en raison de leur sédentarité, de leur caractère ubiquiste de la répartition à différentes échelles spatiales et temporelles et de leur cycle de vie varié, de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat et de leur grande diversité avec au moins 150 familles, 700 genres et 4400 espèces. Ils intègrent les effets cumulatifs et synergiques à court terme (allant jusqu'à quelques années) des multiples perturbations physiques (modifications de l'habitat), biologiques et chimiques dans les cours d'eau. Des espèces à forte valeur patrimoniale et faciles à récolter. L'occupation de plusieurs niveaux trophiques et un rôle fonctionnel important au sein de l'écosystème. De plus, l'habitat est le premier élément structurant les communautés de macroinvertébrés benthiques, il est nécessaire de le décrire et d'en évaluer la qualité. Genin *et al.* (1997) mentionnent que le peuplement biologique d'un secteur de cours d'eau dépend d'abord des capacités naturelles de ce secteur et secondairement, des détériorations ayant pu modifier l'eau, substrat, etc. Il importe donc d'avoir une bonne connaissance du milieu et de la communauté de macroinvertébrés benthiques pour comprendre les liens les unissant.

En Afrique du Nord les études hydrobiologiques se sont multipliées ces dernières années. Nous citons les travaux de Pihan et Mohati (1948,1983), Berthelemy (1973), Arab et Zebdi (1983), Gagneur *et al.* (1985), Boumaiza & Clergue-Gazeau (1986), Boumaiza & Thomas (1986), Malicky & Lounaci (1987), Bouzidi & Giudicelli (1987), Ait Mouloud (1988), Gagneur & Thomas (1988), Qninba *et al.* (1988), Gagneur & Aliane (1991), Clergue-Gazeau *et al.* (1991), Boumaiza & Thomas (1995), Zouakh (1995), Thomas (1998), Vaillant & Gagneur (1998), Samraoui et Menai (1999), Mebarki (2001), Arab (2004), Lounaci et Vinçon (2005), Lounaci (2005), Moubayed *et al.* (2007), Haouchine (2011), Chaib *et al.* (2011), Chaib *et al.* (2013).

Cette synthèse s'insère dans la recherche d'indicateurs permettant de mettre en relation perturbation des écosystèmes et structures benthiques, problématique actuellement en plein essor notamment sous l'impulsion des pays développés.

Le manuscrit que nous proposons s'organise de la façon suivante :

Le premier chapitre est consacré à une description détaillée des caractéristiques générales de la région d'étude : la situation géographique, géologie, climatologie, perturbations anthropiques et enfin la description des habitats en tant que terrain d'échantillonnage de la macrofaune benthique; Le second chapitre détaille les caractéristiques des stations d'étude ainsi que les méthodes et techniques mises en œuvre pour un échantillonnage représentatif; Le troisième chapitre qui représente la majeure partie de ce travail est consacré à l'étude de la faune benthique :

- Analyse globale de la faune ;
- Analyse qualitative et quantitative de la faune ;

Évaluation de la qualité de l'eau par les voies physico-chimiques et biologiques.

Ce dernier expose les résultats obtenus à l'échelle locale et permet de discuter l'ensemble des travaux effectués dans cette étude.

En conclusion cette première approche permet de formuler des hypothèses sur les variations spatiotemporelles des fonctionnalités d'un cours d'eau. Celles-ci doivent être vérifiées par des études plus poussées. Une stratégie d'échantillonnage répliquable et standardisée des peuplements benthiques, d'un cours d'eau est proposée.

CHAPITRE 1

CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA REGION D'ETUDE



▪ 1. 1 Impact du changement climatique sur la région d'étude

Les données climatologiques (Pluviométrie, Température, Humidité relative et Vent) sont issues auprès de l'Office National de Météorologie (ONM) de Guelma. La période d'observation (1994-2021) des données obtenues enregistre une tendance à la sécheresse à partir de la fin de la décennie 2010 et le début des années 2020. Cette sécheresse a provoqué un tarissement des cours d'eau et une baisse des niveaux piézométriques des nappes et des eaux de surface de la région.

Ce changement climatique a un fort impact sur les écosystèmes aquatiques. A cet égard, il est nécessaire de donner plus d'importance par des études de recherches sur cet impact étant donné que le nord africain est le plus vulnérable par rapport aux autres continents aux effets des changements climatiques sur ces milieux.

Les changements climatiques peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et à des causes naturelles. Notre bute ici est d'évaluer les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation.

L'objectif de ce chapitre est de caractériser la sécheresse climatique au niveau du bassin versant pour la période 1994/2021, à travers les données météorologiques ayant été collectées et exploitées dans cette étude.

▪ 1.1.1 Situation et cadre géographique

La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'oued Seybouse qui couvre un total d'une superficie de 6471 Km² (Ghachi A., 1986), Il est, après celui de la Medjerda, le plus important de la partie orientale de l'Afrique du Nord. Les limites méridionales du bassin sont à 160 km de la mer à vol d'oiseau jusqu'aux confins de l'Atlas Saharien. Le bassin abrite une population de l'ordre de (1 800 000) habitants, répartis sur 72 communes, dont 33 sont entièrement incluses dans le bassin, et 7 wilayas (Constantine, Skikda, Oum El-Bouaghi, Annaba, El-Tarf, Guelma, Souk Ahras). La plus grande partie de la population est concentrée dans le Nord de bassin.

- **1.1.2 Réseau hydrographique**

- **1.1.2.1 Les Eaux de surface**

Grâce à son relief escarpé, Le réseau hydrographique du bassin de la Seybouse possède un régime hydrologique irrégulier de type pluvial, fortement dominé par les précipitations sur l'ensemble de l'année avec un chevelu hydrologique de plus de (3.000 Km). Quarante-deux oueds ont une longueur supérieure à 10 Km, dont deux : le Cherf long de (88.61 Km), et le Bouhamdane d'une longueur de (37.49 Km), se réunissent à Medjez Amar pour donner naissance à l'oued Seybouse (134.74 Km), notre objet d'étude, ce dernier plonge régulièrement pour s'envoyer dans la plaine alluviale de Guelma puis il serpente vers le Nord en parcourant la basse plaine d'Annaba, souvent inondée au moment des crues, avant de se jeter dans la baie d'Annaba par l'estuaire de Sidi Salem. La très grande diversité, lithologique entraîne obligatoirement des conséquences, sur la stabilité du comportement hydrologique. Ces cours d'eau ont une alimentation plutôt irrégulière. En hiver, il est fréquent de constater de grandes crues alors qu'en été, ils sont presque asséchés. D'ailleurs, dans les périodes pendant lesquelles l'eau est abondante, on utilise des barrages afin de procéder à l'irrigation des terres et à l'alimentation des villes en eau potable.

- **1.1.2.2 Les sources thermales**

Il existe sur le territoire algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croît régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroun à 97 °C à Hammam Debagh (Photo. 1.1). La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie, ce cas est rencontré à titre d'exemple à Hammam Melouane 29.42 gr/l, Hammam El Bibans à Bordj-Bou-Argeridj 15gr/l, Hammam Salhine 9 gr/l.

Aujourd'hui la région du bassin de la Seybouse possède d'indéniables sources thermales à Hammam Chellala, Aïn Ben Nadji, Aïn Chekfa, Aïn Chedakha, Hammam Ouled Ali, Hammam N'baïls, Belhachani et Guerfa, leur permettant de contribuer à son développement économique, La source de hammam Debagh est la plus florissante de l'Algérie et ses eaux sont les plus chaudes, il s'agit de «la deuxième eau la plus chaude à l'échelle mondiale, après les geysers réputés d'Islande, lesquels atteignent les 100 degrés», Il existe neuf sources hyperthermales dont la température de l'eau varie entre 90 et 97°C, le débit total des sources actuelles n'est pas inférieur à 55 l/s. Les eaux sont d'une nature saline, avec une odeur sulfureuse, leurs faciès

chimique est bicarbonaté calciques, chloruré sodique, radioactives, avec dégagement d'hydrogène sulfuré, notant que si les eaux de la région de Hammam Debagh sont gorgées de bicarbonate, celles de la localité de Ouled Ali sont réputées pour être ferrugineuses (riches en fer). Cependant, cette nappe phréatique particulière est sous-exploitée et n'est mise en valeur qu'à hauteur de 15%, plaidant pour des solutions permettant la récupération des eaux une fois utilisées pour ensuite les recycler, car déverser ces eaux dans des oueds ou autres lieux n'est pas la solution, d'autant que les eaux usées sont nuisibles pour l'agriculture, notant que, dans les pays développés, ces eaux passent au travers d'un cycle de traitement pour être ensuite réutilisées dans l'agriculture. C'est un créneau délaissé, sous-exploité alors qu'il est créateur d'emplois pouvant faire l'objet d'investissements des plus rentables en aquaculture.



Photo 1.1 : La Cascade des sources thermales de Hammam Debagh

▪ 1.1.2.3 Les aménagements hydrauliques dans le bassin de la Seybouse

Le bassin de la Seybouse fait l'objet depuis le début des années 1980, d'aménagements hydrauliques destinés à régulariser les eaux d'écoulements superficiels : - le barrage de Hammam Debagh sur l'oued Bouhamdane (capacité utile : 180 hm^3), destiné au périmètre irrigué de Guelma-Bouchegouf (12900 ha) et à l'A.E.P.de Guelma. - le barrage de Foum El Khanga sur l'oued Cherf amont, d'une capacité de 157 hm^3 et destiné à l'irrigation. Deux autres barrages, destinés à l'irrigation, celui de Koudiat Harricha dans le Cherf aval et celui de Koudiat Mahcha dans la Basse Seybouse, sont programmés pour une date ultérieure.

Quatre petits barrages ont été réalisés sur l'oued Cherf amont (Tiffech, Sedrata), M'djez El Bgar dans le Cherf aval, et Ben Badis sur l'oued El Heria qui est un petit affluent de l'oued Bouhamdane.

Par ailleurs, le bassin a connu, grâce à la politique initiée à l'échelle locale, un développement des retenues collinaires (70 recensés sur le bassin de la Seybouse).

▪ 1.1.3 Contexte géologique

La zone d'étude fait partie du grand bassin versant de la Seybouse. Elle s'étend sur deux domaines géographiques des trois grands ensembles physiques que forme le bassin de l'oued Seybouse.

▪ 1.1.3.1 Structure géomorphologique

L'étude géologique et pédologique menée par (Blayac, 1912), a permis de dresser un travail très documenté, excellente base documentaire bien réintégrée dans son contexte chronologique et écologique, sur l'état général de la région d'étude, l'auteur au vu de récurrences certaines, signale qu'à l'exception des hauteurs granitiques de la chaîne numidique des montagnes de Debagh et Taya, la pédologie de la région de Guelma est surtout marquée par l'affleurement sur les plus grands espaces des calcaires, travertins et marnes, et on en distingue de l'amont à l'aval. Au-delà, toujours à l'ouest, le bassin de la Seybouse est jalonné par la chaîne numidique dont l'axe dirigé Est-Ouest, comme les monts Taya et Debagh, le côté Nord de cette chaîne dépend du lac Fetzara ; le côté Sud, de l'oued Bouhamdane, le plus important affluent de la Seybouse après le Cherf. Au niveau du bassin de la Seybouse, Le territoire est ainsi divisé en trois terrasses physiographiques bien distinctes :

1. Celle des Hautes plaines (Haute Seybouse) ; région si accidentée qui comprend le sous – bassin appelé 14-01. Elle intègre en totalité le bassin du Haut Cherf, ces rivières, sans profondeur, sont dépourvues d'eau durant une grande partie de l'année, en raison du climat sec de ces régions d'assez grande altitude (800 à 1000m). C'est une zone au relief plat, parsemée de plaines (plaine de Sedrata, plaine d'Ain Babouche, plaine de Tamlouka) avec un encadrement montagneux imposant :

- djebel Tiffech (1164 m) ;
- djebel El Guelaa au Nord de Ain Beida (1135 m) ;
- djebel Sidi Reghiss (1635 m) ;
- Chebket Sellaoua, d'orientation SW –NE avec djebel El Hamra (1188m), Koudiat El Bouib (1117 m) ;
- Djebel Terraguelt (1156 m).

2. Celle du tell méridional (Moyenne Seybouse), qui commence au Moulin Rochefort, qui s'est noyé après la mise en eau des terrains submergés, du barrage de Foum El Khanga, point où

l'oued Cherf pénètre dans le Tell, et qui finit à Medjez Amar où cette oued devient alors la Seybouse proprement dite ; couvrant les Sous- bassins : 14-02 - 14-03 – 14-04 et 14-05. Il couvre une superficie importante qui correspond assez étroitement sur le plan morpho-structural à la chaîne numidique. A ce domaine appartiennent plusieurs sous- bassins, le bassin aval de l'oued Cherf ; ; le bassin de l'oued Bouhamdane ; les affluents de la Seybouse dans la vallée de Guelma (oued Halia, oued Bou Sorra, oued Zimba , affluents de rive gauche dans la vallée de Guelma) (Louamri, 2013).

3. Celle du tell septentrional (Basse Seybouse), entre Bouchegouf et Annaba, à travers laquelle l'oued garde le nom de Seybouse, qui appartient au Sous bassin 14-06 (Bouchelaghem, 2008).

La Basse Seybouse présente un relief dissymétrique avec une zone de moyennes montagnes, relativement accentué sur la rive gauche de l'oued Seybouse. A l'extrême Nord-Ouest, le massif de l'Edough, est à une altitude de 1008 m (KefSeba).

▪ 1.1.4 Occupation du sol

▪ 1.1.4.1 L'influence de l'agriculture intensive sur la qualité des eaux souterraines

Au cours de ces dernières années, l'agriculture a complètement évolué et le paysage rural sur la région d'étude s'est profondément modifié. Cette modification pose de nombreux problèmes dans la gestion de l'eau. L'irrigation peut, en période d'étiage, assécher les oueds dans les secteurs les plus sensibles, provoquant ainsi des dégâts considérables sur toute vie aquatique. L'agriculture serait responsable de la 2/3 des rejets azotés et produirait, via les déjections animales et les engrais, 22% de la pollution par le phosphore.

L'agriculture génère ainsi des flux de pollutions importants. L'azote des déjections animales épandues sur les sols s'ajoute à l'azote apporté sous forme d'engrais minéraux. Une partie fuit vers le sous-sol, les cours d'eau, les retenues, la mer, l'atmosphère. Des pertes d'azote sous forme de volatilisation d'ammoniac et de N_2O affectent aussi la qualité de l'air. Des accumulations de phosphore, de cuivre et de zinc dans les sols résultent également d'épandages excessifs de déjections animales. Il en résulte des pollutions des ressources en eau de la région qui posent problème pour l'alimentation en eau potable. Les cours d'eau et les retenues d'eau sont eutrophisés et des développements d'algues produisant des toxines apparaissent.

La contamination par les phytosanitaires est très importante. La Politique Agricole Commune a provoqué une nouvelle baisse des prix de 20 % qui devrait inciter à produire encore plus sur un minimum de surface. Enfin, les exigences de qualité toujours plus grandes des

industriels de l'agroalimentaire obligent à forcer la nature. Plus question désormais de vendre des légumes qui n'ont pas un bel aspect. Si bien qu'aujourd'hui, on arrose systématiquement jusqu'aux pommes de terre pour qu'elles atteignent une taille standardisée pour la fabrication de chips et frites industrielles. L'eau est devenue le facteur essentiel de rentabilité de nombreuses exploitations.

Sur l'aire d'étude, les surfaces irriguées représentent autour de quelques 200 hectares d'après les résultats obtenus auprès de la Sub division Agricole de Hammam Debagh. Un hectare irrigué "boit" environ 1000 m³ par an, mais on serait bien en peine d'en déduire la consommation exacte d'eau de l'agriculture.

▪ 1.1.5 Les conditions climatiques et hydrologiques

Le bassin de la Seybouse présente des zones à climats différents allant du climat littoral modéré qui caractérise la zone côtière au climat semi-aride caractérisant la haute Seybouse et des zones plus arrosées en montagne.

La détermination du climat s'effectue généralement à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques, annuelles et mensuelles, sur des données atmosphériques locales de séries vingténaires ou plus : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent. Ces paramètres vont influencer directement les cycles de l'eau, biologiques, du carbone et de l'azote, décrits ultérieurement.

En influençant la croissance des végétaux, et donc l'absorption racinaire, le climat va influencer le cycle de l'azote. Il va également, notamment via les précipitations, influencer de façon significative la percolation de l'eau dans le sol et donc le transport des fertilisants et substances phytosanitaires dans le sol.

Une station météorologique principale fonctionne à Belkheir à 3km au nord-est de la ville de Guelma. Nous avons eu la chance de pouvoir nous procurer gracieusement une chronique de vingt-sept années consécutives (1994-2021).

Pour caractériser écologiquement le climat de la région d'étude, nous avons eu recours, pour tous les indicateurs climatiques, à l'étude de variables simples, appuyée sur les moyennes et les valeurs extrêmes. Les moyennes donnent une image lissée de la réalité. C'est tout particulièrement le cas pour les températures auxquelles est soumise la région. Mais, comme l'a

souligné **Daget (1967)**, à l'intérieur d'un même régime thermique, les moyennes mensuelles et annuelles intègrent les températures vraies, ce qui permet de justifier leur emploi.

▪ 1.1.5.1 Régime des précipitations

Les précipitations moyennes annuelles établies sur un grand nombre d'année (1994-2021) s'élèvent à 589,84 mm, mais les valeurs annuelles varient de 309,90 mm l'an (2017) à 938,50 mm (en 2003) (Fig. 1.1). C'est dire si les fluctuations sont fortes d'une année sur l'autre. L'écart type standard atteint 85,26 mm et l'écart moyen arithmétique 69,66 mm, l'an (2003).

Sur 27 années complètes d'observation, la région de Guelma a connu six années très arrosée ($P. > 700$ mm), cinq années arrosées ($700 > P. > 600$ mm), dix années moyennement arrosées ($600 > P. > 500$ mm), cinq années moyennement sèches ($500 > P. > 400$ mm) et deux années sèches ($P. < 400$ mm).

Les précipitations tombent surtout de septembre à mai, période qui connaît de 36 à 91 jours de pluie selon les années. En moyenne, décembre et janvier reçoivent les précipitations les plus abondantes : 71,07 et 91,33 mm respectivement. Novembre vient en troisième position, avec 68,53 mm seulement. À l'opposé, juin (13,64 mm) et juillet (4,06 mm) sont très secs.

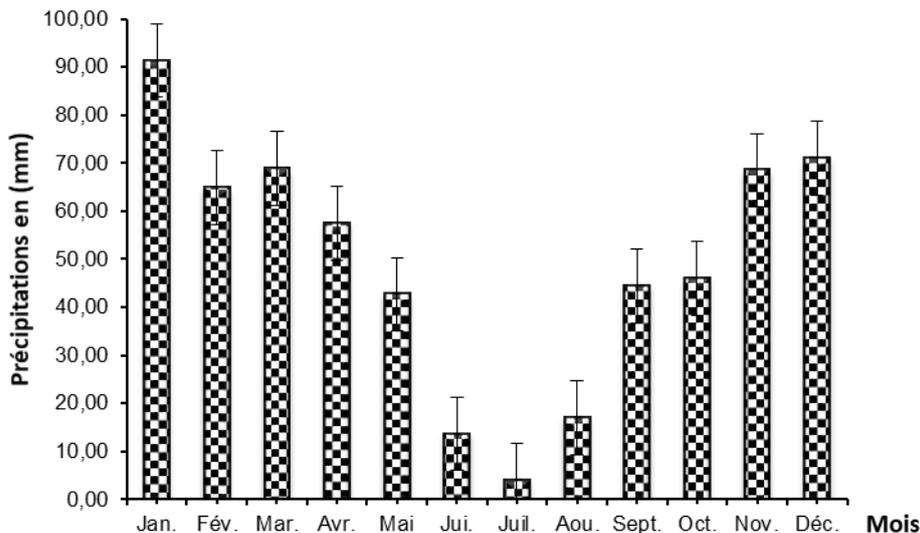


Figure 1.1 Variations mensuelles des précipitations (mm), années 1994-2021

▪ 1.1.5.2 Températures

La température moyenne annuelle est de 18,17°C, avec une moyenne des minima journaliers de 8,86 °C et une moyenne des maxima journaliers de 28,75°C.

À l'échelle mensuelle, les températures moyennes sont comprises entre 9,81 °C en janvier et 26,60 °C en juillet. Les valeurs moyennes des minima journaliers vont de 1,86 °C en janvier à

17,60 °C en août et celles des maxima journaliers de 18,80 °C en janvier à 39,81°C en mois d'août (Fig. 1.2).

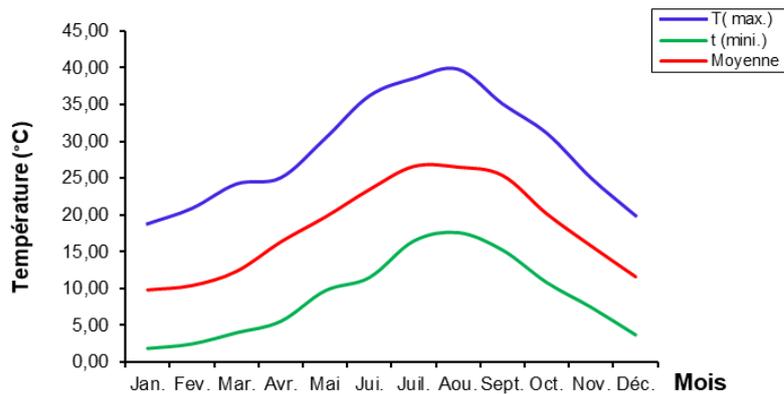


Figure 1.2 Courbe d'évaluation des températures à la station météorologique de Guelma
(Années 1994-2021)

▪ 1.1.5.3 Humidité relative

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. A une température donnée, l'air ne peut contenir qu'une certaine quantité de vapeur d'eau, qui correspond à un seuil. Quand ce seuil est atteint, on dit que l'air est saturé. Au-delà de ce seuil, l'excédent de vapeur d'eau se transforme en eau liquide : c'est le phénomène de condensation. Plus la température est grande, plus ce seuil est élevé. On raisonne souvent avec l'humidité relative. Celle-ci représente la quantité de vapeur d'eau en pourcentage par rapport à l'état de saturation. Cependant, les météorologistes préfèrent déterminer directement la masse d'eau contenue dans l'air. Ainsi, ils utilisent notamment le "rapport de mélange", qui est la masse en grammes de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec qui la contient.

La valeur annuelle moyenne de l'humidité relative avoisine 68.92 % seulement. De ce fait, les valeurs les plus faibles du degré hygrométrique de l'ordre de (55.57 et 56.71 %) sont observées pendant les mois les plus chauds en juillet et août respectivement, alors que les valeurs les plus fortes (>75 %) le sont en mois de janvier, février et en décembre (Tab. 1.1).

Tableau 1.1 : Humidité relative mensuelles moyennes à la station de Guelma entre 1994-2018

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jui.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
H.R (%)	76,99	75,74	74,22	73,14	69,02	60,46	55,57	56,71	66,55	69,79	73,09	75,82

La figure 1.3 montre que l'humidité relative est élevée durant les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février et mars, alors qu'elle est faible pendant les mois les plus chauds, Juin, Juillet et Août.

La région de Guelma présente donc une faible humidité relative, avec une moyenne maximale de 76,99% pour le mois de janvier et une moyenne minimale de 55,57% en Juillet.

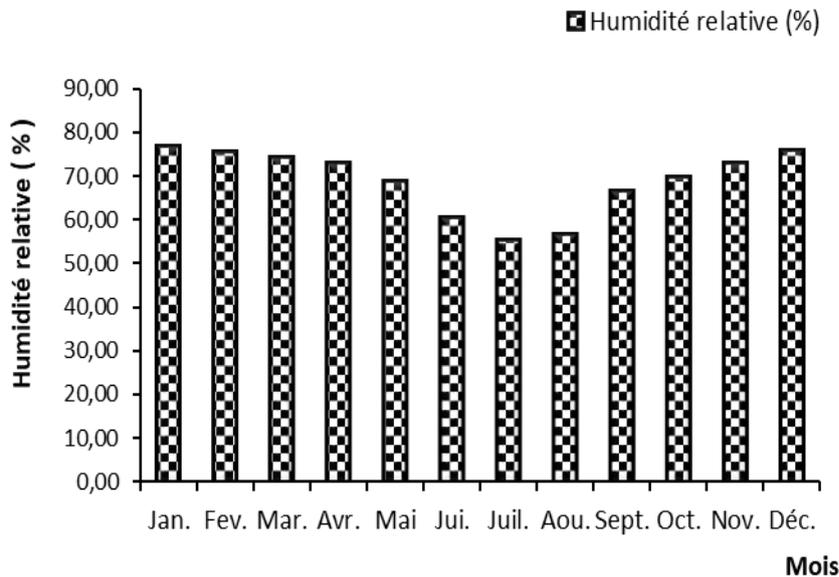


Figure 1.3 Evaluation mensuelle des humidités relatives à la station météorologique de Guelma (Années 1994-2021)

▪ 1.1.5.4 Vent

La force d'un vent est liée à sa vitesse. Elle est déterminée quantitativement par un anémomètre ou encore par l'allure de la manche à air. En météorologie, la force s'exprime en kilomètres par heure (km/h), c'est-à-dire qu'elle est équivalente à une vitesse. La force du vent est proportionnelle au carré de la vitesse. Par exemple pour une vitesse cinq fois plus grande, la force est multipliée par 25. Donc une augmentation raisonnable de la vitesse peut engendrer de gros dégâts.

Les données de vent de surface disponibles sont obtenues à partir des relevés des années (1994 à 2021) obtenus auprès de la Station Météorologique de Guelma (Tab. 1.2).

La figure 1.4 montre l'évolution saisonnière de la vitesse du vent, à partir de moyennes mensuelles sur la région de Guelma. On constate l'existence d'un signal saisonnier important dans la saison estivale défini par un maximum aux mois d'août $2,47 \text{ m s}^{-1}$ et un minimum en mois d'octobre $1,36 \text{ m s}^{-1}$.

L'insuffisance des observations réalisées sur la même période de l'aire d'étude relative à la vitesse du vent maximale, ne permet cependant pas d'atteindre une description fine de la fréquence des variations du vent.

Tableau 1.2 Profil des variations mensuelles moyennes de la vitesse du vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2021)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jui.	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vent (m/s)	1,75	1,85	1,80	1,79	1,70	1,86	1,79	2,47	1,56	1,36	1,70	1,71

Les intensités de vent (Fig. 1.4) s'étendent de 1,36 à 2,47 m s⁻¹, Les vents sont forts en mois de décembre, février, mars et août, puis se réduisent progressivement jusqu'en mois de novembre où leur force est minimale. Leur intensité s'accroît ensuite jusqu' en mois de janvier avant de diminuer à nouveau.

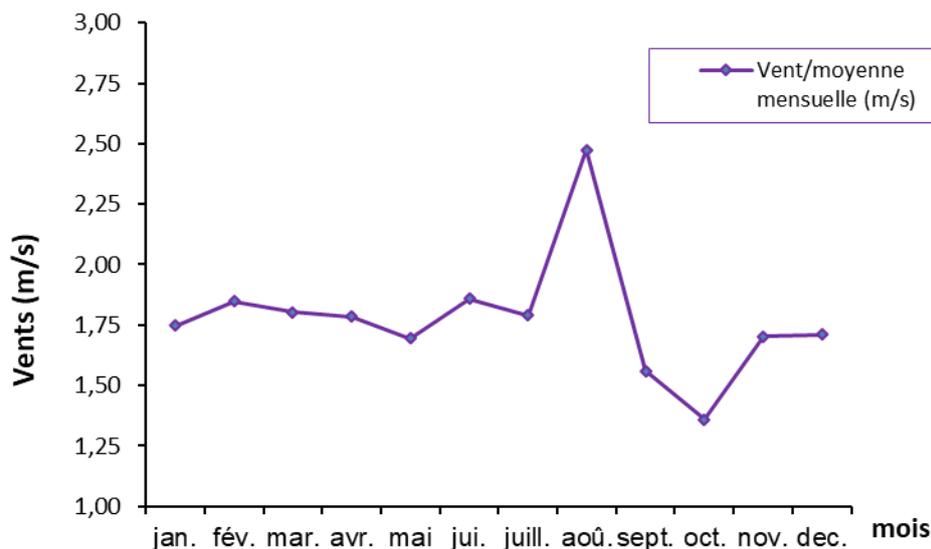


Figure 1.4 Variations moyenne mensuelle de la vitesse de vent à la station météorologique de Guelma (années 1994-2021)

Le vent est un déplacement d'air visant à compenser les différences de pression. Les paramètres qui rentrent en jeu sont la différence de pression et la distance entre les zones géographiques correspondant. Plus cette différence de pression est grande plus le vent est fort. Il en est de même lorsque la distance de séparation est faible. Quand on a une grande variation de pression sur une courte distance on parle de fort gradient de pression. Ceci se matérialise sur les cartes météorologiques par un rapprochement des lignes isobares.

Dans l'échelle de **Beaufort** on peut retenir les caractéristiques suivantes :

- 55 km/h : le vent peut casser les petites branches des arbres.
- 65 km/h : le vent casse les branches moyennes.
- 75 km/h : les arbres les plus légers sont déracinés.
- 100 à 140 km/h : le vent peut briser des murs et des maisons légères.
- 170 km/h et plus : les constructions les plus solides sont endommagées.

▪ 1.1.5.5 Relations entre la température et la précipitation

▪ 1.1.5.5.1 Diagramme de Bagnouls et Gausсен (1957)

Sur un graphique, on porte :

▪ En abscisses :

Les mois de l'année (en commençant par ceux qui ont des jours courts : Janvier pour l'hémisphère nord, juillet pour l'hémisphère sud

▪ En ordonnées :

↙ à gauche, les précipitations mensuelles P (en millimètres)

↘ à droite, les températures moyennes T (en °C) à une échelle double de celle des précipitations. On trace la courbe thermique (courbe joignant les points des températures mensuelles) et la courbe ombrique (courbe joignant les points des hauteurs d mensuelles). Quand la courbe ombrique passe sous la courbe thermique, on a $P < 2T$. La surface de croisement indique alors la durée et l'importance de la période sèche telle qu'a été définie (Fig. 1.5) et qui servira à l'établissement de l'indice xérothermique. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 6 mois, elle commence de la fin avril jusqu'à début novembre.

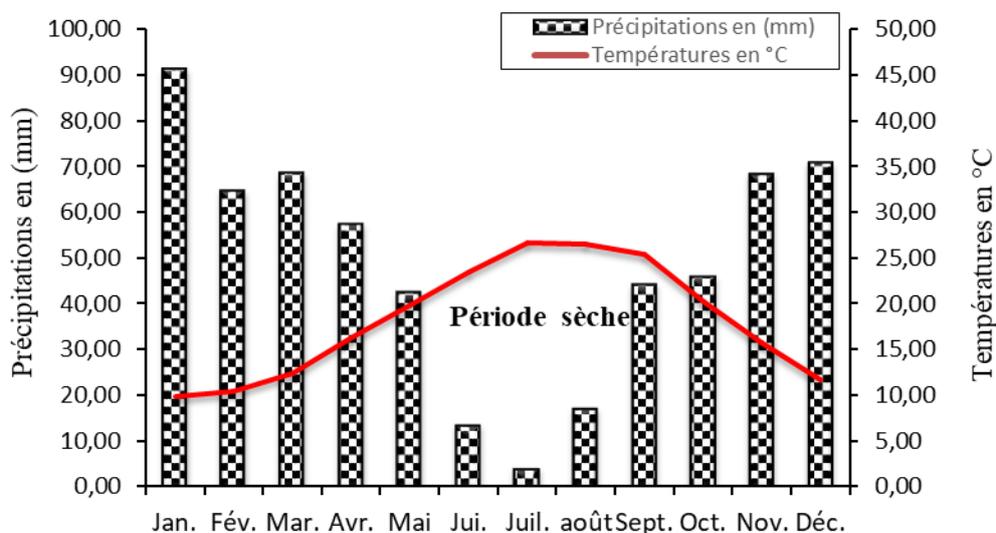


Figure 1.5 Diagramme de Bagnouls et Gausсен (1957) à la station météorologique de Guelma (1994 –2021)

▪ 1.1.5.5.2 Quotient pluviométriques et étages bioclimatiques d'Emberger

Le quotient pluviométrique ou indice climatique proposé par [Emberger \(1971 a\)](#) sert à définir les cinq différents types de climats méditerranéens, depuis le plus aride, jusqu'à celui de haute montagne, climats que seul le Maroc dans la région méditerranéenne, possède en totalité.

Les limites de séparation entre les différents étages bioclimatiques restent encore imprécises. Il est à signaler qu'il ne s'agit pas de lignes au sens géométrique du mot, mais plutôt de bandes de transitions de végétation mixte. Les limites ont été tracées là où le changement de la végétation a été observé.

Le quotient d'Emberger est spécifique du climat méditerranéen, il est le plus fréquemment utilisé en Afrique du Nord. Pour identifier le type du climat nous avons fait appel au quotient pluviométrique d'Emberger qui se base sur le régime des précipitations et des températures selon la formule suivante :

En appliquant la formule suivante élaborée par Stewart pour l'Algérie et le Maroc, soit :

$$Q_2 = 3.43 (P/M-m) \text{ (Stewart, 1968).}$$

- Q : le quotient pluviométrique d'Emberger
- P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm : 589,84
- M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C : 39,81
- m : Moyenne des minima du mois le plus froid en °C Avec : 1.86 où (M-m = 37.95)

Notre région (Guelma) présente un $Q_2 = 53.31$ ce qui la classe dans l'étage bioclimatique a végétation semi-aride à hiver frais. (Fig. 1.6).

Le Q_2 est inversement proportionnel à l'aridité, ce climagramme nous permet de déterminer les étages bioclimatiques et les variantes thermiques, c'est ainsi que notre zone d'étude est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à variante thermique à hiver frais (Fig. 1.6).

Emberger a précisé 4 étages bioclimatiques :

Humide, sub-humide, semi-aride et aride,

et 4 variant thermiques :

A hiver froid : $m < 0^\circ\text{C}$;

A hiver frais : $0 < m < 3^\circ\text{C}$;

A hiver doux ou tempéré : $3 < m < 5^\circ\text{C}$;

A hiver chaud $m > 7^\circ\text{C}$.

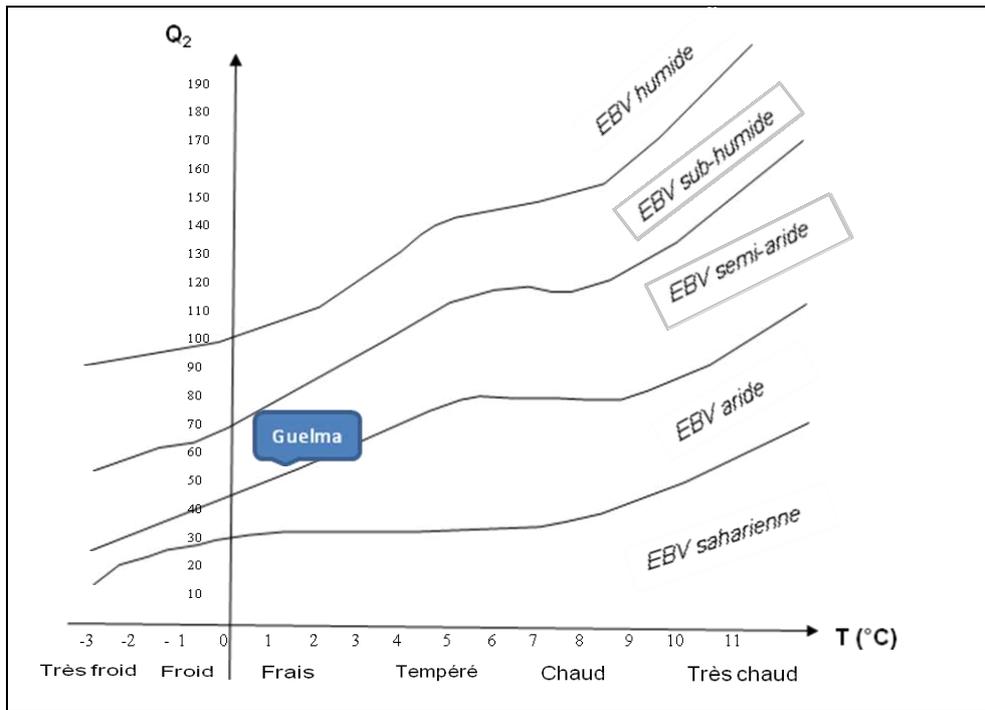


Figure 1.6 Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1994-2021).

CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES D'ETUDE



2. 1 Méthodologie

2.1.1 Démarche générale

Les changements globaux se traduisent au sein des écosystèmes lotiques par une modification des caractéristiques physicochimiques et hydrologiques des cours d'eau, résultant souvent de l'intensification des activités anthropiques. Cela a un impact direct sur les macroinvertébrés benthiques qui sont de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques (USEPA, 2002), et sont les plus utilisés pour l'évaluer (Hellawell, 1986 ; Barbour *et al.*, 1999 ; WFD, 2003).

L'écoulement des eaux aboutit à un profil longitudinal du cours d'eau qui se rapproche d'un profil d'équilibre où l'ensemble de paramètres hydrauliques, morphométriques, physiques et chimiques ont des valeurs qui varient régulièrement de l'amont vers l'aval, et que ces paramètres sont par conséquent corrélés. Dans un hydrosystème, les biotopes et leurs habitats, présentent une grande diversité de structures et, leur répartition spatiale varie selon leur position le long du continuum fluvial (Fig. 2.1) (Illies & Botosaneanu, 1963 ; Verneaux, 1976 ; Vannote *et al.*, 1980). Pente, courant, granulométrie du substrat, température, alcalinité, conductivité, pH sont des facteurs écologiques susceptibles d'intervenir dans la répartition des organismes ; leurs valeurs croissent et décroissent régulièrement sur un profil longitudinal.

Le courant (lié à la pente) et la température sont les deux facteurs essentiels qui conditionnent les possibilités d'existence des organismes en fonction de leurs limites de tolérance. Ce sont des facteurs dits limitants (Angelier, 2000). D'autres facteurs écologiques tels que la végétation (ripisylve et végétation aquatique), la distance à la source, l'orientation et le mode d'alimentation des cours d'eau ainsi que les influences humaines ont également une certaine importance, car ils agissent sur les facteurs fondamentaux et par conséquent, ils ont une influence indirecte sur la faune. D'autres travaux montrent l'importance des paramètres conditionnant l'occupation spatiale et temporelle des différents habitats. Certains d'entre eux, comme la nature du substrat et la vitesse du courant, sont habituellement considérés comme facteurs écologiques majeurs susceptibles d'influencer directement la répartition de la faune benthique (Hynes, 2001 ; Minshell & Minshell, 1977). Pour chacune des stations prélevées, plusieurs paramètres ont été déterminés afin de caractériser au mieux les conditions environnementales adjacentes. Les paramètres non conservatif (température, pH, conductivité, oxygène dissous) ont pu être mesurés in-situ à l'aide d'un appareillage électrique.

2.1.2 Caractéristiques des stations d'étude

Ce projet d'étude est mené à l'échelle du cours d'eau d'oued Seybouse, parce qu'il s'agit d'une région majeure d'activité agricole. Quatre stations ont été retenues et prospectées sur le cours principal de l'amont vers l'aval (Fig. 2.1). Le choix de ces stations a été effectué en tenant compte de certains paramètres tels que : l'altitude, la diversité des biotopes, leur situation par rapport aux agglomérations et aux sources de pollution et sur leur accessibilité. Dans un contexte de restitution de la continuité écologique des cours d'eau. Afin de pouvoir mesurer l'impact des activités anthropiques sur la qualité biologique du cours d'eau, cinq campagnes de prélèvements ont été exécutés pour la réalisation d'IBGN sur ces sites, allant du mois de décembre au mois d'avril de l'année 2022/2023, aux dates suivantes : (21/12/2022) ; (03/01/2023) ; (20/02/2023) ; (08/03/2023) et (06/04/2023). Le présent document présente les différentes localités que nous avons eu l'occasion de visiter au cours de ces campagnes de prélèvements ainsi que les résultats obtenus lors de ces campagnes.

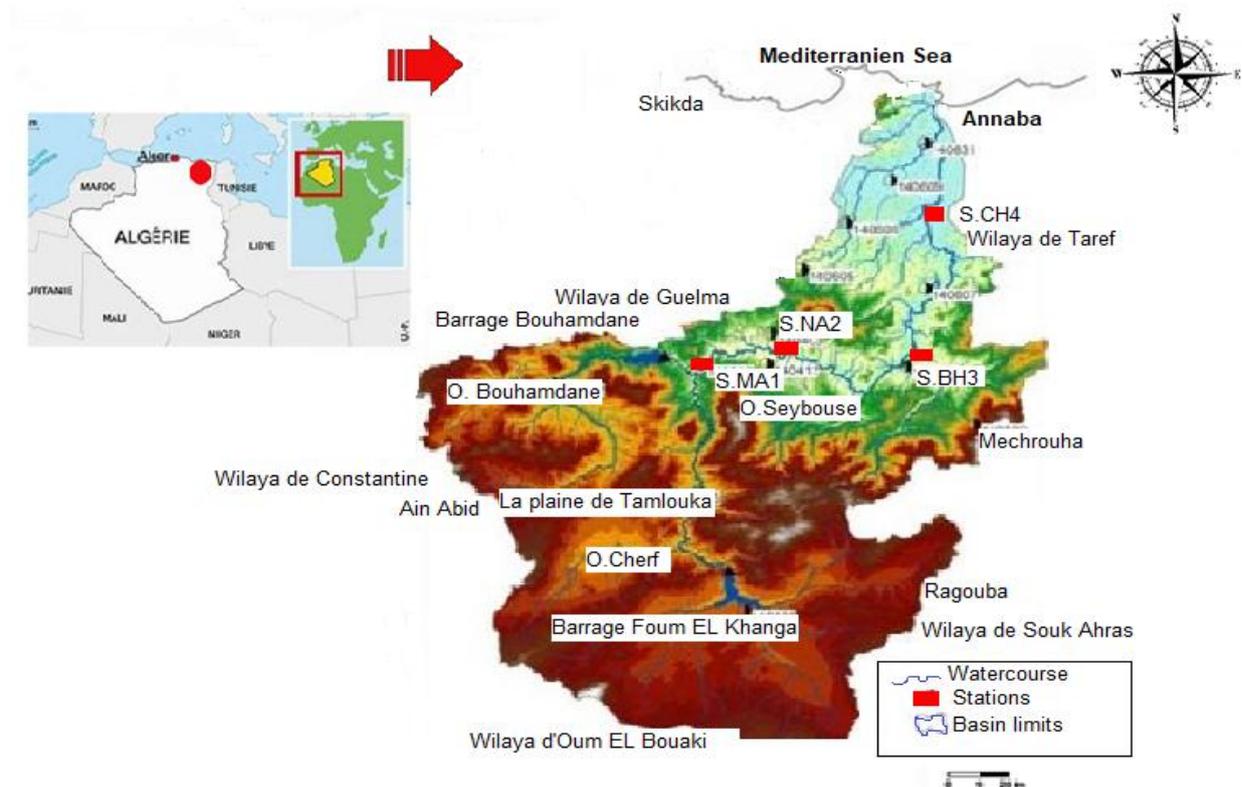


Figure 2.1. : Réseau hydrographique du bassin de la Seybouse et Stations de prélèvements.

Les stations se répartissent de la manière suivante :

▪ Station Medjez Amar (MA1)

- Communes concernées (département) : Medjez Amar -- Guelma
- Localisation et coordonnées Lambert : N 36° 26.590' - E 007° 18.720'
- Altitude (en m) : 232.7
- Code du site : MA1

Le site repose sur dépôts meubles sablo-vaseux récents, recouvert d'une large plage de Galets actives qui tendent à se recouvrir de mousses par endroits. La région se situe aux pieds du flanc ouest de la Mahouna (dont le sommet culmine à 1417m), qui dans son ensemble est un vaste synclinal de grés medjaniens [Blayac \(1912\)](#), il présente un relief montagneux principalement occupé par des zones forestières ([Bouchelaghem, 2008](#)). L'abondance de la phytocénose est moins grande dans cette section influencée par le barrage de Hammam Debagh, et cela en raison des variations du débit qui provoque les mises alternatives à sec et en eau, mais elle reste largement suffisante pour assurer dans des conditions normales une biocénose particulièrement bien développée ([Bouchelaghem, 2008](#)).

Site remarquable par l'excellent état de conservation, La végétation comprend surtout : *Typha sp*, *Phragmites australis*, *Nerium sp*, *Tamarix sp*, *Olea europaea*, et *Pistacia lentiscus*, *Juncus sp*, *Galium sp*, *Rumex acetosa*, et *Datura stramonium* ([Bouchelaghem, 2008](#)).



Photo 2.1: Oued Seybouse, Station MA1 Medjez Amar.

▪ Station Nador (NA2)

- Communes concernées (département) : Boumahra Ahmed -- Guelma
- Localisation et coordonnées Lambert : N 36° 25.280' - E 007° 36.947'
- Altitude (en m) : 136.5
- Code du site : NA2

Le cours de la Seybouse dans la région administrative de Boumahra Ahmed est situé au Nord – Est, à quelques kilomètres du chef-lieu, il dérive légèrement en direction Sud- Est, après avoir rencontré la dépression de Guelma et son bassin tertiaire constitué de terrains sédimentaires d'âge Crétacé, Oligocène, Mio pliocène, et Quaternaire [Djabri et al. \(1997\)](#).

Le débit dans cette section présente une remarquable augmentation, l'eau souterraine rejoint l'eau de surface par le biais de résurgences qui peuvent être des sources ou des affluents comme le chabet Zimba, l'oued Bou Serra, et l'oued Helia, qui rejoignent la Seybouse sur sa rive droite le long de ce tronçon. La forêt occupe les massifs de Beni Mezzeline (830m) et Aouara (932m) (Bouchelaghem, 2008).

Les activités de villégiature sont concentrées dans ce secteur, plus peuplé, fortement agricole, urbanisé et industrialisé. Les productions animales dominantes sont le bovin laitier et la volaille.

La végétation comprend surtout : *Juncus sp*, *Typha sp*, *Phragmites australis*, *Tamarix sp*, *Nerium oleander*, *Lemna minor*, *Melissa officinalis*, *Senecio sp*, *Sonchus oleraceus*, *Senecio sp* (Bouchelaghem, 2008).



Photo 2.2: Oued Seybouse, Station NA2 Nador.

▪ Station Bouchegouf (BH3)

- Communes concernées (département) : Bouchegouf -- Guelma
- Localisation et coordonnées Lambert : N 36° 28.142' - E 007° 42.245'
- Altitude (en m) : 94.9 m
- Code du site : BH3

L'oued après avoir franchir les fonds d'une gorge pittoresque, assez profonde de Nador, et les massifs montagneux qui l'enserrent presque tous boisés, semble qu'il ait profité de l'infléchissement d'axe de ces plis, qui ont fournis à l'oued un passage facile dans la dépression de Bouchegouf encadrée à l'Ouest et au Nord par des grès, au Sud par des bandes de calcaires yprésiens fortement fissurés Djabri et al. (1997).

Sur ce trajet la Seybouse accueille par ailleurs le plus important affluent sur sa rive droite, qui est l'oued El Mellah, qui devient l'oued Renam dans son cours supérieur, il traverse des bancs de calcaire en amont, et le trias sur sa partie centrale, qui est constituée d'argiles et de gypses broyé.

Il joue un rôle fondamental de par son extension et sa forte teneur en sel, sur la qualité de l'eau de la Seybouse [Nouar \(2007\)](#).

Le caractère général de ces cours d'eau est de présenter un fond généralement sableux et, par endroits, vaseux, leurs eaux sont assez troubles ([Bouchelaghem, 2008](#)).

La végétation comprend surtout : *Juncus sp*, *Typha sp*, *Phragmites australis*, *Tamarix sp*, *Nerium oleander*, *Aristolochia longa*, *Carex hirta*, *Oxalis acetosella* ([Bouchelaghem, 2008](#)).



Photo 2.3: Oued Seybouse, Station Bouchegouf BH3.

▪ **Station Chihani (CH4)**

- Communes concernées (département) : Chihani -- Taref
- Localisation et coordonnées Lambert : N 36° 39. 215' - E 007° 46.964'
- Altitude (en m) : 28.3 m
- Code du site : CH4

Le site est localisé au Sud de la plaine d'Annaba à quelques centaines de mètres à l'Est de la ville de Chihani. Cette section se caractérise en grande partie par des argiles rouges numidiennes, sur lesquelles reposent des grès peu perméables [Djabri et al. \(1997\)](#).

Le cours d'eau reprend son chemin dans une direction Nord- Sud à travers la zone septentrionale du Tell constitué de marne et grès du Néonumulitique (grès medjaniens et grès de Numidie). Cependant sur ce tronçon, l'oued ne reçoit pas d'affluents dignes d'être signalés, à l'Est, ce dernier est contigu à celui de l'oued Bounamoussa ([Bouchelaghem, 2008](#)).

Le fond, encore le plus souvent mobile, est fait de gravier sableux qui émerge en bancs. Les formations végétales se développent le long des berges des cours d'eau sur les terrasses alluviales proches, y est caractérisée par des espèces à forte dynamique croissance rapide, importante multiplication végétative par rejets ...), ce qui leur permet de réoccuper l'espace

rapidement après les perturbations ou destructions causées par les crues, *Tamarix sp*, *Datura stramonium*, *Senecio cineraria*, *Sonchus oleraceus*, *Senecio erucifolius* (Bouchelaghem, 2008).



Photo 2.4 : Oued Seybouse, Station CH4 Chihani.

2.1.3 Matériel

2.1.3.1 Matériel de terrain

- Appareil de mesure des paramètres de la qualité de l'eau de terrain (multi-paramètre).
- Gants latex.
- Tamis (0.5mm).
- Tubes en verre à visse de 15ML.
- Flacons à Formole (10%).
- Flacon à Alcool.
- Surber.
- Echantillonneur de type Haveneau (cadre de 1/20 m²) et troubleau.
- Chronomètre.
- Glacières portative.
- Fiches de terrain.
- Appareil photo.
- Des bottes.

2.1.3.2 Matériel de laboratoire

- Etiquettes.
- Pincettes.
- Pinceaux.
- Boîtes de pétri.
- Loupe binoculaire.
- Guides d'identification des macros invertébrées.
- Formol (10%).
- Ethanol.



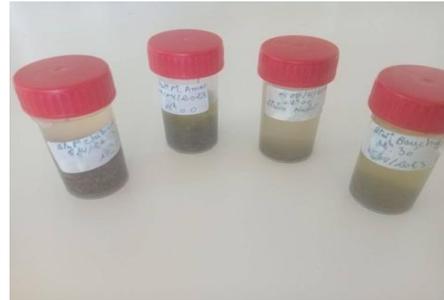
(a) Appareil de mesure des paramètres de la qualité de l'eau (multi-paramètre de terrain)



(b) Glacières portative



(c) Surber



(d) Bocaux de 25ML



(e) Loupe binoculaire



(f) Guides d'identification des macro-invertébrées



(g) Pincettes



(h) Boîtes de pétri

Figure 2.2 : Matériel utilisé

2. 1.4 Protocole et Stratégie d'échantillonnage

L'habitat des macros invertébrés benthiques, comme celui de tout autre organisme vivant possède des composantes biologiques (ex. : végétation), physiques (ex. : substrat, écoulement) et chimiques (ex. : pH, azote). La diversité biologique des rivières est étroitement liée à la qualité de l'habitat. Ainsi, afin de bonifier le suivi des macros invertébrés benthiques, l'évaluation de l'habitat environnant, offre un complément d'information utile (Moisan, 2011).

Le travail d'échantillonnage avait pour but de restituer un échantillon représentatif de la population de grands invertébrés de la vallée. Il était donc préférable d'échantillonner à différentes stations du cours d'eau (eau calme, eau vive, sous et sur les rochers). Cependant, la plupart des grands invertébrés se trouveront sous de grosses pierres submergées.

Un protocole d'échantillonnage a été défini selon les critères imposés par l'indice biologique global normalisé, IBGN (AFNOR NF T90-350). Et applicable en toutes saisons, cependant il est préférable d'éviter les périodes de hautes eaux. Les prélèvements ne doivent pas être effectués lors d'événements hydrologiques exceptionnels fatales aux invertébrés (fortes crues ou sécheresses) (Bouati & Boualleg, 2019).

2.1.4.1 Méthode d'échantillonnage

Les stations prospectées (Fig.2.1) ont été choisies pour suivre l'évolution des peuplements sur une grande variété de substrat, et de couples vitesse-profondeur afin de recueillir un maximum de diversité de *taxa*. Ce choix s'est basé sur l'accessibilité au site et sa commodité d'échantillonnage, la profondeur et l'altitude : en effet 4 stations ont été choisies au niveau d'oued Seybouse.

La faune prélevée à l'aide de filets Surber et troubleau est recueillie dans des bocaux, et fixée dans de l'alcool à 70 %.

Une fois arrivée sur le site, ont été enregistré sur la fiche technique préparée au préalable, l'heure, la date, les coordonnées GPS et les paramètres organoleptiques (couleur, odeur, profondeur et largeur de lit).

Nous avons noté :

- ✓ Les différents types de végétations qui existent dans chaque site visité.
- ✓ Nous avons aussi inscrits les différentes activités

A l'aide d'un appareil (Multi paramètre) nous avons évolué les paramètres suivants :

- pH.
- Température.
- Potentiel d'oxydo-réduction.
- Oxygène dissous.
- Salinité.
- Conductivité électrique.
- Total des Solides Dissous

Après avoir fini cette tâche, nous avons entamé les échantillonnages :

- Des échantillons ont été prélevés sur les macroinvertébrés trouvés sur les pierres dans les parties submergées de la surface, sont recueillies et rincées et l'eau de rinçage est passée sur le tamis de 0,5 mm de maille.
- Les individus visibles sont préalablement recueillis, cet échantillonnage a été effectué à l'aide d'un Surber, d'ouverture d'une surface unitaire de $1/20 \text{ m}^2$ et de vide de maille de $100\mu\text{m}$. Il doit être bien nettoyé avant de commencer l'opération afin d'éviter la contamination par des spécimens n'appartenant pas à la station.
- L'engin est déposé sur le fond du cours d'eau à contre-courant. Les pierres et galets de la surface échantillonnée ont été retournés et nettoyés à l'ouverture du Surber au moyen d'une brosse pour arracher les espèces fixées ainsi que celles agrippées au substrat.

2.1.4.2 Pré-tri et conservation des échantillons

Le contenu recueillis est vidé dans un récipient blanc, afin d'en faciliter le tri, un tamis a été utilisé pour récupérer la faune la plus représentative, qui ensuite, va être renfermée dans des bocaux en plastique. Le nom de la station, la date et l'heure sont inscrits sur chaque récipient, Les échantillons obtenus des différents milieux, ont été transportés au laboratoire dans une glacière à $4 \text{ }^\circ\text{C}$, les taxa ont été identifiés à l'aide de loupes binoculaires et de microscopes (Bouati & Boualleg, 2019).

2.1.4.3 Tri et détermination

Au laboratoire, les organismes benthiques sont extraits des bocaux. Les échantillons sont bien rincés à l'eau du robinet pour éliminer les éléments grossiers (feuilles, cailloux, plantes, etc...). Après nettoyage, les échantillons sont versés dans des boîtes de Pétri pour tri, identification et quantification sous une loupe binoculaire, parfois à l'œil nu. Cette opération est réalisée à l'aide d'une pince fine et un pinceau afin de préserver la forme de l'échantillon. L'unité taxonomique retenue dans ce travail est la famille, par ce que c'est une unité taxonomique plus stable (Bouati & Boualleg, 2019).

Après avoir constaté et identifié tous les échantillons, ils sont placés dans des tubes en verre (25ML) contenant de l'éthanol pour les conserver, avec un nom et un numéro sur chaque tube. L'identification des organismes benthiques se fait à l'aide de clés d'identifications présentes dans les guides d'identification des macroinvertébrés : [Tachet Henri *et al.* \(2010\)](#) et [Moisan Julie \(2010\)](#).

2.1.4.4 Mesure des caractéristiques physiques in situ

Après avoir mis en évidence les changements survenus dans la composition faunistique, nous nous sommes intéressés aux causes de ces changements, pour voir comment les modifications survenues au sein du milieu aquatique ont pu contribuer à faire des modifications dans la structure spécifique. Les perturbations abiotiques sont en effet l'un des facteurs dominants qui contribuent à la modification du modèle spatial et temporel de la structure des communautés benthiques dans les écosystèmes lotiques ([Scrimgeour *et al.*, 1994](#)). Au moyen d'un multi paramètre portable (marque HANNA HI 9828), les paramètres physico-chimiques de chaque station prospectée mensuellement ont été mesurés. Ces paramètres étaient : température (T) exprimée en degrés Celsius (°C), pH, salinité (SAL) en (psu), conductivité électrique (EC) en $\mu\text{s}/\text{cm}$, oxygène dissous(DO) en (mg/L), TDS en (ppt), et le potentiel d'oxydo-réduction (ORP) en (mV).

• Température

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique : Plus la température de l'eau s'élève, la quantité d'oxygène dissous diminue. Une température trop élevée des eaux d'une rivière peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissoute pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'auto épuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds (odeurs), la croissance accélérée des végétaux (dont les algues). La pollution thermique peut avoir pour origine des rejets d'eaux chaudes urbains ou industriels dans le cours d'eau. En période estivale, par forte température atmosphérique, le réchauffement brutal par le soleil des eaux en mauvais état d'une rivière peu oxygénée, cela peut aboutir à un choc thermique entraînant une mortalité piscicole spectaculaire. Les bordures boisées des cours d'eau (ripisylves) limitent l'échauffement des eaux.

▪ Potentiel hydrogène

Ce paramètre donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Le pH (potentiel Hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions H^+ : $pH = -\log [H^+]$. Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Il détermine si une substance est acide, neutre ou basique. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie. L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7 ; Le pH doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique. Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant :

- > 7 en régions calcaires où les eaux sont basiques car fortement minéralisées,
- < 7 en région de sous-sol primaire où les eaux sont acides.

▪ Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25 °C. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau (2).

▪ Oxygène dissous

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies. En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène c'est l'asphyxie des poissons. (7 mg/l pour les salmonidés ; 3 mg/l pour les carpes) L'oxygène de l'eau permet également le processus d'oxydation des matières organiques, mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène. Avant tout, la capacité de dissolution de l'oxygène est fonction de la température de l'eau. À saturation (à la suite d'un bon mélange qui permet la diffusion dans l'eau de l'oxygène présent dans l'atmosphère), une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène qu'une eau chaude. Car plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble.

Valeurs de saturation en oxygène de l'eau en conditions ordinaires (pression atmosphérique 760 mm de Hg) : à 5°C, maximum d'oxygène dissous : 12,3mg/l. ; à 10°C : 10,9 mg/l. ; à 15°C : 9,7mg/l. ; à 20°C : 8,8mg/l. ; à 25°C : 8,1 mg/l. Les concentrations en oxygène

ne demeurent cependant pas nécessairement à leur point de saturation ; elles subissent régulièrement des modifications occasionnées par les activités biologiques. La photosynthèse des végétaux produit de l'oxygène, si bien qu'en milieu productif (importante production primaire), les concentrations d'oxygène atteignent, pendant le jour, des valeurs bien au-dessus des taux de saturation dictés par la température.

▪ Salinité

La salinité est l'une des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium,...) au travers de la conductivité électrique de cette eau. Cette salinité est sans unité, mais elle est encore souvent exprimée en gramme de sel par kilogramme d'eau (g/kg), en gramme de sel par litre d'eau (g/l).

La salinité est le poids en grammes de résidu solide contenu dans un kilogramme d'eau de mer quand tous les carbonates ont été transformés en oxydes, le brome et l'iode remplacés par le chlore, et que toute la matière organique a été complètement oxydée. Cette détermination étant difficile à réaliser, une méthode plus simple a été recherchée. Sa mesure en 1903 Knudsen a mis au point une méthode chimique pour mesurer la salinité et la densité. La salinité (S) est, d'après la loi de Dittmar, proportionnelle à la chlorinité (Cl). Nous considérons actuellement que :

$$S = 1.806655 Cl$$

La chlorinité est déterminée en précipitant les halogènes par du nitrate d'argent. Le dosage se fait en valeur relative par rapport à une eau de référence. Cette eau, dite « eau standard », est préparée par le Laboratoire Hydrographique de Copenhague. Sa chlorinité est proche de 19,381 g/kg correspond à une salinité de 35 g/kg.

▪ TDS

Total des Solides Dissous est une valeur utilisée pour évaluer la qualité de l'eau. L'unité de mesure pour le TDS est exprimée en microgramme par litre. Elle détermine la quantité totale des substances organiques et inorganiques dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques. Les sels inorganiques communs trouvés dans l'eau incluent le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium qui sont tous des cations et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates qui sont tous des anions. Des cations sont des ions chargés positivement et des anions sont des ions chargés négativement.

2.1.4.5 Identification des macroinvertébrés et analyses des données

2.1.4.5.1 Les Ephéméroptères

Les Éphéméroptères correspondent à un ordre d'insectes hémimétaboles dont les larves sont exclusivement aquatiques. Sont les plus anciens des insectes aquatiques, ils sont connus depuis le Carbonifère. Ce qui distingue ce groupe des autres insectes ailés est son incapacité à replier confortablement ses ailes sur son abdomen ([Gattolliat, 2002](#)).

Celles-ci se caractérisent typiquement par la présence d'yeux composés ([Tachet et al, 2010](#)). La présence de deux (rare) ou trois queues (deux cerques et un paracerque) ([Moisan, 2010](#)). De pattes portant une seule griffe au tarse et de branchies abdominales (au moins chez les larves âgées) en position latérale ou latéro-dorsale ([Tachet et al, 2010](#)). Les larves ont tous dix segments abdominaux. On détermine leur numéro (le même que celui des branchies) en comptant à partir du dixième, c'est-à-dire de l'extrémité de l'abdomen ([Fig. 2.3](#)). De façon générale, ils sont très sensible à la pollution et aux modifications anthropiques de l'environnement. Ce sont donc des outils de suivi indispensables et largement utilisés (indicateurs de bonne qualité de l'eau) ([Moisan, 2010](#)).

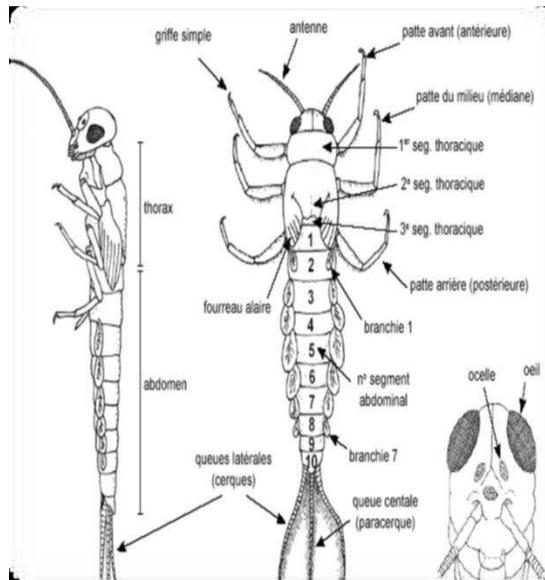


Figure 2.3 : Morphologie générale des larves d'éphéméroptères ([Moisan, 2010](#)).

2.1.4.5.2 Les Trichoptères

Les Trichoptères sont des insectes holométaboles dont les larves et les nymphes sont aquatiques (Tachet *et al.*, 2010). Ce sont des insectes papillons entièrement métamorphosés, hygroscopiques, souvent lucifuges (Grassé *et al.*, 1970).

La principale caractéristique des larves est la présence de deux crochets anaux. Ceux-ci sont situés au bout de l'abdomen de chaque côté ou sur des fausses pattes. La tête ainsi qu'au moins un segment thoracique sont sclérifiés (durs) (Moisan, 2010).

La tête est totalement sclérifiée et constitue une capsule céphalique, les yeux sont réduits à de simples taches Oculaires, les antennes sont en général très courtes. Les pièces buccales se composent d'un labre, d'une paire de mandibules dont la forme varie en fonction du régime alimentaire, portent souvent des touffes de soies sur leur face interne (Tachet *et al.*, 2010). L'abdomen est mou comme celui d'une chenille, composé de neuf (9) segments, toujours membraneux du segment 1 au segment 8 sur le dernier tergite abdominal (Moisan, 2010). Plusieurs larves de trichoptères se construisent un étui. Constitués de petites pierres ou de débris végétaux, les fourreaux ont des formes très diverses selon la famille.

Elles possèdent de longues antennes et deux paires de fourreaux alaires, Leurs mâchoires sont longue et se croisent habituellement. De façon générale, les trichoptères sont sensibles à la pollution. La famille des Hydropsychidae a cependant une tolérance moyenne à la pollution (Fig. 2.4).

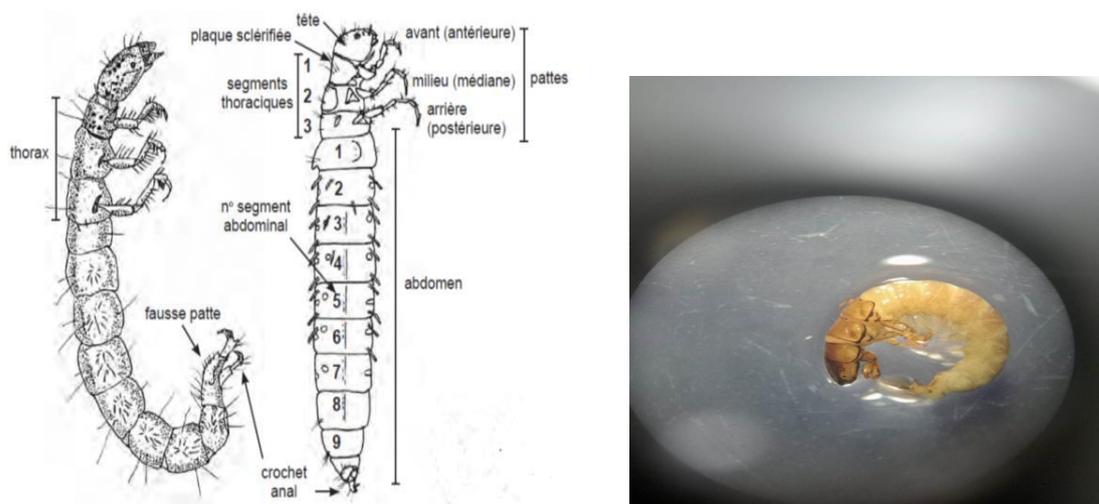


Figure 2.4 : Morphologie générale des larves des trichoptères (Moisan, 2010).

2.1.4.5.3 Les Diptères

Les Diptères (mouches) sont le deuxième ordre d'insectes le plus important après les Coléoptères. La plupart des Diptères sont terrestres. Seules quelques familles sont adaptées à la vie aquatique aux stades larvaire et nymphal (Moisan, 2010).

Les larves de diptères sont caractérisées par l'absence de pattes thoraciques qui peuvent être remplacées par des pseudopodes ou des bourrelets locomoteurs. La capsule céphalique est, soit bien individualisée (larve eucéphale), soit sclérifiée et rétractile dans les premiers segments thoraciques (larve hémicéphale), ou totalement régressée (larve acéphale). Le corps comprend de onze à quinze segments dont les trois premiers sont thoraciques (Tachet *et al*, 2010).

La fin de l'abdomen peut porter des soies et/ou des appendices. La tête est soit distincte, soit indistincte. Des nymphes sont également présentes dans les cours d'eau. La nymphe est l'état intermédiaire entre la larve et l'adulte. Elle peut être libre, dans une enveloppe souple fixée au substrat, ou enfermée dans une enveloppe dure. En milieu aquatique, la famille la plus importante est celle des Chironomidae, qui est considérée tolérante à la pollution. Les autres diptères ont une tolérance moyenne. De toutes les nymphes, seules celles des Chironomidae seront identifiées à la famille (Fig. 2.5).

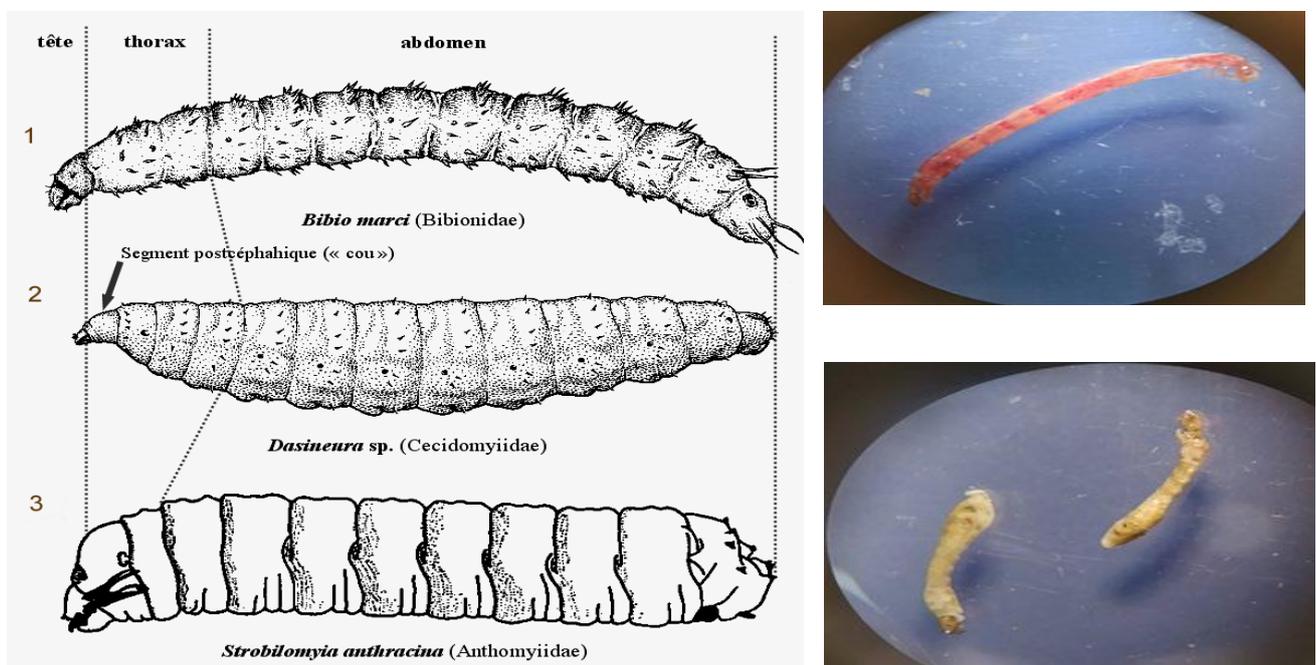


Figure 2.5 : Larves de Diptères (Moisan 2010).

• Chironomidae

Corps vermiforme (mince et allongé), segments du thorax distincts, présence d'une paire de fausses pattes au début au thorax et d'une paire à la fin de l'abdomen, la tête distinct du thorax sans panache de soies, petits crochets sur les fausses pattes (Moisan, 2010).

• Simuliidae

Corps renflé dans la partie postérieure, celle-ci terminée par un disque en forme de ventouse au bout de l'abdomen pour s'accrocher aux rochers. Ils vivent dans les ruisseaux et les rivières (Tachet et al ,2010). Segments du thorax indistincts, fausse patte thoracique unique, tête distinct portant deux panaches de soies (Moisan, 2010)

2.1.4.5.4 Les Odonates

Les Odonates comme tous les insectes sont très anciens (Bouchelaghem, 2008), constituent un ordre d'insectes hémimétaboles à larves exclusivement aquatiques. Se divise en deux sous-ordres principaux sont les Zygoptères et les Anisoptères. D'un point de vue phylogénétique, les Zygoptères sont plus primitifs que les Anisoptères (Tachet, 2010). La principale caractéristique des Odonates est la lèvre inférieure, qui est transformée en masque rétractable servant à capturer les proies. Ils possèdent également de gros yeux. Ils préfèrent les eaux calmes et sont souvent associés à la végétation. Leur tolérance à la pollution est moyenne (Fig. 2.6).

- **Les Zygoptères** sont des individus frêles et grêles au vol peu soutenu, les ailes antérieures et postérieures identiques (Bouchelaghem, 2008). Corps allongé et abdomen étroit et cylindrique, tête plus large que le corps, trois branchies en forme de feuille à l'extrémité de l'abdomen, communément appelés demoiselles (Moisan, 2010).

- **Les Anisoptères**, corps relativement massif (abdomen large) ont un vol puissant et soutenu, les ailes antérieures et postérieures toujours dissemblables (Bouchelaghem, 2008). L'abdomen se termine par cinq petites pointes triangulaire, tête habituellement plus étroite que le corps, communément appelés libellules (Fig. 2.6).

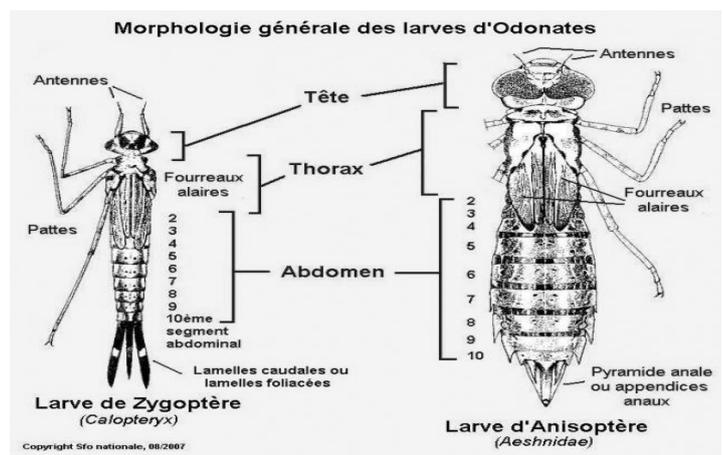


Figure 2.6 : Morphologie générale des larves d'Odonates (Société générale d'otonatologie, 2007 in Bouchelaghem, 2008).

2.1.4.5.5 Les Mollusques

Les mollusques sont des invertébrés à corps mou dont la plupart possèdent une enveloppe externe dure, la coquille (Moisan, 2010). En général sont aquatiques. La plupart vivent dans la mer, d'autres habitent les eaux douces, et d'autres encore vivent sur la terre, principalement aux lieux humides ou ombragés (Lamarck, 2003). Massif, sans squelette interne.

• Les Gastéropodes

Les Gastéropodes constituent une classe des Mollusques fondamentalement asymétriques par suite d'une torsion qui affecte l'ensemble de l'anatomie (Tachet *et al*, 2010) et c'est la deuxième classe du règne animal après les insectes en termes d'espèces. Il existe environ 40 000 espèces différentes (Mathieu, 1995).

Caractérisée par la présence d'une seule coquille habituellement spiralée comme celle des escargots. Chez certains, il y a 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 ont une tolérance moyenne à la pollution, et ceux sans opercule sont considérés comme tolérants (Fig. 2.7).

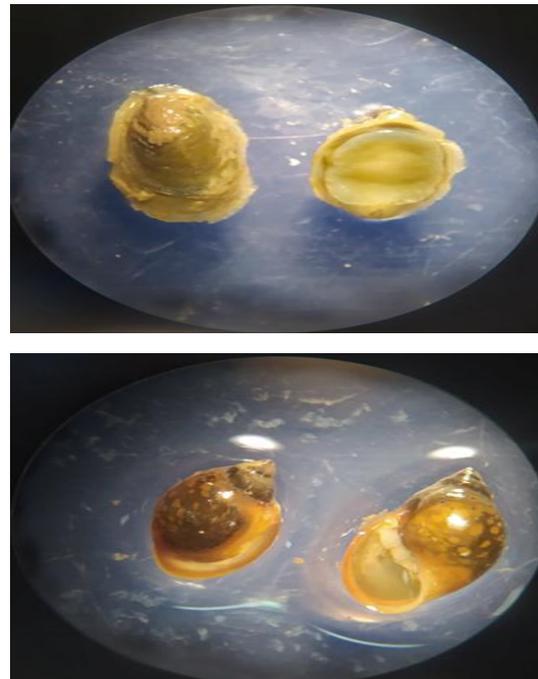
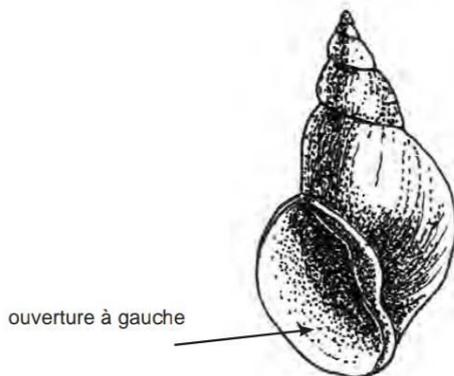


Figure 2.7 : Morphologie générale des des physidae (Moisan, 2010)

2.1.4.5.6 Les Crustacés

Crustacés comprend un très grand nombre d'espèces en milieu marin. En eau douce, trois sous-classes correspondent à des macro-invertébrés : Branchiures, Branchiopodes et les Malacostracés (Tachet *et al*, 2010). Les crustacés vivant en eau douce possèdent un minimum de cinq paires de pattes articulées exception faite des ostracodes, ainsi que deux paires d'antennes (Moisan, 2010). Le corps est divisé en trois parties : le céphalon, le thorax et l'abdomen. Le dernier segment est le telson qui porte l'anus. Le céphalon porte dorsalement les yeux, deux paires d'antennes, autour de la bouche, trois paires d'appendices : les mandibules, les maxilles 1 et 2 (Tachet *et al*, 2010). Les crustacés sont les seuls arthropodes à posséder deux paires d'antennes, leurs pattes émergent du thorax, et contrairement aux insectes, ils possèdent des appendices sur l'abdomen. Les Crustacés peuvent régénérer un appendice perdu (Mathieu, 1995 in Bouhala 2012) (Fig. 2.8).

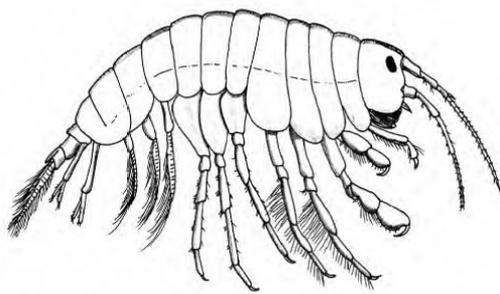


Figure 2.8 : Morphologie générale des larves des crustacés (Moisan, 2010).

2.1.4.5.7 Les Achètes

Les Achètes (ou sangsues) c'est une classe d'Annélides très évolués dont la parenté est du côté des Oligochètes. Les sangsues sont aquatiques, qu'elles soient marines, d'eau douce ou terrestres (Bautz *et al.*, 2010). Toutes les sangsues ont des yeux, leur nombre varie de deux à dix, corps segmenté, mais la segmentation superficielle (anneau) ne correspond pas toujours à la

segmentation interne, Leurs segments n'ont ni pattes accessoires ni soies, ils sont donc aussi appelés achète ([Grassé *et al.*, 1970](#)). Les Achètes sont hermaphrodites ; les orifices génitaux sont situés ventralement au niveau du tiers antérieur ; l'orifice génital mâle est situé en avant de l'orifice génital femelle. Plusieurs espèces sont parasites (ecto- ou méso parasites), mais peuvent mener une vie libre à la recherche de leur hôte ([Tachet *et al.*, 2010](#)), ([Fig. 2.9](#)) et ([Fig. 2.10](#)).

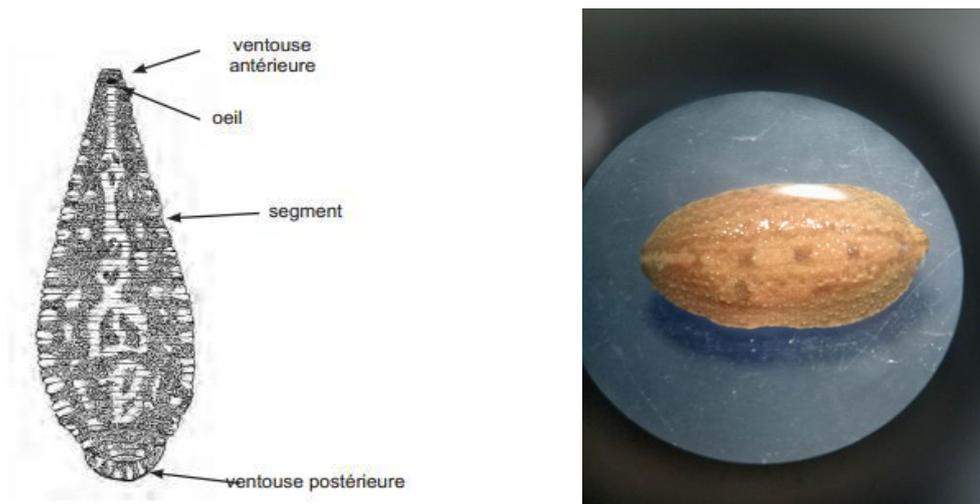


Figure 2.9 : Morphologie générale des Achètes ([Moisan, 2010](#))

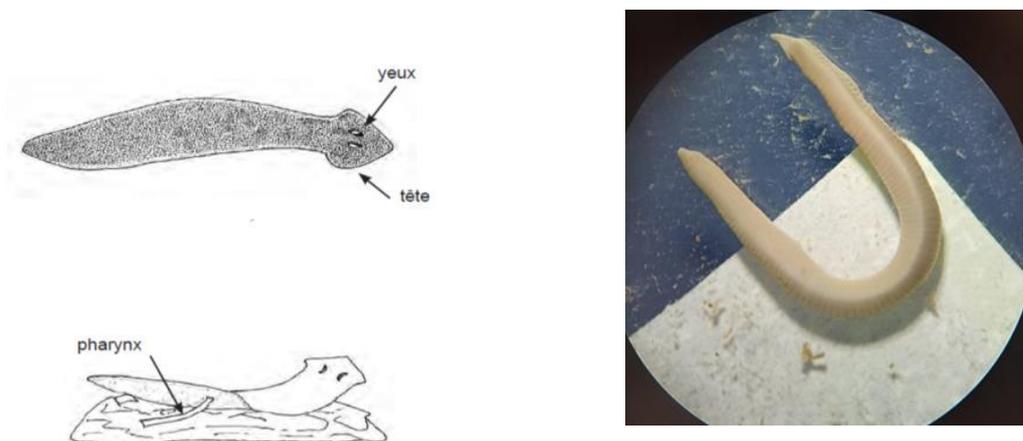


Figure 2.10 : Morphologie générale des planaires ([Moisan, 2010](#))

2. 1.5 Analyse de données

2.1.5.1 Descripteurs biologiques

▪ Richesse spécifique

La richesse des espèces est le nombre d'espèces différentes représentées dans une communauté écologique, un paysage ou une région.

Typiquement, la richesse spécifique (RS) est utilisée dans les études de conservation pour déterminer la sensibilité des écosystèmes et des espèces qui y vivent (6).

▪ La fréquence

C'est le pourcentage des individus d'une espèce (n_i) par rapport au total des individus. L'abondance relative des espèces dans un peuplement ou dans un échantillon, caractérise la diversité faunistique d'un milieu donné (N).

La fréquence centésimale est calculée par la relation :

$$Fe = ni/N \times 100$$

n_i : le nombre des individus de l'espèce dans l'échantillon.

N : le nombre total des individus de toute espèce dans l'échantillon.

L'abondance : Correspond au nombre d'individus échantillonnées (7).

▪ Indice de diversité de Shannon-Weaver (1963) (H')

L'écologie utilise différents descripteurs statistiques pour caractériser la diversité des peuplements. D'aucuns parleraient de biodiversité, mais ce terme n'est pas tout à fait approprié ici. Lorsque l'écologue étudie les peuplements d'un écosystème, il va plutôt se référer à différents indices plus précis. Les premiers d'entre eux concernent la richesse spécifique S, la biomasse B ou encore l'abondance A d'une espèce. Les seconds concernent la diversité spécifique à un habitat, voire un écosystème particulier.

La diversité spécifique prend ainsi en compte aussi bien le nombre d'espèces que la distribution des individus au sein de ces espèces. L'écologue tient ainsi à sa disposition plusieurs indices de diversité. Ceux-ci sont le plus souvent accompagnés d'indices d'Equitabilité, qui traduisent la répartition des abondances d'espèces dans le peuplement. Grâce à ces indices, il devient possible de suivre l'évolution des peuplements au cours du temps, mais également de les comparer entre stations étudiées (8).

L'indice de diversité le plus couramment employé est l'indice de Shannon. Il est aussi appelé indice de Shannon-Wiener, est une mesure de diversité spécifique couramment employée, en relation avec les fréquences relatives des différentes espèces de l'échantillon. $H'=0$ quand l'échantillon ne contient qu'une seule espèce (ou une espèce dominante) et augmente à mesure que s'accroît le nombre d'espèces. Pour un nombre donné d'espèces, H est maximum quand toutes les espèces sont également représentées dans l'échantillon. Il est sensible aux variations d'importance des espèces les plus rares (Bouati & Boualleg, 2019).

Il est donné par la formule suivante :

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

Où : p_i : abondance proportionnelle (relative) du taxon i par rapport aux autres taxons ou pourcentage d'importance de l'espèce :

$$p_i = n_i/N$$

S : nombre total d'espèces.

n_i : nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon.

N : nombre total d'individus (taxons) de toutes les espèces dans l'échantillon.

Elle informe sur la structure du peuplement dont provient l'échantillon et sur la façon dont les individus sont répartis entre les diverses espèces. L'indice de diversité de Shannon Weaver est le meilleur indice que l'on puisse adopter (9).

• Indice d'Équitabilité de Pielou (1966) (J')

L'indice d'Équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (Equirépartition des individus dans les espèces) (Grall, & Coïc, 2005).

L'Équitabilité (J') est le rapport entre l'indice de diversité réelle (H') et la diversité maximale théorique ($H'_{max.}$) (Bouati & Boualleg, 2019).

Sa formule correspond au rapport entre H' et H_{max} :

$$J' = H'/H_{max.}$$

L'indice d'Équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (Equirépartition des individus dans les espèces) (Grall & Coïc, 2005).

2.1.5.2 Détermination de l'indice biologique global (IBGN)

Les macroinvertébrés benthiques sont en effet de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques, grâce à leur capacité à intégrer les effets cumulatifs et synergiques, des perturbations physiques, chimiques et biologiques, dans les cours d'eau. Le principe de l'IBGN est de prélever la macrofaune benthique au niveau d'une station, selon un mode d'échantillonnage standardisé. Le calcul de l'indice se fait à partir d'un tableau standard. L'indice est défini en 5 classes, eau de mauvaise qualité (≤ 4), eau de qualité médiocre (8–5), eau de qualité moyenne (9–12), eau de bonne qualité (13–16), eau de qualité excellente (≥ 17). L'indice biologique global normalisé (IBGN) c'est un outil permettant une représentation synthétique et rapide de l'écosystème étudié. Il prend en compte l'ensemble des invertébrés de la communauté et pas uniquement les groupes les plus sensibles. Il peut être utilisé avec l'objectif de situer la qualité biologique d'un site considéré. Selon le tableau de calcul de l'IBGN, la variété taxonomique est divisée en 14 classes (Tab.2.1) et (Tab.2.2) comprenant les neuf groupes faunistiques indicateurs (GI) (10).

On détermine à partir des 2 tableaux successivement :

* **La variété taxonomique de l'échantillon (Σt)** égale au nombre total de taxons récoltés même s'ils ne sont représentés que par un seul individu. Ce nombre est confronté aux classes figurant en abscisse du [tableau \(2.1\)](#)

* **Le groupe faunistique indicateur (GI)** en ne prenant n'en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins 3 individus ou 10 individus selon les taxons ([Tab 2.2](#)) (11).

La détermination du GI s'effectue en prospectant le tableau de gauche à droite (GI 9 à GI 1) et en arrêtant l'examen à la première présence significative ($n > 3$ individus ou $n > 10$ individus) d'un taxon du répertoire du tableau.

Tableau (2.1) : Tableau de détermination de la classe de variété taxonomique.

VT	>50	49à45	44à41	40à37	36à33	32à29	28à25	24à21	20à17	16à13	12à10	9à7	6à4	3à1
Classe de variété	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Tableau (2.2) : Tableau de détermination du groupe faunistique indicateur (G.I)

Taxons	Chloroperliidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	Capniidae Brachycentridae Odontoceridae Philopotamidae	Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlebiidae	Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae	Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	Leptoceridae Polycentropodidae Psychomyiidae Rhyacophilidae	Limnephilidae Hydropsychidae Ephemeralidae Aphelocheiridae	Baetidae Caenidae Elmidae Gammariidae Mollusques	Chironomidae Asellidae Achètes Oligochètes
GI	9	8	7	6	5	4	3	2	1

En gras, les taxons représentés par au moins dix individus - Les autres par au moins trois individus.

L'IBGN est calculé par la relation suivante :

IBGN = N° du groupe faunistique indicateur + (N° de classe de variété – 1) avec IBGN < 20

$$\text{IBGN} = \text{GI} + \text{VT} - 1$$

▪ **Appréciation de la qualité des cours d'eau**

Pour une représentation cartographique des résultats, chaque tronçon de cours d'eau est affecté d'une couleur avec une note allant de 0 à 20 suivant la valeur de l'IBGN. A chaque couleur associée à son numéro pour désigner la qualité des cours d'eau (Djemali & Rahal, 2019).

IBGN	20 à 17	16 à 13	12 à 9	8 à 5	4 à 0
Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge

La définition des classes de qualité est comme suivant :

- **Classe 1A** : qualité excellente, absence de pollution (Bleue).
- **Classe 1B** : qualité bonne, pollution modérée (Verte).
- **Classe 2** : qualité moyenne, pollution nette (Jaune).
- **Classe 3** : qualité médiocre, pollution important (Orange).
- **HC (Hors Classe)** : qualité mauvaise, pollution excessive (Rouge).

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS



3.1. Résultats

3.1.1. Paramètres physiques de l'eau

3.1.1.1. Température

La température la plus élevée a été mesurée à la station de Bouchegouf (16.68°C), suivie de la station Medjez Amar (16.23°C). En revanche dans les Stations de Chihani et Nador, nous avons enregistré un minimum thermique passant entre (15.92°C) à (15.57°C) respectivement (Fig.3.1).

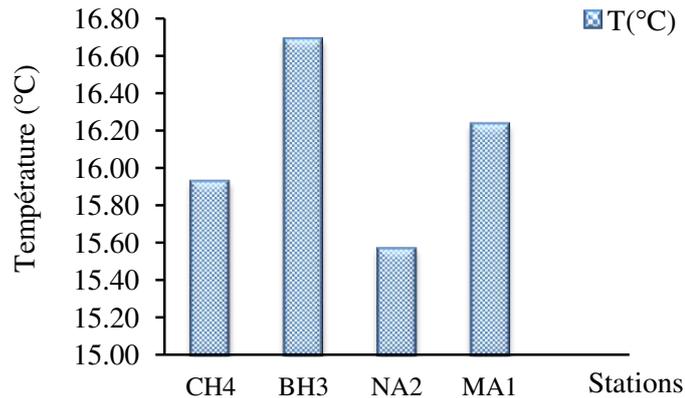


Figure 3.1 : Fluctuation de la température mensuelle selon les stations

3.1.1.2. Potentiel hydrogène

Les valeurs du pH dans le site d'étude sont progressivement alcalines et augmentent délicatement de l'amont vers l'aval. La valeur moyenne la plus élevée a été notée à Chihani (8,03) et la valeur la plus basse à Bouchegouf (7,47)(Fig .3.2).

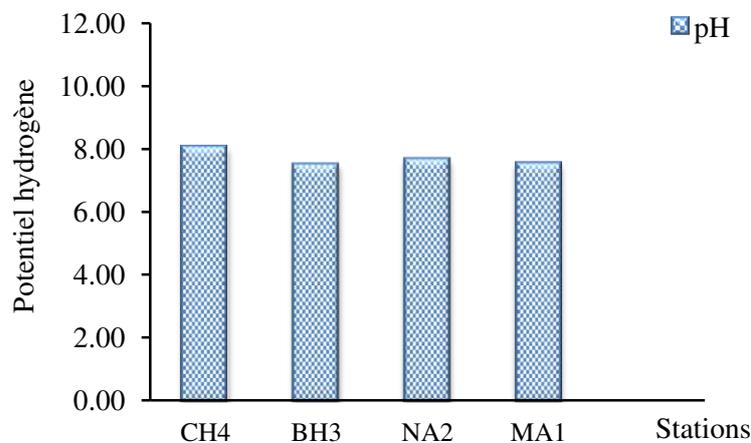


Figure 3.2 : Fluctuation du potentiel hydrogène selon les stations

3.1.1.3. Conductivité électrique

La valeur moyenne de la conductivité électrique la plus élevée a été constatée à Bouchegouf (4358.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$), suivie de Chihani avec une valeur moyenne à environ (4057.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$), d'autre part, des valeurs faibles (2913.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et (2824.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ont été mesurées à Medjez Amar et Nador respectivement (Fig.3.3).

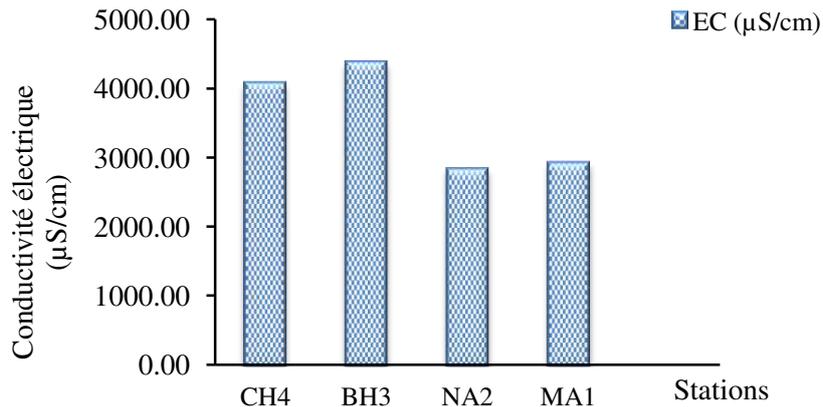


Figure 3.3 : Fluctuation de la conductivité électrique selon les stations

3.1.1.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est généralement à saturation dans tous les sites prospectés, la valeur la plus faible a été enregistrée à la station de Medjez Amar (4.08 mg/l), Alors que la valeur la plus élevée a été indiquée à Bouchegouf (5.90 mg/l), les sites prospectés de Nador et Chihani indiquent des valeurs proches de (5.17 mg/l) et (5.01 mg/l) respectivement (Fig.3.4).

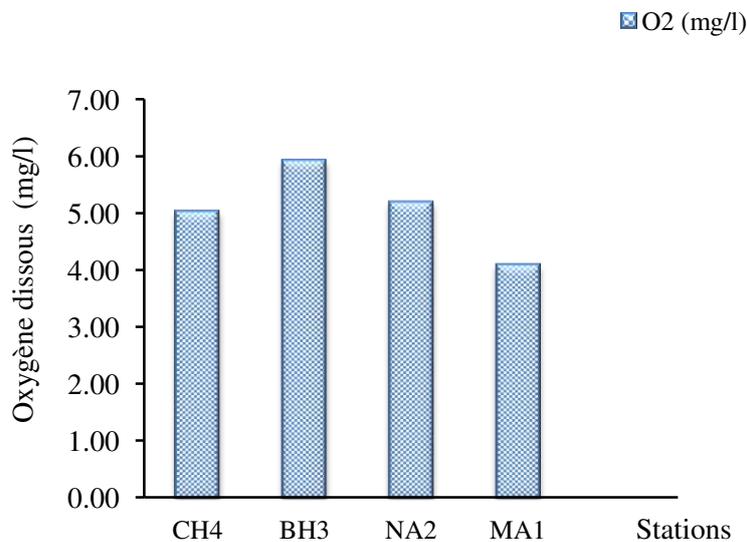


Figure 3.4 : Fluctuation d'Oxygène dissous selon les stations

3.1.1.5. Salinité

La salinité des eaux de l'oued Seybouse passe d'une valeur minimale enregistrée à la station de Nador (1.48 psu), à un maximum de (2.35 psu) à Bouchegouf. En ce qui concerne les autres stations, on a enregistré (2.18 psu) à Chihani et (1.53 psu) à Medjez Amar (Fig 3.5).

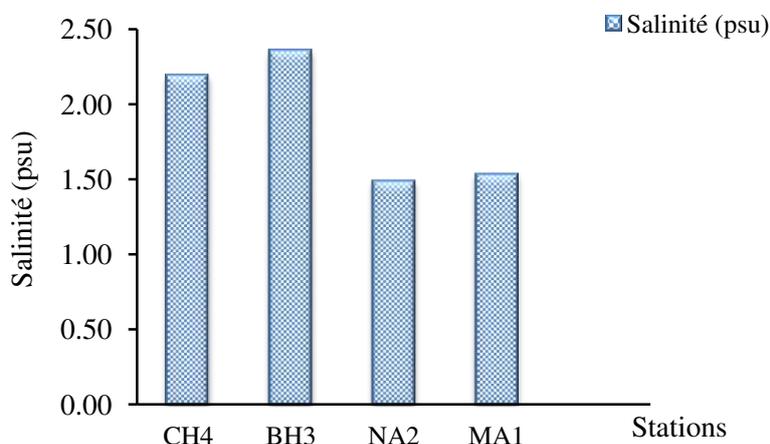


Figure 3.5 : Fluctuation de la salinité selon les stations

3.1.1.6. Total des solides dissouts

La valeur obtenue à partir de la concentration totale de substances dissoutes dans l'eau représente le total des solides dissouts constitués de sels inorganiques (Fig.3.6). Les valeurs moyennes les plus élevées ont été signalées dans la station de Bouchegouf qui s'élevait à (2179.40 mg/l), suivie de Chihani (2028.20 mg/l) puis à Medjez Amar (1455.60 mg/l) et Nador (1415.80 mg/l).

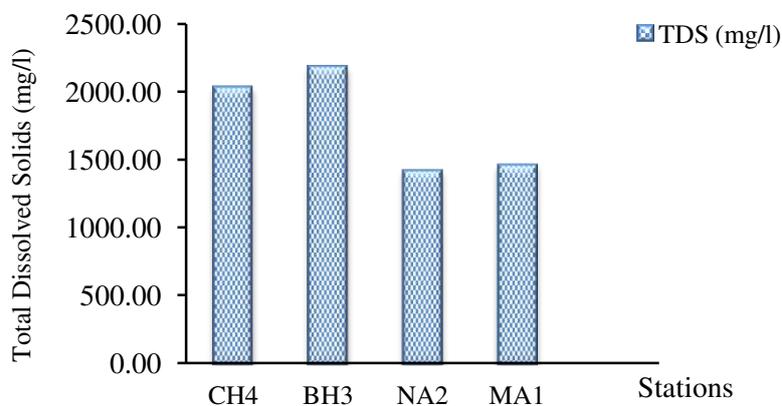


Figure 3.6 : Fluctuation du total des solides dissouts selon les stations

3.1.2. Analyse globale de la faune benthique d'Oued Seybouse et ces affluents

3.1.2.1. Check-list des taxa faunistiques récoltés sur les sites d'étude

Tableau 3.1 : check-list des taxa selon des stations

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	MA1	NA2	BH3	CH4
Arthropodes	Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	1	0	1	1
			Caenidae	1	0	0	0
			Leptophlebiidae	0	0	0	0
			Potamanthidae	0	0	0	0
			Heptageniidae	0	0	0	0
		Plécoptères	Chloroperlidae	0	0	0	0
			Perlodidae	0	0	0	0
			Taeniopterygidae	0	0	0	0
		Trichoptères	Helicopsychidae	1	0	0	0
		Diptères	Chironomidae	1	1	1	1
			Simuliidae	1	1	1	1
			Diptère non identifié	0	0	0	0
			Dixidae	0	0	0	0
			Psychodidae	0	0	0	0
			Empididae	0	0	0	0
			Limoniidae	0	0	0	0
			scatophagidae	0	0	0	0
		Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	0
		Coléoptères	Noteridae	0	0	0	0
			Elmidae	0	0	0	0
	Odonates	Zygoptère	0	0	0	0	
	Hémiptères	Gerridae	0	0	0	0	
	Crustacés		Crevettes	0	0	0	0
Amphipodes		Gammaridae	0	0	0	0	
Mollusques	Gastéropode		Hydrobiidae	0	0	0	0
			Lymnaeidae	0	0	0	0
			Acroloxidae	0	0	0	0
			Ancylidae	0	0	0	0
			Valvatidae	0	0	0	0
			Physidae	0	1	1	1
			Viviparidae	0	0	0	0
Annélides	Annélides		Lumbricidae	0	0	0	0
			Erpobdelliidae	0	0	0	0
	Achètes		Glossiphoniidae	0	0	1	0
			Sp inconnu	0	0	0	0
Total				5	3	5	4

1 : Présence 0 : Absence

3.1.2.2. Analyse globale des macroinvertébrés benthiques :

A la fin de notre étude qui s'élargit sur une période de cinq mois, 7 taxa sur un nombre total de (2832) individus ont été récoltés dans quatre stations (Tab.3.1). Les peuplements les plus représentatifs sont composés essentiellement de Diptères(2taxa), Ephéméroptères(2taxa) et Trichoptères(1taxa). Néanmoins d'autres taxa sont relativement peu nombreux, comme les Gastéropodes (1taxa) et les achètes (1taxa). Du point de vue quantitatif, on a recensé pour les Diptères (1436) individus avec (51%), Ephéméroptères (652)(23%), Gastéropodes (468)(17%), Trichoptères (255) (9.00%), Achètes 21 individus (1%)(Fig.3.7).

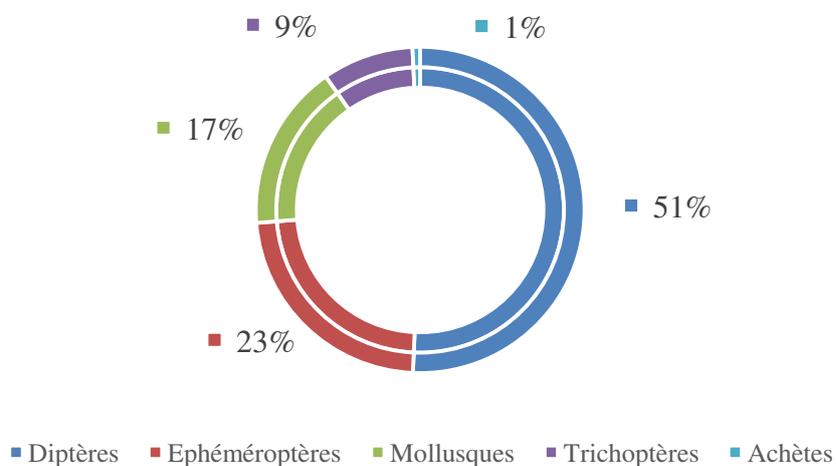


Figure 3.7 : Abondance de la faune globale des macroinvertébrés dans la zone d'étude

3.1.2.3. Richesse taxonomique

La richesse taxonomique la plus élevée a été contemplée dans les stations Medjez Amar et Bouchegouf avec (5 taxa) chacune, suivie par la station de Chihani (4taxa), tandis qu'à la station de Nador, on a affiché le nombre le plus faible dans la région d'étude (3taxa) (Fig.3.8).

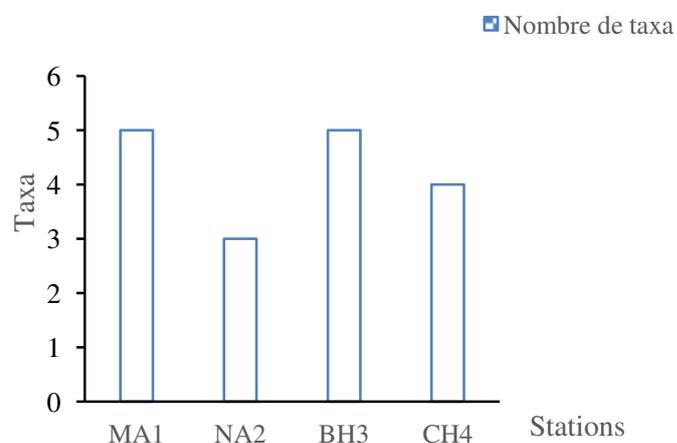


Figure 3.8 : Richesse taxonomique des Stations étudiées

3.1.2.4. Abondance

Le nombre de peuplement acquis à la station de Medjez Amar(MA1) était le plus élevé avec 1460 individus soit (51.55%), suivie par la station de Chihani(CH4) et Bouchegouf (BH3) avec respectivement 649 soit (22.92%) et 599 individus soit (21.15%). La station de Nador(NA2) avec seulement 124 individus soit (4.38%), site le plus pauvre dans toute la région d'étude (Fig.3.9).

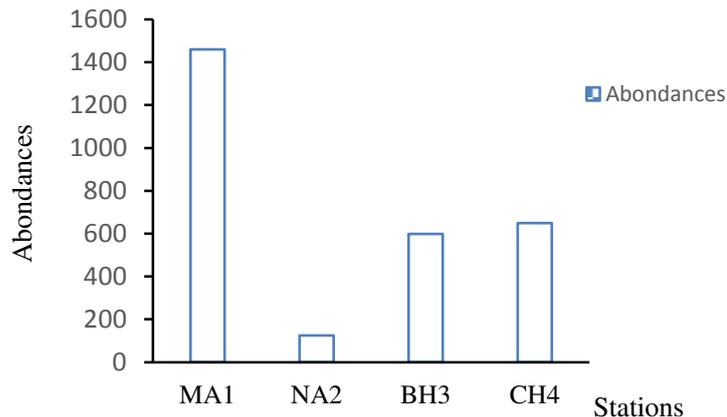


Figure 3.9 : Abondance relative des groupes faunistiques selon les stations

3.1.2.5. Fréquences relatives de l'ensemble des taxa dans la zone d'étude

Les taxons les plus abondants dans toutes les stations d'échantillonnage sont les Simuliidae (29.77%), Baetidae (22.49%), Chironomidae (20.94%), physidae (16.53%), Helicopsychidae (9%), en revanche les taxons les plus rares sont représentés par les Glossiphoniidae (0.74%) et les Caenidae avec (0.53%) (Fig.3.10) et (Fig.3.11).

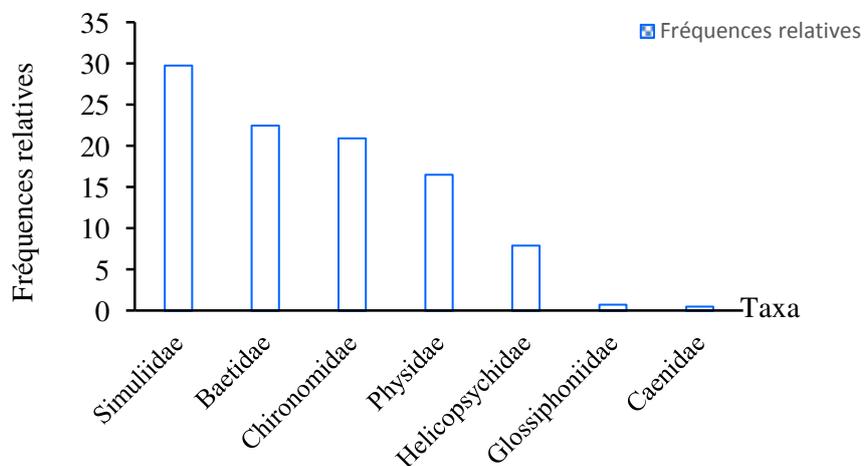


Figure 3.10 : Fréquence relative des Taxa capturés dans la zone d'étude

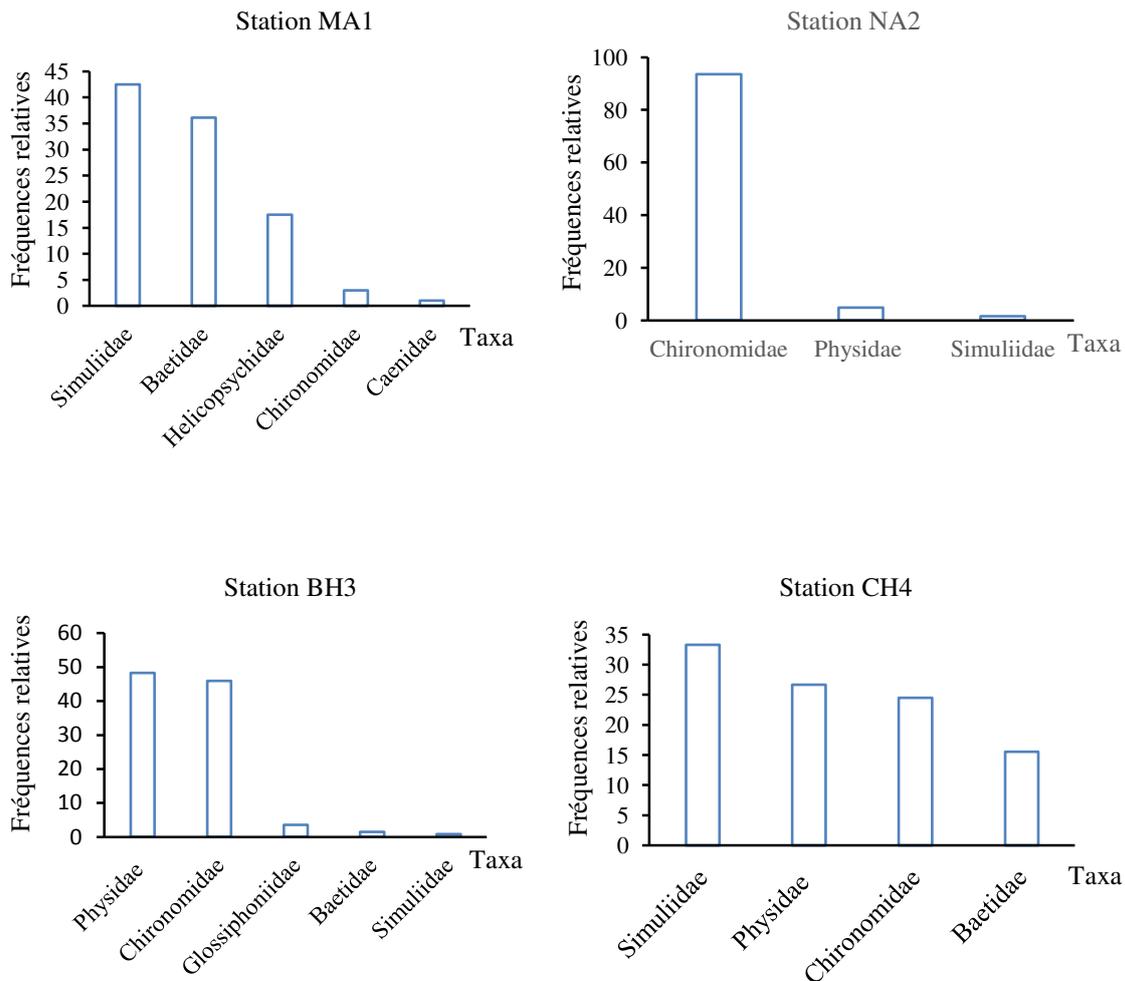


Figure 3.11 : Fréquences relatives des Taxa selon les Stations explorées

3.1.2.6. Indices écologiques

• Indice de diversité de Shannon-Weaver H' (1963)

L'indice de diversité H' peut varier entre 0 et $\log_2 S$, une valeur supérieure ou égale à 3 indiquant une bonne diversité, tandis qu'une valeur proche de 0 s'explique par un faible nombre d'espèces ou une dominance de certaines espèces dans la communauté. Les résultats obtenus montrent que les valeurs de H' varient entre 0.40 et 1,95. Les résultats de cet indice sont indiqués comme suit : Chihani (1.95), Medjez Amar (1.71), Bouchegouf (1.34), tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée dans la station de Nador (0.40).

Par définition l'Équitabilité E varie de 0 à 1 (Dajoz, 1985). Cet indice varie entre 0.25 et 0.98. Les valeurs les plus importantes ayant été enregistrées dans les stations explorées se répartissent comme suit : Chihani (0.98), Medjez Amar (0.74), Néanmoins, les valeurs minimales ont été affichées à la station de Bouchegouf (0.58) et Nador (0.25) (Fig.3.12).

L'Equitabilité va de 0 à 1 : elle tend vers 0, quand presque tous les effectifs sont concentrés dans une espèce ; elle tend vers 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance. Dans la nature, cet indice se situe généralement autour de 0,8 ou 0,9.

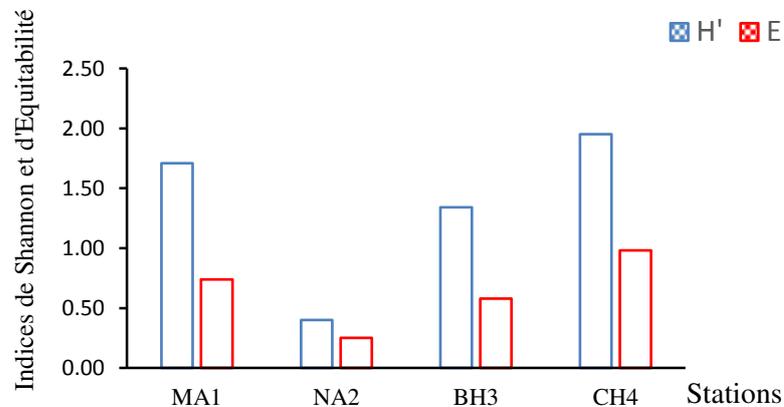


Figure 3.12 : Variation des indices de diversité de Shannon et d'Equitabilité selon les stations

3.1.2.6. Détermination de l'indice biologique global (IBGN)

L'IBGN est établi à partir des tableaux de détermination comprenant pour le premier les 14 classes de variété taxinomique ; pour le second les 9 groupes faunistiques indicateurs.

Le répertoire des organismes retenus pour le calcul de l'IBGN contient 152 taxons.

L'unité taxinomique retenue est la famille à l'exception de quelques groupes faunistiques pour lesquels c'est l'embranchement ou la classe (38 d'entre eux constituent les 9 groupes faunistiques indicateurs (GFI), numérotés de 1 à 9 dans le tableau de détermination, par ordre de polluosensibilité croissante.

On détermine à partir des 2 tableaux successivement :

- La variété taxinomique de l'échantillon, ce nombre est inféodé aux classes de variété figurant.
- Le groupe faunistique indicateur (GI), en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins 3 individus ou 10 individus selon les taxons. La détermination du GI s'effectue en prospectant le tableau de gauche à droite (GI 9 à GI 1) et en arrêtant l'examen à la première présence significative ($n > 3$ individus ou $n > 10$ individus) d'un taxon du répertoire du tableau, en sélectionnant le taxon qui représente le degré de polluosensibilité le plus élevé de l'échantillon intégral de la station étudiée.

Tableau 3.2 : Relevé des macroinvertébrés benthiques à la station Medjez Amar selon l'IBGN

Station (MA1) MEDJEZ AMAR									
Classe	Ordre	Famille	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Total	GI
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	77	30	68	47	305	527	2
		Caenidae	6	1	2	0	6	15	2
		Leptophlebiidae	0	0	0	0	0	0	
		Potamanthidae	0	0	0	0	0	0	
		Heptageniidae	0	0	0	0	0	0	
	Plécoptères	Chloroperlidae	0	0	0	0	0	0	
		Perlodidae	0	0	0	0	0	0	
		Taeniopterygidae	0	0	0	0	0	0	
	Trichoptères	Helicopsychidae	57	45	44	50	59	255	
	Diptères	Chironomidae	17	5	9	2	10	43	1
		Simuliidae	26	3	8	40	543	620	
		Diptère non identifié	0	0	0	0	0	0	
		Dixidae	0	0	0	0	0	0	
		Psychodidae	0	0	0	0	0	0	
		Empididae	0	0	0	0	0	0	
		Limoniidae	0	0	0	0	0	0	
		scatophagidae	0	0	0	0	0	0	
	Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	0	0	0	
	Coléoptères	Noteridae	0	0	0	0	0	0	
		Elmidae	0	0	0	0	0	0	
Odonates	Zygoptère	0	0	0	0	0	0		
Hémiptères	Gerridae	0	0	0	0	0	0		
Crustacés		Crevettes	0	0	0	0	0	0	
	Amphipodes	Gammaridae	0	0	0	0	0	0	
mollusques		Hydrobiidae	0	0	0	0	0	0	
		Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0	
		Acroloxidae	0	0	0	0	0	0	
		Ancylidae	0	0	0	0	0	0	
		Valvatidae	0	0	0	0	0	0	
		Physidae	0	0	0	0	0	0	2
		Viviparidae	0	0	0	0	0	0	
Annélides	Oligochète	Lumbricidae	0	0	0	0	0	0	
	Achètes	Erpobdelliidae	0	0	0	0	0	0	
		Glossiphoniidae	0	0	0	0	0	0	
		sp inconnu	0	0	0	0	0		
Variété taxonomique (Σt)		5 TAXONS	183	84	131	139	923	1460	
Classe de Variété taxonomique (VT) : 2			Effectif total						
Rouge	IBGN = 2 + 2 - 1 = 3		Mauvaise						

L'IBGN est calculé : $IBGN = GI + VT - 1$, avec $IBGN < 21$

Variété taxonomique totale (Σt)

Classe de Variété taxonomique (VT)

Groupe faunistique Indicateur (GI)

Tableau 3.3 : Relevé des macroinvertébrés benthiques à la station Nador selon l'IBGN

Station (NA2) NADOR										
Classe	Ordre	Famille	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Total	GI	
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	0	0	0	0	0	0		
		Caenidae	0	0	0	0	0	0		
		Leptophlebiidae	0	0	0	0	0	0		
		Potamanthidae	0	0	0	0	0	0		
		Heptageniidae	0	0	0	0	0	0		
	Plécoptères	Chloroperlidae	0	0	0	0	0	0	0	
		Perlodidae	0	0	0	0	0	0	0	
		Taeniopterygidae	0	0	0	0	0	0	0	
	Trichoptères	Helicopsychidae	0	0	0	0	0	0	0	
	Diptères	Chironomidae	10	24	25	47	10	116	1	
		Simuliidae	0	2	0	0	0	2		
		Diptère non identifié	0	0	0	0	0	0		
		Dixidae	0	0	0	0	0	0		
		Psychodidae	0	0	0	0	0	0		
		Empididae	0	0	0	0	0	0		
		Limoniidae	0	0	0	0	0	0		
		scatophagidae	0	0	0	0	0	0		
		Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	0	0	0	
		Coléoptères	Noteridae	0	0	0	0	0	0	
	Elmidae		0	0	0	0	0	0		
Odonates	Zygoptère	0	0	0	0	0	0			
Hémiptères	Gerridae	0	0	0	0	0	0			
Crustacés		Crevettes	0	0	0	0	0	0		
	Amphipodes	Gammaridae	0	0	0	0	0	0		
mollusques		Hydrobiidae	0	0	0	0	0	0		
		Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0		
		Acroloxidae	0	0	0	0	0	0		
		Ancylidae	0	0	0	0	0	0		
		Valvatidae	0	0	0	0	0	0		
		Physidae	0	0	0	1	5	6	2	
		Viviparidae	0	0	0	0	0	0		
Annélides	Oligochète	Lumbricidae	0	0	0	0	0	0		
	Achètes	Erpobdelliidae	0	0	0	0	0	0		
		Glossiphoniidae	0	0	0	0	0	0		
		sp inconnu	0	0	0	0	0			
Variété taxonomique (Σt)		3 TAXONS	10	26	25	48	15	124		
Classe de Variété taxonomique (VT) : 1			Effectif total							
Rouge			IBGN = 2 + 1 - 1 = 2			Mauvaise				

L'IBGN est calculé : $IBGN = GI + VT - 1$, avec $IBGN < 21$

Variété taxonomique totale (Σt)

Classe de Variété taxonomique (VT)

Groupe faunistique Indicateur (GI)

Tableau 3.4 : Relevé des macroinvertébrés benthiques à la station Bouchegouf selon l'IBGN

Station (BH3) BOUCHEGOUF										
Classe	Ordre	Famille	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Total	GI	
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	0	0	4	5	0	9	2	
		Caenidae	0	0	0	0	0	0		
		Leptophlebiidae	0	0	0	0	0	0	0	
		Potamanthidae	0	0	0	0	0	0	0	
		Heptageniidae	0	0	0	0	0	0	0	
	Plécoptères	Chloroperlidae	0	0	0	0	0	0	0	
		Perlodidae	0	0	0	0	0	0	0	
		Taeniopterygidae	0	0	0	0	0	0	0	
	Trichoptères	Helicopsychidae	0	0	0	0	0	0	0	
	Diptères	Chironomidae	6	9	90	72	98	275	1	
		Simuliidae	0	5	0	0	0	5		
		Diptère non identifié	0	0	0	0	0	0		
		Dixidae	0	0	0	0	0	0		
		Psychodidae	0	0	0	0	0	0		
		Empididae	0	0	0	0	0	0		
		Limoniidae	0	0	0	0	0	0		
		scatophagidae	0	0	0	0	0	0		
	Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	0	0	0		
	Coléoptères	Noteridae	0	0	0	0	0	0		
		Elmidae	0	0	0	0	0	0		
Odonates	Zygoptère	0	0	0	0	0	0			
Hémiptères	Gerridae	0	0	0	0	0	0			
Crustacés		Crevettes	0	0	0	0	0	0		
	Amphipodes	Gammaridae	0	0	0	0	0	0		
Mollusques		Hydrobiidae	0	0	0	0	0	0		
		Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0		
		Acroloxidae	0	0	0	0	0	0		
		Ancylidae	0	0	0	0	0	0		
		Valvatidae	0	0	0	0	0	0		
		Physidae	72	10	42	51	114	289	2	
		Viviparidae	0	0	0	0	0	0		
Annélides	Oligochète	Lumbricidae	0	0	0	0	0	0		
	Achètes	Erpobdelliidae	0	0	0	0	0	0		
		Glossiphoniidae	4	1	3	0	13	21	1	
		Sp inconnu	0	0	0	0	0	0		
Variété taxonomique (Σt)		5 TAXONS	82	25	139	128	225	599		
Classe de Variété taxonomique (VT) : 2			Effectif total							
Orange			IBGN =2+2- 1=3			Mauvaise				

L'IBGN est calculé : $IBGN = GI + VT - 1$, avec $IBGN < 21$

Variété taxonomique totale (Σt)

Classe de Variété taxonomique (VT)

Groupe faunistique Indicateur (GI)

Tableau 3.5 : Relevé des macroinvertébrés benthiques à la station Chihani selon l'IBGN

Station (CH4) CHIHANI										
Classe	Ordre	Famille	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Total	GI	
Insectes	Ephéméroptères	Baetidae	2	5	51	40	3	101	2	
		Caenidae	0	0	0	0	0	0		
		Leptophlebiidae	0	0	0	0	0	0		
		Potamanthidae	0	0	0	0	0	0		
		Heptageniidae	0	0	0	0	0	0		
	Plécoptères	Chloroperlidae	0	0	0	0	0	0		
		Perlodidae	0	0	0	0	0	0		
		Taeniopterygidae	0	0	0	0	0	0		
	Trichoptères	Helicopsychidae	0	0	0	0	0	0		
	Diptères	Chironomidae	24	67	17	27	24	159	1	
		Simuliidae	25	25	61	44	61	216		
		Diptère non identifié	0	0	0	0	0	0		
		Dixidae	0	0	0	0	0	0		
		Psychodidae	0	0	0	0	0	0		
		Empididae	0	0	0	0	0	0		
		Limoniidae	0	0	0	0	0	0		
		scatophagidae	0	0	0	0	0	0		
		Hétéroptères	Notonectidae	0	0	0	0	0	0	
		Coléoptères	Noteridae	0	0	0	0	0	0	
	Elmidae		0	0	0	0	0	0		
Odonates	Zygoptère	0	0	0	0	0	0			
Hémiptères	Gerridae	0	0	0	0	0	0			
Crustacés		Crevettes	0	0	0	0	0	0		
	Amphipodes	Gammaridae	0	0	0	0	0	0		
Mollusques		Hydrobiidae	0	0	0	0	0	0		
		Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0		
		Acroloxidae	0	0	0	0	0	0		
		Ancylidae	0	0	0	0	0	0		
		Valvatidae	0	0	0	0	0	0		
		Physidae	11	39	10	34	79	173	2	
		Viviparidae	0	0	0	0	0	0		
Annélides	Oligochète	Lumbricidae	0	0	0	0	0	0		
	Achètes	Erpobdelliidae	0	0	0	0	0	0		
		Glossiphoniidae	0	0	0	0	0	0		
		Sp inconnu	0	0	0	0	0			
Variété taxonomique (Σt)		4 TAXONS	62	136	139	145	167	649		
Classe de Variété taxonomique (VT) : 2			Effectif total							
Rouge	IBGN = 2 + 2 - 1 = 3		Mauvaise							

L'IBGN est calculé : $IBGN = GI + VT - 1$, avec $IBGN < 21$

Variété taxonomique totale (Σt)

Classe de Variété taxonomique (VT)

Groupe faunistique Indicateur (GI)

• Station Medjez Amar(MA1)

A cette station (MA1) l'IBGN indique une valeur de (3), avec une variété taxonomique (VT =5), une classe de variété (CV = 2), et un groupe faunistique indicateur (GI = 2). Les diptères représentent le taxon dominant durant toute la période d'étude avec 45.41%, les Ephéméroptère (37.12%) et les Trichoptères (17.47 %) (Tab. 3.2).

• Station Nador(NA2)

L'analyse de la structure du peuplement des macroinvertébrés benthiques à la station de prélèvement (NA2) présente un IBGN le plus bas enregistré dans la zone d'étude, égale à (2), avec une variété taxonomique (VT =3), une classe de variété (CV =1), et un groupe faunistique indicateur (GI = 2), les Diptères forment le taxon le plus représenté ici (95.16 %) de la famille des Chironomidae, et les Mollusques avec (4.84 %) de la famille des Physidae (Tab. 3.3).

• Station Bouchegouf (BH3)

Sur cette station (BH3) on obtient une note d'IBGN égale (3), avec une variété taxonomique (VT =5), une classe de variété taxonomique (CV =2), et un groupe faunistique indicateur (GI = 2) représenté par le groupe des Mollusques (48.25%) de la famille des Physidae, viennent après les Diptères à (46.74 %) et les Achètes avec (3.51%) de la famille des Glossiphoniidae, enfin les Ephéméroptères enregistrent (1.50%) de la famille des Baetidae (Tab. 3.4).

• Station de Chihani

Cette station (CH4) enregistre un IBGN égale (3), avec une variété taxonomique (VT =4), une classe de variété taxonomique (CV = 2), et un groupe faunistique indicateur (GI = 2), représentée par le groupe des Diptères soit (57.78 %), les Mollusques (26.66 %) de la famille des physidae et enfin les Ephéméroptère (15.56 %) de la famille des Baetidae (Tab. 3.5).

3.2. Discussion**3.2.1. Caractéristiques environnementales****3.2.1.1. Qualité physico-chimique de l'eau**

Afin de prévenir et réduire la pollution des eaux, les concentrations obtenues dans cette étude sont calibrées à une Norme de Qualité Environnementale, ou NQE, définie comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ». La

détermination de ces normes suit une méthodologie spécifique qui a été élaborée au niveau européen (Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards), selon la nouvelle grille du système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (Oudin et Maupas, 2003), qui découle de l'application de la directive cadre européenne.

La température de l'eau est un facteur écologique primordial dans les eaux courantes. Elle conditionne les possibilités de développement et la durée du cycle biologique des êtres vivants ainsi que la composition faunistique d'un cours d'eau. Pendant la période d'étude. Les valeurs moyennes des températures relevées sur les stations explorées ont montrés une légère fluctuation entre les stations (15.57 °C) et (16.68 °C). On remarque qu'il y a une éminence modérée de la température au niveau de la station (BH3) soit (16.68 °C), ce qui peut être due à l'influence du climat régional, la topographie et la durée de l'ensoleillement pendant laquelle on a effectué notre prélèvement. Ces écarts enregistrés peuvent être également attribués au décalage horaire journalier entre les différents points prospectés pour chaque sortie (Bouchelaghem, 2017).

La plupart des invertébrés d'eau douce préfèrent un pH compris entre 6,5 et 9,0, même si certains peuvent vivre dans des eaux dont le pH est en dehors de cet intervalle (Onyenwe, 2017), Les valeurs observées du pH des eaux de la Seybouse sont relativement neutre à alcaline, variant entre 7,47 à 8,03. Les valeurs de pH des sites échantillonnés étaient inférieures à la valeur recommandée, classant l'eau de l'oued Seybouse comme étant caractéristique des eaux en zones calcaires (Bouchelaghem, 2017).

La concentration en oxygène présente dans l'eau est le résultat des processus de demande et de production d'oxygène. La solubilité de l'oxygène est fortement liée à la température de l'eau et est donc sujette à de fortes fluctuations. (Chaib, 2002 in Amiri et chekakta, 2015). les teneurs en oxygène dissous sont relativement faible, elles varient entre une valeur minimale enregistrée à la station de Medjez Amar (4.08 mg/l) et une valeur maximale affichée à Bouchegouf (5.90 mg/l). La faible teneur en oxygène observée à Medjez Amar (MA1) (4.08 mg/l) s'explique par l'utilisation abusive des fertilisants en saison pluvieuse qui coïncide avec notre période de prospection, favorisant le développement des plantes aquatiques et contribuent sérieusement à la diminution des teneurs en oxygène. Selon les normes de qualité environnementale, ces valeurs sont maintenues en dessous de 8 mg/l. permettant de qualifier les eaux de ce cours d'eau de qualité modérée et traduit incontestablement la présence d'une forte pollution organique (Bontoux, 1993).

La conductivité électrique est proportionnelle à la minéralisation d'une eau, autrement dit la concentration en sels dissous. Elle nous indique le degré de minéralisation des eaux (Bounaceur,1997 in Chakri, 2007), selon l'échelle de (Goloma et Symoens 1990), une forte minéralisation indique des valeurs de conductivité comprises entre 205 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1049 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le niveau de conductivité moyen du cours d'eau dans la zone d'étude est relativement élevé plutôt en aval qu'en amont. La teneur moyenne de la conductivité électrique la plus élevée a été constatée à Bouchegouf (4358.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$), suivie de Chihani avec une valeur moyenne à environ (4057.60 $\mu\text{S}/\text{cm}$), d'autre part, des valeurs faibles (2913.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et (2824.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ont été mesurées à Medjez Amar et Nador respectivement, ces dernières restent toujours inférieures à la norme de 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'analyse des données indique que la salinité des eaux d'oued Seybouse oscille entre une valeur minimale enregistrée à la station de Nador (1.48 psu) et un maximum de (2.35 psu) à Bouchegouf. Ces variations sont en relation directe avec les fluctuations de la conductivité électrique, par conséquent, l'explication des variations de ces paramètres se justifie par les mêmes causes naturelles et anthropiques. La forte teneur observée à la station de Bouchegouf(BH3) soit (2.35 psu) s'explique par l'apport des eaux sensiblement salées venant de l'affluent de la rive droite appelé Oued El Maleh qui coule sur les terrains à dominance calcaire, calcaire marneux, grès de base et dépôts récents), les sources frontales(cours supérieur) naissent du même réservoir karstique situé au pied du massif de Hammam N'baïl, formant Oued Renam qui n'est que Oued El Maleh dans son cours inférieur. En ce qui concerne les autres stations, on a enregistré (2.18 psu) à Chihani et (1.53 psu) à Medjez Amar. Les valeurs de la salinité restent dans la classe des masses d'eau douce.

Les teneurs en solides dissous totaux (TDS) permettent de mesurer les solides dissous constitués de sels inorganiques dans une solution, notamment pour déterminer le degré de pureté d'une eau, de l'eau pure ou de l'eau ultra pure. Les valeurs moyennes les plus élevées ont été signalées dans la station de Bouchegouf soit (2179.40 mg/l), suivie de Chihani (2028.20 mg/l) puis à Medjez Amar (1455.60 mg/l) et Nador (1415.80 mg/l). L'origine de la forte teneur des eaux de Seybouse en (TDS) est liée simplement à la lithologie du terrain encaissant (lessivage naturel des roches) ou bien à des facteurs externes tels que la pollution agricole et domestique. La forte charge des substances contenues dans l'eau, suivant un profil de variation amont-aval. Cet état pourrait être justifié en partie par la circulation et le transport des matériaux. Les valeurs très révélées de ces paramètres mettent aussi en exergue une autre situation qui pourrait être liée

à l'intensification des activités agricoles le long de la rivière et l'accumulation des matières au niveau des stations de l'aval (Tab.3.6).

Tableau 3.6 : Exemple de classification de la pollution à partir du niveau de TDS

Niveau de TDS (milligrammes par litres)	Evaluation
Moins de 300	Excellent
300-600	Bien
600-900	Passable
900-1200	Faible
Plus de 1200	Inacceptable

3.2.1.2. Indices de diversité

Les indices de diversité de Shannon-Wiener et Equitabilité ont été utilisés pour calculer la diversité des populations de macroinvertébrés benthiques dans la zone d'étude. Les valeurs de H' des stations prospectées Chihani (1.95) et Medjez Amar (1.71) affichent des valeurs de $H' > 1,5$. Ils reflètent la diversité moyenne d'un peuplement dans lequel tous les individus sont également répartis entre toutes les espèces (Frontier, 1983). En revanche, les stations de Bouchegouf (1.34) et Nador (0.40) ont enregistré des valeurs de $H' < 1,5$ du fait du faible nombre de taxons (Tab.3.7).

Les résultats de l'indice d'Equitabilité présentent des variations similaires que celles ayant été confirmé par l'indice de diversité de Shannon, qualifiant le site de Nador le plus pollué de la région d'étude.

Tableau 3.7 : Exemple de classification de la pollution à partir de la valeur de H' , dans les habitats sableux/vaseux d'après (Simboura et Zenetos, 2002)

	Etat Ecologique	Valeur de H'	Classification de la pollution
	Mauvais	$0 < H' \leq 1,5$	Azoïque, très pollué
	Médiocre	$1,5 < H' \leq 3$	Fortement pollué
	Moyen	$3 < H' \leq 4$	Modérément pollué
	Bon	$4 < H' \leq 5$	Zone de transition
	Très bon	$H' > 5$	Site de référence

3.2.1.3. Evaluation de la qualité hydro biologique des cours d'eau

Les résultats de l'indice biologique global (IBGN) sur les stations Medjez Amar, Bouchegouf et Chihani ont observé une très faible biomasse hydrologique avec une note d'IBGN égale (3) et c'est la note la plus élevée enregistrée pendant la période d'étude. Ceci classe les eaux appartenant à cette zone dans la catégorie des eaux de mauvaise qualité. La station Nador a enregistré la note IBGN la plus faible égale (2), ce qui correspond à une mauvaise qualité de la biomasse aquatique (pollution excessive) (Tab.3.8). Ceci pourrait revenir aux faibles valeurs de groupes indicateurs et des variétés taxonomiques dans cette station dont les caractéristiques hydro morphologiques sont assez dégradées. La présence de taxons sensibles aux pollutions indiquant une qualité d'eau assez polluée. Les faibles notes d'IBGN observées, constituent un problème inquiétant pour la qualité de l'eau de la Seybouse sont synonyme d'un problème écologique sérieux car elle favorise l'eutrophisation, cela est dû à l'exposition du cours d'eau à la contamination anthropique et peuvent être également causées par la dissolution dans l'eau de matières organiques en provenance des rejets des ordures ménagères.

Tableau 3.8 : Appréciation de la qualité des eaux en s'appuyant sur les résultats de l'indice IBGN.

INDICE	MA1	NA2	BH3	CH4
Effectif total	1460	124	599	649
Variété taxonomique Totale	5	3	5	4
Classe de variété taxonomique(CV)	2	1	2	2
Groupe faunistique Indicateur(GI)	2	2	2	2
Notes IBGN	3	2	3	3
Qualité hydro biologique	Mauvai	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise

CONCLUSION ET PERSPECTIVES



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les analyses physico-chimiques réalisées sur le cours d'eau de la Seybouse montrent que les eaux sont de qualité moyenne à insatisfaisante et indiquent une eutrophisation du milieu en aval de la zone urbaine de la ville de Guelma près de notre station de prélèvement de Nador(NA2). Les fortes concentrations des sels dissous observées à l'aval de la rivière témoignent d'une pollution des eaux qui évolue suivant un gradient amont-aval. Cette étude a permis également d'ajuster un inventaire des macroinvertébrés benthiques le long du profil longitudinal de notre milieu d'étude qui correspond typiquement à la structure de ces communautés dans les eaux des affluents de la Seybouse (Bouhamdane et Cherf), caractérisé par une prépondérance d'espèces indicatrices d'un milieu impacté par les activités anthropiques situés dans les zones urbaines de Nador, Bouchegouf et Chihani (NA2 , BH3 et CH4) respectivement. A l'opposé, les résultats pour Medjez Amar (MA1) indiquent une richesse moyenne en espèces indicatrices des eaux de qualité modérée. Malheureusement, le site d'étude connaît deux problèmes majeurs : la baisse du volume d'eau et la dégradation de la qualité des eaux de ces milieux. Ces écosystèmes aquatiques doivent faire l'objet d'une évaluation écologique en vue d'une gestion durable basée sur l'utilisation d'outils de surveillance adéquats. Cette étude confirme le potentiel de bio indication des macroinvertébrés benthiques en milieux aquatiques et ouvre ainsi un champ de recherche important pour cette région où alors que la gestion de ces écosystèmes est encore scrupuleuse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**A**

Ait Mouloud, S., (1988). Essais de recherches sur la dérive des macro-invertébrés dans l'oued Aïssi : *Faunistique, écologie et biogéographie*.

Amiri, M. Chekakta., (2015). D. Contribution à l'étude des macros invertébrées de l'oued bradaa.émoire de Master. Université de Guelma

Angelier E., (2000). Ecologie des eaux courantes, Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 200 p.

Arabe A., Zebdi A., (1983). Contribution à l'évaluation de la qualité de l'eau des oueds de la Mitidja. Mém.DES. *univ des sciences et de la technologie. Houari Boumediene*.

Arab, A., (2004). Recherche faunistique et l'écologique sur les réseaux hydrographiques du Chelif et du bassin du Mazafran. *Mém.Doc. Univ. Sci. Techn. H. Boumediene. Alger.* 174p.

B

Bagnouls F., Gaussen H., (1957). Les climats biologiques et leur classification. In : *Annales de Géographie*, 66° année, n°355 ; doi : <https://doi.org/10.3406/geo.1957.18273>, https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1957_num_66_355_18273.

Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D. & Stribling J.B., (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*, 2^e édition, Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA841-B99002,11chapitres,annexes. <http://www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/wp61pdf/rbp.pdf>. [Google Scholar]

Bautz A.M., Bautz A. & Chardard D., (2010). Mini manuel de biologie animale. 2^eème édition, Paris, Dunod. ISBN : 978-2-10-054841-5. 208p.

Berthelemy C., (1973). Données préliminaires sur les Plécoptères de Tunisie. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 18.

Blayac J., (1912). Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines. In-8°, 53 fig., 5 pl. h.-t. (cartes et coupes).

Blondel, J., (1 975). -- L'analyse des peuplements d'oiseaux, élément d'un diagnostic écologique. I. La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs. (CEFP) *l'erre et Vie*, 29 : 533-589

Bontoux, J., (1993). Introduction à l'étude des eaux douces naturelles eaux usées, eaux de boissons. Cebedoc, Liège, 169p DOCTORAT 3^eème cycle (LMD) Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthiques dans le lac Tonga (El-Kala – Wilaya El-Tarf). -2020.

Bouati B., Boualleg S., (2019). Les macroinvertébrés benthiques bioindicateurs de la qualité écologique des milieux lotiques : cas d'Oued Cherf et affluents Nord- Est d'Algérie Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945, Guelma.48p.

Bouchelaghem H., (2008).Caractérisation du peuplement Odonatologique du bassin versant des Oueds : Cherf – Seybouse .Mémoire de magister. Université 8 Mai 1945 Guelma.

Bouchelaghem H., (2017). Approche spatio-temporelle de l'ichtyofaune du bassin de la Seybouse (Algérie, Nord-Est). Thèse de Doctorat. Université 8 Mai 1945, Guelma.

Bouhala Z., (2011). Contribution à l'étude des macroinvertébrés d'Oued Charef (Oued Seybousse). Mémoire de Magister. Université 8 Mai 1945, Guelma. 194p.

Boumaiza, M. and Clergue-Gazeau, M., (1986). Le peuplement simulidien de la Tunisie. I. Inventaire, faunistique et biogéographie (Diptera-Nematocera). *Annales de Limnologie*, 22, 31-39. <http://dx.doi.org/10.1051/limn/1986003>

Boumaiza M, Thomas AG., (1986). Répartition et Ecologie des Ephéméroptères de Tunisie (1ère partie) (Insecta, Ephemeroptera) [Distribution et écologie des éphémères de Tunisie (1). (Insecta, Éphéméroptères)]. *Arch Inst Pasteur Tunis*. 1986 Dec ; 63(4) : 567-99. Français. PMID : 3800505.

Bounaceur, F., (1997). Contribution à l'étude écologique de *Gambusia affinis* (Baird & Girard, 1953) dans trois sites humides du Parc National d'El Kala. Thèse de Magister. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (E.N.S.A El Harrach). 128 p.

Bouzidi A. & Giudicelli J., (1987) .Contribution to the faunistic and ecological study of the blackflies (Diptera, Simuliidae) of Morocco. II. *Simulium* (*Obuchovia*) *marocanum* n. sp. and the mediterranean species of *Obuchovia* Rubzov. *Annls Limnol*, 23 (3), 1987 : 185-195

C

Chaib N, Samraoui B, Marziali L, Rossaro B., (2011) .Chironomid taxocenosis in a South Mediterranean wadi, the Kebir-East (Algeria). *Studi Trent. Sci. Nat.* 88:61-75.

Chaib N, Fouzari L, Bouhala Z, Samraoui B, Rossaro B., (2013). (in press). Spatial distribution of Chironomids (Diptera, Chironomidae) in North-eastern Algerian hydrosystems. *J. Entomol. Acarol. Res.*

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

Clergue-Gazeau, M., Lek, S. and Lek, S., (1991) . Les Simulies d'Afrique du Nord. Nouvelles données sur la répartition de la faune du Maroc et biogéographie des espèces maghrébines (Diptera, Simuliidae). *Revue d'hydrobiologie tropicale*, 24, 47-59.

Chakri, K., (2007). Contribution à l'étude écologique de *Daphnia magna* (Branchiopoda : Anomopoda) dans la Numidie, et inventaire des grands branchiopodes en Algérie. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. 173 p.

D

Daget P., (1967). Étude phyto-climatique d'une région de moyenne montagne : la Margeride. Édit. CNRS/CEPE, Document n° 36.

Dajoz R., (1985). Précis d'écologie. Éd. Dunod, Paris

Djemali N., Rahal Y., (2019). Les macroinvertébrés benthiques de quelques ruisseaux du parc National d'El Kala : structure, diversité et qualité biologique de l'eau. Mémoire de Master. Université Mohamed Khider, Biskra. 81p. CNRS/CEPE, Document n° 36.

E

Emberger L., (1971).a. Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques. In : Travaux de botanique et d'écologie de Louis Emberger, livre jubilaire, Édité. MASSON, Paris.

G

Gagneur, J., & Aliane, N., (1991). Contribution à la connaissance des Plécoptères d'Algérie. Overview and strategies of Ephemeroptera and Plecoptera. *Sandhill crane Press, Gainsville*, 311, 323.

Gagneur J., Thomas AGB., Vitte B., (1985). Première citation d'une espèce du genre *Paraleptophlébia* en Afrique du Nord. *P.cincta* (Retzius, 1783) et son écologie (Ephemeroptera, Leptophlebiidae). *Bull. Soc. Hist. Nat.*, Toulouse.

Gagneur (J.) et Thomas (A.G.B.), (1988). Contribution à la connaissance des Ephéméroptères d'Algérie. I. Répartition et écologie (1 e i e partie). *Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse*, 124 : sous presse.

Gattolia J-L., (2002). Etude systématique, cladistique et biogéographique des Baetidae

Genin, B., Chauvin C. & Menard F., (2003) . Cours d'eau et indices biologiques – Pollutions – Méthodes –IBGN. Educagri 2 e Edition, 221 p.

Genin B., Chauvin C., Menard F., (1997). Cours d'eau et indices biologiques : pollution méthodes, IBGN, Dijon, *ENESA-CNERTA*.

Ghachi A., (1986). Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie : le bassin de la Seybouse, Alger, O.P.U., 508 p.

GIBBS (D. G.), (1973). - The Trichoptera of Ghana. Dtsch. Ent. Z . N.F., 20 : 363-424 Bull. Fr. Pêche Piscic. (1985) 299 : 1-41 Laboratoire d'Hydroécologie du C E M A G R E F - Division Qualité des Eaux, Pêche et Pisciculture — 3, quai C h a u v e a u , 69009 L Y O N

Grall J. et Coïc N., (2005). Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu Côtier

Grassé P.P., Raymond A.P. & Tuzet O., (1970). Zoologie I Invertébrés. 2ème édition, Paris, Masson. 935 p

Grac., (1990) . Bibliothèque nationale de France. Département des manuscrits. Grec 1987 ;Etude comparative des macroinvertébrés des milieux lenticules de la région de Guelma 44.45.46p.

H

Haynes A., (2001). Freshwater snails of the tropical Pacific Islands (Insitute of Applied Sciences).

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

Hellawell, J. M., (1986). Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management, *Londres, Elsevier*, 546 p. [[Google Scholar](#)]

I

Illies J., Botosaneanu L., (1963). « Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes, considérée surtout du point de vue faunistique ». Mitt. int. Ver. Limnol. 12 : 1-57.

L

Lamarck J., (2003). Article « les Mollusques » nouveau dictionnaire d'histoire de la nature.

Louamri A., (2013). Le Bassin-versant de la Seybouse (Algérie orientale) : hydrologie et aménagement des eaux. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Géographie et Aménagement du Territoire, Option Hydrologie, Université de Constantine 1, Algérie, 300 p

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

Lounaci, A., (2005). Recherches sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des macroinvertébrés des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou, 209 p.

M

Malicky H. & Lounaci A., (1987). Beitrag zur Taxonomie und Faunistik der Köcherfliegen von Tunesien, Algérien und Marokko. *Opuscula zoologica fluminensia*, 14 : 1-20.

Mathieu., (1995) :Dynamic wetting of viscoelastic substrates / Mathieu Oléron ; sous la direction de Laurent Limat. Thèse de doctorat : Physique : Université Paris Cité : 2022

Mebarki, M., (2001). Etude hydrobiologique de trois réseaux hydrographiques de Kabylie (parc National du Djurdjura, Oued Sébaou et Oued Boghni).

Meziane, N., (2009). Contribution à l'étude des macroinvertébrés de Oued Seybouse Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera et Bivalva. Mémoire de Magister. Univ.Guelma, 162 p

Moisan J., Pelletier L., (2011). Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble 2011, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166-0 (PDF), 39 pages

Moubayed-Breil J., Lounaci A. & Lounaci-Daoudi D., (2007). – Non-biting midges from Algeria, North Africa [Diptera, Chironomidae]. *Ephemera*, 8 (2) [2006] : 93-99.

O

Onyenwe, E., PEkedo, C.M., Ifeakanwa, C.N., (2017). Physico Chemical and Benthic Macro Invertebrate Analysis of Usumani Stream in Abiriba, Ohafia L.G.A. Abia State. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 2348 – 7968 DOCTORAT 3ème cycle (LMD) Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthiques dans le lac Tonga (El-Kala – Wilaya El-Tarf). - 2020.

P

Pinel-Alloul B., G. Methot, L. Lapierre And A. Willsie.,(1996). Macroinvertebrate community as a biological indicator of ecological and toxicological factors in Lake Saint-François (Québec). *Environ Pollut* 91(1) : 65-87.

Pihan J. A., Mohati A., (1984). Les peuplements benthiques du réseau permanent de l'oued ourika (haut Atlas de Marrakech). *Qualité des eaux. Verh. Internet.*

Q

Qninba A.J., El Agbani M.A., Dakki M. & Benhoussa A., (1988). Evolution saisonnière de quelques peuplements d'invertébrés benthiques de l'Oued Bou Regreg (Maroc). *Bull. Inst. Sci., Rabat*, 12, 149-156.

R

Rejesk, F., (2002). Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. P18-19. DOCTORAT 3ème cycle (LMD) Variations Spatiales des Macro-invertébrés benthiques dans le lac Tonga (El-Kala – Wilaya El-Tarf). -2020.

Ramade F., (2009). Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. Dunod, Paris

Rosenberg, D. M. & V. H. Resh., (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. *Chapman and Hall, London.*

S

Samraoui B, Menai R., (1999). A contribution to the study of Algerian Odonata. *Int. J. Odonatol.* 2:145-165.

Shannon C. E., Weaver W., (1963). The mathematical theory of communications.

Scrimgeour, G.J., Prowse T.D., Culp J.M. & Chambers P.A., (1994). Ecological effects of river ice break-up: a review and perspective. *Freshw. Biol.* 32: 261–275. [[Google Scholar](#)]

Simboura N., Zenetos A., (2002). Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index. *Mediterranean Marine Science*, 3(2).

Stewart PH., (1968). Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Ul. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, Alger*, 59 (1 – 4).

T

Tachet, H.; Bournaud, M.; Richoux, P.; Usseglio-Polatera Ph.,(2010). Invertébrés des eaux douces : Systématique, Biologie, Ecologie. Ed CNRS-Paris. Tachet, H., Bournaud, M., & Richoux, P. (2010). Usseglio-Polatera. Invertébrés des eaux douces : Systématique, Biologie, Ecologie. Ed CNRS-Paris.

Tall, L., G. Méthot, A. Armellin & B. Pinel-Alloul., (2008). Bioassessment of benthic macroinvertebrates in wetlands habitats of Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River). *Journal of Great Lakes Research* 34:599-614.

Tessier, C., A. Cattaneo, B. Pinel-Alloul, C. Hudon And D. Borcard., (2008). Invertebrate communities associated with metaphyton and emergent and submerged macrophytes in a large river. *Aquatic Sciences* 70:10-20.

Thomas, A.G.B., (1998). A provisional checklist of the Mayflies of North Africa (Ephemeroptera). *Bull. Soc. Nat., Toulouse.* 134: 13-20.

U

United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), (2002). *Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs*. United States Environmental Protection Agency, EPA822F02006. <http://www.epa.gov/ost/biocriteria/technical/brochure.pdf>. [Google Scholar]

V

Vannote R-B., Minshall. G-W., Cummins K-W., Sedell J-R., Cushin C-E., (1980). «The river continuum concept.» *Fish. Aquat. Sci.* 37: 130 - 137.

Verneaux J., Tuffery G., (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices boutiques. *Ann. Sci. Univ. Besançon*.

Verneaux J., (1976). Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales. Principales méthodes biologiques. In : Pesson : la pollution des eaux, Dunod éd., Paris

W

WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (WFD), (2003). *Overall Approach to the Classification of Ecological Status and Ecological Potential*, [En ligne], Water Framework Directive Common Implementation Strategy Working Group 2, A Ecological Status (ECOSTAT), 28 p. et 2 annexes, [<http://cwss.www.de/workshops/wfd/Ecological-Classification-Guidance.pdf>].

Z

Zouakh D.E., (1995) . Etude des macroinvertébrés et des poissons de l'oued El Harrach et de ses affluents appliquée à l'évaluation de la qualité des eaux. *Thèse Magister, U.S.T.H.B.* 65 p.

WEBOGRAPHIE

[-https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/lacs_acides/2004/echelle-ph.htm](https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/lacs_acides/2004/echelle-ph.htm)

[-https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/74/protection-et-gestion-des-eaux](https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/74/protection-et-gestion-des-eaux)

[-https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/13906/7/TFE_M2_SGE_GIRE_2021-2022_CHERBUIN_JULES_S193551.pdf](https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/13906/7/TFE_M2_SGE_GIRE_2021-2022_CHERBUIN_JULES_S193551.pdf)

[-https://www.zerowater.fr/actualites/quest-ce-qu'une-mesure-tds/#:~:text=TDS%20signifie%20Total%20Dissolved%20Solids,puret%C3%A9%20de%20votre%20eau-%20potable.](https://www.zerowater.fr/actualites/quest-ce-qu'une-mesure-tds/#:~:text=TDS%20signifie%20Total%20Dissolved%20Solids,puret%C3%A9%20de%20votre%20eau-%20potable.)

[-https://waterrangers.ca/fr/testkits/tests/salinit%C3%A9/](https://waterrangers.ca/fr/testkits/tests/salinit%C3%A9/)

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) <http://www.epa.gov/>

<https://www.aquaportail.com/definition-4976-oxygene-dissous.html#:~:text=L'oxyg%C3%A8ne%20dissous%20est%20la,les%20niveaux%20d'oxyg%C3%A8ne%20dissous.>

<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-salinite-4406/>

<https://www.merus.fr/tds-total-des-solides-dissous/>

<https://www.aquaportail.com/definition-3702-richesse-specifique.html>

http://fsnv.univ-bouira.dz/wp-content/uploads/2021/01/L3-Protection-des-v%C3%A9g%C3%A9taux-bio%C3%A9cologie-des-bioagresseurs-Chap_2_.pdf

[https://louernos-nature.fr/indices-de-diversite-ecologie-ecosystemes/#:~:text=Plusieurs%20formes%20de%20l'indice,\)%20%3D%20%CE%A3\(pi%C2%B2\).](https://louernos-nature.fr/indices-de-diversite-ecologie-ecosystemes/#:~:text=Plusieurs%20formes%20de%20l'indice,)%20%3D%20%CE%A3(pi%C2%B2).)

<https://fsnv.univ-bba.dz/wp-content/uploads/2020/09/Resume-cours-2Annee-ecologie.pdf>

<http://www.set-revue.fr/lindice-biologique-global-normalise-ibgn-principes-et-evolution-dans-le-cadre-de-la-directive-cadre>

<http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/hydro/travail-coop/protocoles/ibgn/ibgntxt>

<https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/9/la-temperature-de-leau>

https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm

ANNEXES



Annexe 01. Evaluation des températures mensuelles de la région d'étude (Années 1994-2018).

Mois	T (max.)	T (mini.)	T (Moy.)
Jan.	15,90	4,96	9,82
Fév.	16,50	4,59	10,05
Mar.	19,61	6,55	12,46
Avr.	22,16	8,31	15,02
Mai.	27,14	11,81	19,42
Jui.	32,09	15,75	24,07
Juil.	36,26	18,46	27,18
Aout.	36,48	19,59	27,47
Sept.	31,47	17,35	23,65
Oct.	27,45	13,84	19,60
Nov.	21,20	9,44	14,61
Déc.	16,93	6,24	10,98

Annexe 02. Variations mensuelles des précipitations en (mm) (1994-2018)

Mois	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai.	Jui	Juil	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations en (mm)	99,28	69,77	64,64	66,59	44,97	15,29	3,09	16,02	49,89	41,21	71,91	74,50

Annexe 03. Données climatiques (Précipitations et Températures) de Guelma (Années 1994-2018)

Mois	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai.	Jui	Juil.	Aout.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations en (mm)	99,28	69,77	64,64	66,50	44,97	15,29	3,09	16,02	49,89	41,21	71,91	74,50
Températures en °C	9,82	10,05	12,46	15,02	19,42	24,07	27,18	27,47	23,65	19,60	14,61	10,98

Annexe 04. Les normes européennes d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau SEQ-Eau (Oudin et Maupas, 2003)

Paramètres	Unité	Symb	Normes
Température	°C	T°	20 à 25
pH	pH	pH	6,5 à 9,5
Cond. électrique	µS/cm	EC	180 à 3500
Salinité	mg/l	SAL	1
Potentiel redox	mV	Eh	-
Solides Totaux Dissous	mg/l	TDS	-
Oxygène dissous	mg/l	OD	8 à 4
Mat. en suspension	mg/l	MES	2 à 38
Turbidité	NTU	NTU	1 à 70
Nitrates	mg/l	NO ₃ ⁻	2 à 25
Nitrites	mg/l	NO ₂ ⁻	0,03 à 0,5
Sulfates	mg/l	SO ₄ ⁻	60 à 190
Ammonium	mg/l	NH ₄ ⁺	0,1 à 2
Calcium	mg/l	Ca ₂ ⁺	32 à 300
Chlorures	mg/l	Cl ⁻	50 à 150
Ortho phosphates	mg/l	PO ₄ ³⁻	0,1 à 1
Carb.de calcium	mg/l	CaCO ₃	< 200
Titre hydrométrique	°F	TH	4 à 8

Annexe 05. Les valeurs de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) selon Afnor, 1992.

IBGN	20 à 16	16 à 12	12 à 8	8 à 4	4 à 0
Couleur	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise

Annexe 06. Liste des 138 taxons (extrait de la norme AFNOR T 90-350, 1992).

INSECTES	HETEROPTERES	Stratiomyidae	Physidae
PLECOPTERES	Aphelocheiridae (3)	Syrphidae	Planorbidae
Capniidae (8)	Corixidae	Tabanidae	Valvatidae
Chloroperlidae (9)	Gerridae	Thaumaleidae	Viviparidae
Leuctridae (7)	Hebridae	Tipulidae	ACHETES (1)
Nemouridae (6)	Hydrometridae	ODONATES	Erpobdellidae
Perlidae (9)	Naucoridae	Aeschnidae	Glossiphonidae
Perlodidae (9)	Nepidae	Calopterygidae	Hirudinae
Taeniopterygidae (9)	Notonectidae	Coenagrionidae	Piscicolidae
	Mesoveliidae		
	Pleidae	Cordulegasteridae	TRICLADES
TRICHOPTERES	Veliidae	Corduliidae	Dendrecaelidae
Beraeidae (7)	COLEOPTERES	Gomphidae	Dugesidae
Brachycentridae (8)	Curculionidae	Lestidae	Planariidae
Ecnomidae	Donaciidae	Libellulidae	OLIGOCHETES (1)
Glossosomatidae (7)	Dytiscidae	Platycnemididae	NEMATHELMINTHES
Goeridae (7)	Eubridae	MEGALOPTERES	HYDRACARIENS
Helicopsychidae	Elmidae (2)	Sialidae	HYDROZOAIRE
Hydropsychidae (3)	Gyrinidae	PLANIPENNES	SPONGIAIRES
Hydroptilidae (5)	Haliplidae	Osmylidae	BRYOZOAIRE
Lepidostomatidae (6)	Helodidae	<i>Sysyridae</i>	NEMERIENS
Leptoceridae (4)	Helophoridae	HYMENOPTERES	
Limnephilidae (3)	Hydraenidae	LEPIDOPTERES	
Molannidae	Hydrochidae	<i>Pyralidae</i>	
Odontoceridae (8)	Hydrophilidae	CRUSTACES	
Philopotamidae (8)	<i>Hydrosaphidae</i>	BRANCHIOPODES	
Phryganeidae	<i>Hygrobiidae</i>	AMPHIPODES	
Polycentropodidae (4)	<i>Limnebiidae</i>	Gammaridae (2)	
Psychomyidae (4)	<i>Spercheidae</i>	ISOPODES	
Rhyacophilidae (4)	DIPTERES	Asellidae (1)	
Sericostomatidae (6)	<i>Anthomyidae</i>	DECAPODES	
<i>Thremmatidae</i>	<i>Athericidae</i>	Astacidae	
EPHEMEROPTERES	Blephariceridae	Atyidae	
Baetidae (2)	Ceratopogonidae	Grapsidae	
Caenidae (2)	Chaoboridae	Cambaridae	
Ephemerllidae (4)	Chironomidae (1)	MOLLUSQUES (2)	
Ephemeridae (6)	Culicidae	BIVALVES	
Heptageniidae (5)	Dixidae	Curbiculidae	
Leptophlebiidae (7)	Dolichopodidae	Dreissenidae	
Oligoneuriidae	Empididae	Sphaeriidae	
Polymitarcidae (5)	Ephydriidae	Unionidae	
Potamanthidae (5)	Limoniidae	GASTEROPODES	
	Psychodidae	Ancylidae	
	Plychopteridae	Bithynidae	
	Ragionidae	Bythinellidae	
Prosopistomatidae	Scatophagidae	Hydrobiidae	
Siphonuridae	Sciomyzidae	Lymnaeidae	
	Simuliidae	Neritidae	