

N°Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf – Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de l'Écologie et de l'Environnement

Mémoire préparé En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection Des Ecosystèmes

Thème:

**Analyse des paramètres physico-chimiques et leur influence
sur la structure du plancton dans le barrage de Beni Haroun**

❖ Présenté par :

- TERCHI Alaeddine
- SETITRA Ayoub

❖ Devant le jury composé de :

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| • Dr. BENMIRA Selma El Batoul | Maitre de conférences - A Présidente |
| • Dr. REBBAH Abderraouf Chouaib | Maitre de conférences - B Examineur |
| • Dr. BOUCHAREB Nouredine | Maitre de conférences - A Encadrant |

REMERCIEMENT

En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté, le courage et la patience pour réaliser ce travail.

*D'abord, On tient à remercier tout particulièrement notre encadrant **le Docteur BOUCHAREB Noureddine** pour son conseils et sacrifices afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire de fin d'étude.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Dr. BENMIRA Selma El Batoul** et **Dr. REBBAH Abderraouf Chouaib** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions particulièrement **Dr. REBBAH Abderraouf Chouaib** pour l'encouragement et les nombreux conseils dont nous ont été bénéfiques.*

*À travers lui, nous tenons remercier le **Dr. LALAOUI Meryem** qui nous a donnée l'aide d'effectuer ce travail partie étude de physico-chimie notre travail dans le laboratoire des sciences naturelles et matériaux (LSNM) du centre universitaire Abdelhafid Boussouf- Mila.*

Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre famille, surtout nos parents qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui on tient à les remercier.

Enfin, Merci à toutes les personnes qui Nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail

Alaeddine

Ayoub

Merci





DEDICACE

Avec l'expression de ma reconnaissance Je dédie ce modeste travail :

*À celui dont les mots ne suffisent pas à le décrire, celui qui a peiné pour mon aise et mon bien-être, celui qui a tout donné pour me mettre sur le chemin de la réussite, celui qui m'a appris, par sa sagesse et sa patience, à surmonter les difficultés de la vie, à mon très cher père **Mahieddine**.*

*À l'exemple de la miséricorde, celle qui m'a soutenu dans ses prières, la source qui ne s'ennuiera jamais de donner, à celle qui a tissé mon bonheur avec son coeur, à ma très chère mère **Nacira**.*

*À mon cher frère **Mohamed**.*

*À mes très chères soeurs **Asma** et son mari **Rafik, Roqiya** et **Hidaya**. Merci à tous.*

*À leur petite fille **Dania**, dont l'innocence et la joie de vivre apportent tant de bonheur à notre famille.*

*À mon grand-père **Madani** et ma grand-mère **Aïcha**.*

Merci à tous pour votre amour, votre précieux soutien et vos précieux conseils. Cette thèse vous est dédiée.

À ceux qui m'ont appris des lettres en or, des mots en perles et les expressions les plus sublimes de la science, à ceux qui ont fait de leur savoir des phares pour nous éclairer le chemin de la science et de la réussite, à mes valeureux professeurs.

*À ceux avec qui j'ai frayé le chemin de la réussite et j'ai goûté le fruit de nôtre parcours étudiantin, à mes amis et collègues chacun en son nom et surtout **Mohammed, Ayoub, Aymen, Omar, Zakaria, Anes, Souhibe, karim, Badr Eddine, Youcef, Ali, Abd Elghafour, Abd Elaali, Ahmed, Islame, Amine, Rabeh**.*

Et à tous les amis et proches dont les noms n'ont pu être mentionnés dans ces quelques lignes.



Alaeddine





DEDICACE

À qui je dois ce que je suis,

À qui je dois le meilleur de moi-même,

À mon cher papa et ma chère maman.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour, et ma Considération.

Pour tout le soutien et les sacrifices, qui ont été la véritable raison de tout succès, que j'ai obtenu, bien que je ne vous en acquitte jamais assez.

J'espère que ce travail répondra à vos désirs.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

*À mon ami et collègue "**Terchi Alaeddine**", qui a consacré tous ses efforts à la préparation de ce travail avec succès, je lui adresse tous mes remerciements et ma gratitude.*

*À mon encadrant, docteur "**BOUCHAREB Noureddine**", qui nous a soutenu tout au long de la réalisation de cette mémoire.*

*À le docteur "**REBBAH Abdelraouf Chouaib**" et au docteur " **LALAOUI Meryem** ", qui nous ont apporté leur aide, merci beaucoup. Nous n'oublierons jamais votre gentillesse. Je remercie également tous mes collègues et amis qui m'ont accompagné et encouragé.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

À tous ceux qui me sont cher.



Ayoub



Résumé

Cette étude examine la composition chimique de l'eau du barrage de Béni Haroun, situé dans le Nord-Est de l'Algérie, durant les mois de janvier, février et mars 2024. Elle a été menée en prélevant des échantillons à huit stations sélectionnées de manière raisonnée. Les analyses ont révélé des variations significatives dans les concentrations de divers paramètres physiques et chimiques. Les niveaux de conductivité et de TDS ont montré des fluctuations remarquables, suggérant une possible contamination par des sels minéraux provenant de sources agricoles ou industrielles. Le pH de l'eau, généralement basique, pourrait indiquer une contamination alcaline, potentiellement nuisible pour la vie aquatique en raison de son impact sur la toxicité des substances chimiques. Bien que la salinité soit relativement faible, ses variations pourraient affecter les écosystèmes sensibles. Les concentrations de phosphates, d'ammonium, de nitrites et de nitrates ont également présenté des variations significatives entre les stations. De même, les niveaux de silicate, de sulfates, de chlore, de chlorure de sodium, de sodium et d'azote non ionisé ont montré des différences marquées, mettant en évidence des conditions chimiques divergentes à travers les sites d'échantillonnage. De plus, une diversité de phytoplancton et de zooplancton a été observée, avec des variations dans la présence des genres. Des genres tels que *Ceratium*, *Navicula*, *Pediastrum* et *Scenedesmus* ont été plus fréquemment observés, tandis que d'autres comme *Anabaena* et *Microcystis* étaient moins courants pour le phytoplancton. Pour le zooplancton, des genres comme *Bosmina*, *Brachionus* et *Polyarthra* étaient plus abondants, tandis que d'autres comme *Anuraeopsis*, *Cyclops* et *Daphnia* étaient moins présents. Ces données suggèrent une hétérogénéité significative dans la qualité de l'eau au sein du système hydrographique du barrage, soulignant l'importance du suivi et de la gestion de ces paramètres pour maintenir l'équilibre écologique."

Mots-clés : Nutriments, Plancton, Barrage Béni-Haroun, qualité de l'eau.

Abstract

This study examines the chemical composition of the water in the Béni Haroun Dam, located in northeastern Algeria, during the months of January, February, and March 2024. It was conducted by collecting samples at eight carefully selected stations. The analyses revealed significant variations in the concentrations of various physical and chemical parameters. The levels of conductivity and TDS showed remarkable fluctuations, suggesting possible contamination by mineral salts from agricultural or industrial sources. The water's pH, generally basic, could indicate alkaline contamination, potentially harmful to aquatic life due to its impact on the toxicity of chemical substances. Although salinity was relatively low, its variations could affect sensitive ecosystems. The concentrations of phosphates, ammonium, nitrites, and nitrates also exhibited significant variations between the stations. Similarly, the levels of silicate, sulfates, chlorine, sodium chloride, sodium, and non-ionized nitrogen showed marked differences, highlighting divergent chemical conditions across the sampling sites. Additionally, a diversity of phytoplankton and zooplankton was observed, with variations in the presence of different genera. Genera such as *Ceratium*, *Navicula*, *Pediastrum*, and *Scenedesmus* were more frequently observed, while others like *Anabaena* and *Microcystis* were less common for phytoplankton. For zooplankton, genera like *Bosmina*, *Brachionus*, and *Polyarthra* were more abundant, while others like *Anuraeopsis*, *Cyclops*, and *Daphnia* were less present. These data suggest significant heterogeneity in the water quality within the dam's hydrographic system, emphasizing the importance of monitoring and managing these parameters to maintain ecological balance.

Keywords: Nutrients, Plankton, Béni Haroun Dam, water quality.

هذه الدراسة تفحص التركيب الكيميائي لمياه سد بني هارون، الواقع في شمال شرق الجزائر، خلال أشهر يناير وفبراير ومارس 2024. وقد تم إجراؤها عن طريق أخذ عينات من ثماني محطات تم اختيارها بعناية. كشفت التحليلات عن اختلافات كبيرة في تراكيز مختلف المعايير الفيزيائية والكيميائية. أظهرت مستويات الناقلية والمواد الصلبة الذائبة (TDS) تقلبات ملحوظة، مما يشير إلى احتمال التلوث بالأملح المعدنية القادمة من مصادر زراعية أو صناعية. قد يكون الرقم الهيدروجيني للمياه (pH)، الذي يكون عادةً قاعديًا، مؤشرًا على تلوث قلوي، مما قد يكون ضارًا للحياة المائية بسبب تأثيره على سمية المواد الكيميائية. على الرغم من أن الملوحة كانت منخفضة نسبيًا، إلا أن تقلباتها قد تؤثر على النظم البيئية الحساسة.

كما أظهرت تراكيز الفوسفات (PO_4) والأمونيوم (NH_4) والنترت (NO_2) والنترات (NO_3) اختلافات كبيرة بين المحطات. وبالمثل، أظهرت مستويات السيليكا (SiO_4) والكور (Cl) والصوديوم (Na) اختلافات واضحة، مما يبرز الظروف الكيميائية المتباينة عبر مواقع أخذ العينات. بالإضافة إلى ذلك، تم ملاحظة تنوع في العوالق النباتية والحيوانية، مع وجود اختلافات في تواجد الأجناس. كانت أجناس مثل *Ceratium* و *Navicula* و *Pediastrum* و *Scenedesmus* أكثر تكرارًا، في حين كانت أجناس أخرى مثل *Microcystis* و *Anabaena* أقل شيوعًا بالنسبة للعوالق النباتية. بالنسبة للعوالق الحيوانية، كانت أجناس مثل *Bosmina* و *Brachionus* و *Polyarthra* أكثر وفرة، في حين كانت أجناس أخرى مثل *Anuraeopsis* و *Cyclops* و *Daphnia* أقل وجودًا.

تشير هذه البيانات إلى تباين كبير في جودة المياه داخل النظام الهيدرولوجرافي للسد، مما يبرز أهمية متابعة وإدارة هذه المعايير للحفاظ على التوازن البيئي.

الكلمات المفتاحية: المغذيات، العوالق، سد بني هارون، جودة المياه.

SOMMAIRE



Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

Partie I : Généralités sur l'eau 3

1. Définition de l'eau 3

2. Propriétés des eaux 3

2.1. Propriétés chimiques 3

2.2. Propriétés physiques 5

2.3. Propriétés électriques 6

2.4. Propriétés biologiques 6

3. Cycle naturel de l'eau 7

4. Sources principales de l'eau 8

4.1. Eaux de pluies 8

4.2. Eaux de surface 8

4.3. Eaux souterraines 8

4.4. Eaux de mers et océans 9

5. Importance de l'eau 9

5.1. L'eau dans l'alimentation 9

5.2. L'eau dans l'organisme humain 10

5.3. L'eau dans les aliments 10

5.4. L'eau dans l'industrie 10

5.5. L'eau dans l'agriculture 10

6. Les paramètres de la qualité des eaux superficielles 10

6.1. Les paramètres physico-chimiques 11

6.1.1. Caractéristiques organoleptiques 11

6.1.2. Les caractéristiques minérales des eaux 12

6.2. Les substances eutrophisantes 15

6.2.1. L'Azote ammoniacal 15

6.2.2. Les nitrites 15

6.2.3. Les nitrates 16

6.2.4. Les phosphates 16

Sommaire

6.3. Les paramètres biologiques	17
6.3.1. L'oxygène dissous	17
6.3.2. Les matières organiques	17
6.4. Les métaux lourds	18
Partie II : pollution de l'eau	20
1. Définition de la pollution	20
2. Différentes formes de pollution de l'eau	20
2.1. Pollution diffuse	20
2.2. La pollution ponctuelle	21
2.3. La pollution anthropique	21
2.4. La pollution accidentelle	21
3. Les types de pollution	21
3.1. La pollution biologique	21
3.2. La pollution physique	23
3.3. Pollution chimique	23
4. Les principales sources de pollution d'eau	24
4.1. Pollution atmosphérique	24
4.2. La pollution urbaine	24
4.3. Pollution industrielle	24
4.4. Pollution agricole	25
4.5. Pollution naturelle	25
5. Les conséquences de la pollution des eaux	26
5.1. Sur les êtres vivants	26
5.2. Sur la santé humaine	26
5.2.1. Maladies de mains sales	27
5.2.2. Choléra	27
5.2.3 Diarrhées	27
5.2.4. Poliomyélite	27
5.2.5. Fièvre typhoïde	27
5.2.6. Méningite	28
5.2.7. Hépatite A et E	28
Partie III : Généralités sur plancton	29
1. Plancton	29
1.1. Définition plancton	29
2. Phytoplancton	29
2.1. Définition du phytoplancton	29
2.2. Habitat et écologie	30
2.3. Facteurs de croissance de phytoplancton	31
2.4. Reproduction	32
2.5. La systématique du phytoplancton	32
2.6. Les clés d'identification du phytoplancton	33

Sommaire

2.6.1. Le cas des algues vraies	33
2.6.2. Le cas des Cyanobactéries	33
2.7. La place du phytoplancton dans le réseau trophique	34
2.8. Principaux groupes connus du phytoplancton	35
2.8.1. Les cyanophycées	36
2.8.2. Les chlorophycées	36
2.8.3. Les xanthophycées	37
2.8.4. Les chrysophycées	38
2.8.5. Les diatomées	39
2.8.6. Les cryptophycées	40
2.8.7. Les dinoflagellés	41
2.8.8. Les Euglénophycées	41
2.9. Le cycle annuel du phytoplancton	42
2.10. Impacts des facteurs naturels sur la dynamique planctonique	43
2.10.1. Facteurs d'origine abiotique	43
2.10.2. Facteurs d'origine biotique	46
2.11. Le phytoplancton comme indicateur de pollution	47
2.12. Rôle du phytoplancton dans l'écosystème aquatique	47
2.12.1. Dans la photosynthèse	47
2.12.2. Dans la chaîne alimentaire	47
2.12.3. Dans le traitement des eaux usées	48
2.13. Effets nuisibles du phytoplancton	48
2.13.1. Risque sur la santé humaine	48
2.13.2. Risque sur l'environnement et le cadre de vie	48
2.13.3. Risque sur les organismes vivant	48
3. Zooplancton	49
3.1. Généralités sur les communautés zooplanctoniques	49
3.2. Les Copépodes	50
3.2.1 Description	50
3.2.2. Systématique	51
3.3. Les cladocères	51
3.3.1. Description	51
3.3.2. Systématique	52
3.4. Les Rotifères	53
3.4.1. Description	53
3.4.2. Systématique	53
3.5. Écologie et rôle fonctionnel du zooplancton	54
CHAPITRE II : Matériel et Méthodes	
Partie I : présentation de la zone d'étude	55
1. Présentation de la Wilaya de Mila	55

Sommaire

1.1. Situation géographique et administrative	55
1.2. Situation édaphique	56
1.2.1. Pédologie	56
1.2.2. Géologie	56
1.2.3. Relief	56
1.3. Contexte climatique	57
1.3.1. Température	57
1.3.2. Précipitations	58
1.3.3. Diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique	59
1.3.4. Humidité	60
1.3.5. Vent	61
1.4. Cadre biotique	62
1.4.1. La faune	62
1.4.2. L'avifaune	63
1.4.3. La flore	64
2. Présentation du Barrage de Béni-Haroun	65
2.1. Situation géographique et hydrologie	65
2.2. L'intérêt socio-économique du barrage	66
2.3. Caractéristiques hydrographiques du barrage	67
2.4. Contexte géologique	68
2.5. Source de pollution du barrage	68
2.5.1. Décharges publiques	68
2.5.2. Les eaux usées domestiques	68
2.5.3. L'eaux usées industrielles	68
2.5.4. Agriculture	69
Partie II : Matériel et Méthodes de prélèvements et d'analyses	70
1. Matériels et méthodes d'étude hydrologique	70
1.1. Matériel d'étude	70
1.2. Prélèvement hydrologique	72
1.3. Méthodes d'analyses chimiques	73
1.3.1. Ammonium (NH ₄)	74
1.3.2. Sulfate (SO ₄)	75
1.3.3. Silicium (Si(OH) ₄)	75
1.3.4. Nitrite (NO ₂)	76
1.3.5. Nitrate (NO ₃)	77
1.3.6. Chlorure (Cl)	78
1.3.7. Sodium (Na)	79
1.3.8. Phosphate (PO ₄)	79
2. Matériel et méthode d'étude planctonique	80
2.1. Matériel d'étude	80
2.2. Les méthodes de prélèvement du plancton	81

Sommaire

2.3. Les méthodes d'étude du plancton	82
2.4. L'identification du phytoplancton et Zooplancton	82
CHAPITRE III : Résultats et Discussion	
1. Les résultats physico-chimiques	83
1.1. Les Paramètres physiques	83
1.2. Les Paramètres chimique	84
1.2.1. Distribution des concentrations en ammonium (NH_4) dans le barrage de Béni-Haroun	84
1.2.2. Distribution des concentrations en nitrite (NO_2) dans le barrage de Béni-Haroun	85
1.2.3. Distribution des concentrations en nitrate (NO_3) dans le barrage de Béni-Haroun	86
1.2.4. Distribution des concentrations en NID dans le barrage de Béni-Haroun	87
1.2.5. Distribution des concentrations en phosphate (PO_4) dans le barrage de Béni-Haroun	88
1.2.6. Distribution des concentrations en silicium ($\text{Si}(\text{OH})_4$) dans le barrage de Béni-Haroun	89
1.2.7. Distribution des concentrations en sulfate (SO_4) dans le barrage de Béni-Haroun	90
1.2.8. Distribution des concentrations en chlorure (Cl) dans le barrage de Béni-Haroun	91
1.2.9. Distribution des concentrations en sodium (Na) dans le barrage de Béni-Haroun	92
2. Étude qualitatif de la communauté phytoplanctonique	93
2.1. Taxonomie du genre phytoplanctonique	94
2.2. Composition taxonomique et structure des communautés phytoplanctonique	100
2.2.1. Richesse des Règne en genres	100
2.2.2. Richesse des embranchements en genres	101
2.2.3. Richesse des Classes en genres	102
2.2.4. Richesse des Ordres en genre	103
2.2.5. Richesse du Familles en genres	104
3. Étude qualitatif de la communauté zooplanctonique	104
3.1. Taxonomie du genre phytoplanctonique	105
3.2. Composition taxonomique et structure des communautés zooplanctonique	109
3.2.1. Richesse des Embranchement en genres	109
3.2.2. Richesse de la classe en genres	109
3.2.3. Richesse des Ordre en genres	110
3.2.4. Richesse des Famille en genres	111
Conclusion	113
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableaux n°	Titre	Page
1	Qualite de l'eau en fonction de la matiere en suspension.	11
2	Qualite de l'eau en fonction de la temperature.	12
3	Qualite de l'eau en fonction de la turbidite.	12
4	Qualite de l'eau en fonction de la durete.	12
5	Qualite de l'eau en fonction de ph.	13
6	Qualite de l'eau en fonction de la conductivite electrique.	13
7	Qualite de l'eau en fonction de la concentration en sodium.	14
8	Qualite de l'eau en fonction de la concentration des chlorures et sulfates.	15
9	Qualite de l'eau en fonction de la concentration du nitrite.	15
10	Qualite de l'eau en fonction de la concentration du nitrate.	16
11	Qualite de l'eau en fonction de la concentration du phosphate.	16
12	Qualite de l'eau en fonction de la concentration d'oxygene dissous.	17
13	Qualite de l'eau en fonction de la dco.	18
14	Qualite de l'eau en fonction de la dbo5.	18
15	Parametre de temperature durant la periode (2010-2020) de la region d'etude.	57
16	Precipitation (mm) moyenne durant la periode (2010-2020).	58
17	Variation de precipitation et temperature durant la periode (2010-2020) dans la region d'etude.	59
18	Taux moyenne d'humidite (%) durant la periode (2010-2020) dans la region d'etude.	60
19	Variation de force moyenne de vent durant la periode (2010-2020) de la region d'etude.	61
20	Sous bassins et leurs superficies.	66
21	Appareillages utilisees pour les mesures des parametres physicochimiques	70
22	Positionnement des stations de prelevement hydrologique autour du barrage de beni-haroun durant le printemps 2024.	72
23	Resume des methodes d'analyse des elements chimiques.	73
24	Materiel d'echantillonnage et d'observation planctoniques.	80
25	Variations des parametres physiques dans les stations examinees dans le barrage de beni-haroun au cours de la periode d'etude printemps 2024.	83
26	Systematiques du phytoplancton.	94
27	Systematique du zooplancton.	105

Liste des figures

Figure n°	titre	Page
1	Structure moleculaire de l'eau.	4
2	ph de l'eau.	4
3	Cycle general de l'eau.	7
4	schéma résumant les grands compartiments et les grandes voies de transfert au sein du réseau trophique pélagique.	35
5	Quelques especes des cyanobacteries.	36
6	Quelques especes des chlorophytes.	37
7	Quelques especes des xanthophycees.	38
8	Quelques especes des chrysophycees.	39
9	Quelques especes des diatomees.	40
10	Quelques especes des cryptophycees.	40
11	Quelques especes des dinoflagelles.	41
12	Quelques especes des euglenophycees.	42
13	Prolifération des phytoplanctons a différentes saisons	43
14	Description de la morphologie d'un copépode.	50
15	Description de la morphologie d'un cladocère.	52
16	Description de la morphologie d'un rotifère.	53
17	La situation géographique de la wilaya de Mila.	55
18	Carte des reliefs de la wilaya de Mila.	56
19	Variation de température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude.	58
20	Précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude.	59
21	Diagramme pluviothermique ou ombrothermique durant la période (2010-2020).	60
22	Variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020).	61
23	Variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020).	62
24	La diversité faunistique de la région de Mila.	62
25	Liste des espèces des oiseaux terrestres présents dans la région de Mila.	63
26	Liste des espèces avifaunistiques observées au niveau du barrage de Beni Haroun et du barrage sidi khelifa.	63
27	Différents types des forets de la wilaya de Mila.	64
28	Situation géographique du barrage de Beni Haroun.	65
29	Positionnement du barrage Beni Haroun.	67
30	Le prélèvement hydrologique.	72

Liste des figures

31	Stations de prélèvement hydrologique dans le barrage de Beni Haroun (janvier, février et mars 2024).	73
32	Dosage de l'azote ammoniacal.	74
33	Dosage de sulfate.	75
34	Dosage de silicium.	76
35	Dosage des nitrites.	77
36	Dosage des nitrates.	78
37	Dosage de chlorure.	79
38	Dosage des phosphates.	80
39	Le prélèvement du plancton.	81
40	Distribution des teneurs en azote ammoniacal dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	85
41	Distribution des teneurs en nitrites dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	86
42	Distribution des teneurs en nitrates dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	87
43	Distribution des teneurs en nid dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	88
44	Distribution des teneurs en ortho-phosphates dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	89
45	Distribution des teneurs en ortho-silicates dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	90
46	Distribution des teneurs en ortho-sulfates dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	91
47	Distribution des teneurs en chlorure dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	92
48	Distribution des teneurs en sodium dans le barrage de Beni Haroun au cours de période d'étude (printemps 2024).	93
49	Représentation graphique de la richesse des règnes en genres.	100
50	Représentation graphique de la richesse des embranchements en genres.	101
51	Représentation graphique de la richesse des classes en genres.	102
52	Représentation graphique de la richesse des ordres en genres.	103
53	Représentation graphique de la richesse des familles en genres.	104
54	Représentation graphique de la richesse des embranchements en genres.	109
55	Représentation graphique de la richesse des classes en genres.	110
56	Représentation graphique de la richesse des ordres en genres.	111
57	Représentation graphique de la richesse des familles en genres.	112

Liste des abréviations

Avr : Avril.

BCR : Béton compacté au rouleau.

C : Carbone.

Ca²⁺ : L'ion calcium.

CE : Communauté Européenne.

CE : Conductivité électrique.

CF : Conservation des forêts.

Chl *a* : Chlorophylle *a*.

Cl⁻ : Chlorure.

CO : Monoxyde de carbone.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

CO₃⁻ : Carbonates.

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

Déc : Décembre.

DSP : Diarrheic Shellfish Poisoning, (Intoxications diarrhéiques par les fruits de mer).

Fév : Février.

g/m³ : Gramme par mètre cube.

h : Heure.

H⁺ : L'ion d'hydrogène.

H₂O : Monoxyde de dihydrogène.

H₂S : Thiosulfate.

H₂SO₄ : L'acide sulfurique.

HCO₃⁻ : L'ion bicarbonate.

HSiO₃²⁻ : ions silicates.

Jan : Janvier.

Jui : Juin.

Juil : Juillet.

K⁺ : L'ion potassium.

Km : Kilomètre.

Km² : Kilomètre carré.

L : Litre.

LSNM : Laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux.

m : Mètre.

Liste des abréviations

M : Mole.

m/s : Mètre par seconde.

m² : Mètre carré.

m³ : Mètre cube.

m³/s⁻¹ : Mètre cube par seconde.

Mar : Mars.

MES : Matières en suspension.

mg : Milligramme.

mg/l : Milligramme par litre.

Mg²⁺ : L'ion magnésium.

Mini : Minimum.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

Moy : Moyenne.

Ms/cm : milli simens par centimètre.

MTH : Maladie à transmission hydrique.

N : Azote.

N₂ : Diazote.

Na⁺ : L'ion sodium.

Na⁺ : L'ion sodium.

NH₃ : L'ammoniac.

NH₄⁺ : l'ammonium.

NO : Monoxyde d'azote.

NO₂ : Dioxyde d'azote.

NO₃⁻ : Nitrates.

Nov : Novembre.

NTU : Unité de turbidité néphélométrique.

O₂ : Dioxygène.

Oct : Octobre.

OH⁻ : ions hydroxyles.

OMS : Organisation Mondiale du Santé.

ONM : Office national de la météorologie.

P.M.I : fait référence aux "Petites et Moyennes Industries.

PO₄³⁻ : phosphates.

Liste des abréviations

PSP : Paralyzing shellfish poisoning (Intoxications paralysantes par les fruits de mer).

S1-(B-Sm): S1-Barrage (Sidi Marouan)

S2-(B-Fd): S2-Barrage (Ferdoua)

S3-(B-Md): S3-Barrage (Medious)

S4-(B-Kk): S4-Barrage (Kikaia)

S5-(B-Gg): S5-Barrage (Grarrem)

S6-(B-Di): S6-Barrage (La Digue)

S7-(B-EM): S7-Barrage (El-Malleh)

S8-(B-OE): S8-Barrage (Oued EL Kebir)

Sep : Septembre.

SO₂ : Dioxyde de soufre.

SO₄²⁻ : L'ion sulfate.

T : Température.

t : Tonne.

Tab : Tableau.

TDS : Taux de Solides Dissous.

UNICEF : Fonds international d'urgence des Nations Unies pour l'enfance.

USA: United States of American.

VHA : virus de l'hépatite A.

VHE : virus de l'hépatite E.

WHO: World health organization.

μm : Micromètre.

μM : Micromole.

μs/cm : Microsiemens par centimètre.

μs/m : Microsiemens par mètre.

Ω·cm : ohm-centimètre.

Ω·m : ohm-mètre.

λ : Longueur d'onde.

> : Inférieure.

< : Supérieure.

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius.

INTRODUCTION



L'eau est une ressource essentielle pour tous les écosystèmes et indispensable à la vie sur Terre. Elle joue un rôle crucial dans la régulation climatique et le fonctionnement de notre planète (Onema, 2015). En outre, l'eau est un enjeu politique, économique et stratégique majeur, intervenant dans la potabilisation, l'agriculture, l'industrie, la production d'électricité, ainsi que dans les usages domestiques et la fourniture d'eau potable (Festy et al., 2003).

La pollution des milieux aquatiques constitue un problème majeur pour l'humanité et pour les populations végétales et animales dépendant de ces milieux. Cette pollution peut être organique, chimique ou microbiologique et se manifeste par la dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'eau. Elle résulte de déversements, rejets et dépôts de substances indésirables comme les microorganismes, les produits toxiques et les déchets industriels (Mekhalif, 2009).

Les sources de pollution de l'eau peuvent être naturelles ou humaines. La dégradation naturelle peut provenir de la faune, de la flore, des éruptions volcaniques, des éclairs, etc. En revanche, la pollution anthropique provient des déchets industriels, agricoles et domestiques, perturbant l'équilibre naturel. Ce processus de pollution peut se produire à différentes étapes du cycle hydrologique, mais il est le plus visible à la surface terrestre. Les précipitations peuvent être contaminées par des polluants atmosphériques, les eaux de surface par le ruissellement des bassins versants, et les eaux souterraines par infiltration et contamination du sous-sol (Preul, 2000).

Le suivi du plancton est crucial pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques. Le plancton, comprenant les formes de vie aquatique dépendant des courants pour leur déplacement, joue un rôle clé dans la chaîne alimentaire. Le plancton végétal (phytoplancton) constitue le premier maillon de cette chaîne, assurant la production primaire par photosynthèse. Sa croissance dépend de la disponibilité en nutriments, de la température et de la lumière. Cependant, une surabondance de nutriments peut conduire à l'eutrophisation, une prolifération excessive de phytoplancton (Hamilton et Schladow, 1997).

Le phytoplancton est essentiel pour la biodiversité et la qualité des eaux. Les proliférations de phytoplancton, de plus en plus fréquentes, réduisent la transparence de l'eau et la concentration d'oxygène dissous, entraînant une perte de biodiversité (Talita et al., 2011).

Le zooplancton, quant à lui, joue un rôle central dans les réseaux trophiques aquatiques. Il est influencé par les facteurs ascendants (nutriments, ressources algales) et descendants (prédation par les poissons et les invertébrés) (McQueen et al., 1986).

Le zooplancton régule les écosystèmes lacustres en contrôlant le développement des algues et en maintenant la transparence de l'eau par broutage. Il transfère également le carbone vers les niveaux trophiques supérieurs, notamment les poissons planctivores et piscivores. Comprendre les dynamiques du zooplancton est donc essentiel pour une meilleure compréhension de l'ensemble de l'écosystème aquatique. De plus, la petite taille et le cycle de vie court du zooplancton facilitent son étude, permettant d'isoler des relations écologiques représentatives de la communauté globale (Lampert *et al.*, 1986).

Dans ce contexte notre étude est focalisée sur le barrage de Beni-Haroun. Notre objectif principal est d'évaluer l'impact des paramètres physico-chimiques sur la structure du plancton dans ce barrage. En combinant des méthodes analytiques avancées avec des techniques de caractérisation du plancton, notre recherche vise à établir des liens entre les paramètres physico-chimiques de l'eau du barrage et la composition, la diversité, ainsi que l'abondance du plancton.

Le manuscrit est structuré en trois chapitres essentiels :

- Le premier chapitre est strictement documentaire :

La partie I : présente des généralités sur l'eau, les paramètres d'évaluation de la qualité des eaux superficielles et les caractères physique chimique de l'ensemble des éléments étudiées.

La partie II : présente des généralités sur la pollution des eaux.

La partie III : présente des généralités sur le plancton (phytoplanctons et zooplanctons).

- Le deuxième chapitre focalise sur la présentation de la région d'étude, aussi exprime la description générale du site d'étude à partir des études climatologie, géologie, hydrologie et une contribution à l'étude de son cadre biotique. Et présente une étude expérimentale consacrée aux présentations du matériel et méthodologie suivie pour la réalisation des analyses physicochimiques et identification planctonique.

- Le troisième chapitre présente l'essentiel des résultats obtenus et la discussion.

CHAPITRE I

«SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE»



Partie I : Généralités sur l'eau

1. Définition de l'eau

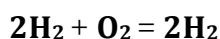
L'eau, élément vital à la préservation de la vie, se trouve abondamment à la surface de la Terre et revêt un rôle fondamental dans la composition organique des êtres vivants et des végétaux. En perpétuel mouvement, elle circule à travers la planète sous ses trois états : solide, liquide et gazeux (Roux, 1995). Sous l'effet de l'énergie solaire, elle s'évapore et participe à l'évapotranspiration. Les précipitations ainsi que les flux souterrains et de surface font partie intégrante de ce processus cyclique.

La problématique de l'eau englobe à la fois sa qualité et sa quantité, nécessitant une gestion efficace de la ressource et la lutte contre la pollution. Pour être acceptée par la population et garantir la sécurité du consommateur ainsi que la pérennité des réseaux de distribution, une eau de qualité physico-chimique et biologique irréprochable est indispensable (Roux, 1995).

L'eau se manifeste dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide et gazeux, en fonction des variations de température et de pression.

La molécule d'eau, unité fondamentale, conserve toutes les propriétés physiques et chimiques de cette substance essentielle à la vie. Composée d'un atome d'oxygène relié à deux atomes d'hydrogène, elle représente le niveau de base de l'eau, atteint par des divisions successives.

L'eau est l'un des composés chimiques les plus remarquables, dotée de propriétés physico-chimiques uniques. Sa formule chimique, H_2O , est constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène disposés en V inversé, avec un angle de 105° .



2. Propriétés des eaux

2.1. Propriétés chimiques

En chimie, l'eau est également désignée sous le nom de H_2O . Sa formule moléculaire est constituée d'hydrogène et d'oxygène (fig. 1). Bien que la représentation de l'eau par une "tête de Mickey" soit largement reconnaissable, cette connaissance commune a nécessité du temps pour émerger en raison de controverses et d'obstacles rencontrés (Dumon, 2021).

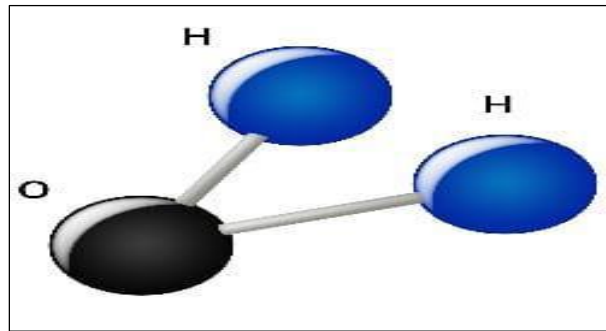


Figure 1 : Structure moléculaire de l'eau (Khoubach et Laouar, 2006).

L'eau peut être décomposée en ions protons H^+ et en ions hydroxydes OH^- , ce qui est mesurable par le pH, une échelle allant de 0 à 14 où un pH de 7 est considéré comme neutre (fig. 2). En raison de ses propriétés chimiques, l'eau joue un rôle crucial dans les réactions impliquant des substances chargées électriquement. De plus, elle sert de solvant pour des agents corrosifs tels que les acides ou le dioxyde de carbone dissous, qui se transforment en acide faible capable de dissoudre des substances telles que le calcaire (Cieau, 2023).

L'eau pure est neutre, avec un pH proche de 7,0 à 25°C. Les précipitations normales ont un pH d'environ 5,6 (légèrement acide) en raison du dioxyde de carbone atmosphérique. Les plages de pH recommandées pour l'eau potable sont de 6,5 à 8,5 pour un usage domestique et pour le bien-être des organismes vivants (Cieau, 2023).

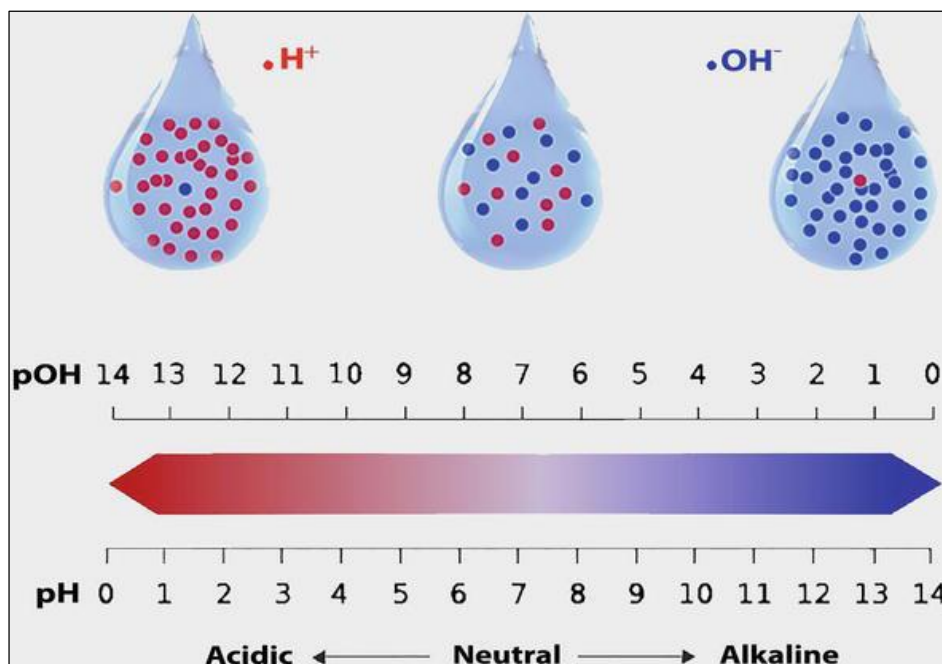


Figure 2 : pH de l'eau (Hassan Omar, 2019).

2.2. Propriétés physiques

Les propriétés physiques de l'eau la distinguent des autres liquides. Contrairement à ces derniers, elle présente une structure organisée grâce aux liaisons hydrogène entre ses molécules, ce qui lui confère des caractéristiques uniques. Selon [Philippe \(2014\)](#), voici quelques paramètres physiques de l'eau :

2.2.1. Point d'ébullition : Les liaisons hydrogène entre les molécules d'eau nécessitent une grande quantité d'énergie pour être rompues, ce qui explique pourquoi l'eau a un point d'ébullition élevé par rapport à sa masse molaire. Cette caractéristique est essentielle pour maintenir une phase liquide à des températures habitables sur Terre, favorisant ainsi l'émergence et le maintien de la vie.

2.2.2. Viscosité : La viscosité de l'eau varie en fonction de sa composition chimique et de sa température, ce qui peut rendre deux eaux non miscibles. Cette propriété est cruciale pour la circulation des courants océaniques qui influent sur le climat planétaire.

2.2.3. Solvant : L'eau est un solvant essentiel sur Terre, dissolvant minéraux et substances organiques rencontrées sur son chemin. La teneur en sels dissous dans l'eau varie selon son origine, allant de quelques grammes par mètre cube pour l'eau de pluie à plusieurs milliers de grammes par mètre cube pour l'eau de mer.

2.2.4. Tension superficielle : L'eau présente une tension superficielle élevée, favorisant la formation de gouttes et l'ascension capillaire.

2.2.5. Chaleur spécifique : L'eau a une chaleur spécifique élevée, ce qui signifie qu'elle absorbe et libère une grande quantité d'énergie pour changer de température.

2.2.6. Chaleur latente : Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont élevées, contribuant à refroidir continuellement les océans par évaporation.

2.2.7. Capacité thermique : L'eau possède une capacité thermique élevée parmi les fluides, agissant comme un tampon contre les variations de température.

2.2.8. Densité maximale : L'eau atteint sa densité maximale à +4°C, ce qui est crucial pour le brassage des eaux dans les lacs et autres masses d'eau.

2.2.9. Transparence : L'eau est transparente dans le spectre visible, mais absorbe le rayonnement infrarouge, ce qui explique le réchauffement des eaux superficielles.

2.3. Propriétés électriques

L'eau présente des propriétés électriques remarquables en raison de sa capacité à dissocier les sels ioniques. Toutefois, à température ambiante, l'eau pure agit comme un isolant électrique car elle ne contient pas suffisamment d'ions pour permettre une conduction électrique significative (Nave, 2020).

Les paramètres électriques des eaux comprennent la conductivité électrique, la résistivité électrique, la permittivité diélectrique, la capacité électrique et la polarisabilité électrique. Voici quelques paramètres clés :

2.3.1 Conductivité électrique : La conductivité électrique de l'eau dépend de sa concentration en ions et peut varier de quelques microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour l'eau pure à plusieurs millisiemens par centimètre (mS/cm) pour l'eau de mer (Nave, 2020).

2.3.2 Résistivité électrique : La résistivité électrique est l'inverse de la conductivité électrique. Elle est exprimée en ohms-centimètres ($\Omega\cdot\text{cm}$) ou en ohms-mètres ($\Omega\cdot\text{m}$) et indique la capacité de l'eau à résister au passage d'un courant électrique (Nave, 2020).

2.3.3. Permittivité diélectrique : La permittivité diélectrique mesure la capacité de l'eau à stocker de l'énergie électrique dans un champ électrique. Sa valeur dépend de la fréquence du champ électrique et de la concentration en ions dans l'eau (Nave, 2020).

2.3.4. Capacité électrique : La capacité électrique évalue la quantité d'énergie électrique stockée dans l'eau soumise à un champ électrique. Elle dépend de la permittivité diélectrique de l'eau et de la configuration de l'interface entre l'eau et le matériau diélectrique (Nave, 2020).

2.3.5. Polarisation électrique : La polarisation électrique mesure la capacité de l'eau à se polariser en réponse à un champ électrique. Sa valeur dépend de la polarisabilité intrinsèque de l'eau (Nave, 2020).

2.4. Propriétés biologiques :

Un indicateur crucial de la qualité de l'eau réside dans la présence ou l'absence d'organismes vivants. Les biologistes peuvent étudier la diversité des espèces de poissons et d'insectes dans les eaux naturelles pour évaluer cette qualité, en se basant notamment sur un indice de diversité des espèces. Ainsi, un écosystème aquatique abritant un grand nombre d'espèces équilibrées est considéré comme sain. Certains organismes peuvent servir d'indicateurs de la présence de polluants, leur tolérance à un polluant spécifique étant connue (Hassan Omar, 2019).

3. Cycle naturel de l'eau

Le cycle naturel de l'eau peut être conceptualisé comme un flux continu au sein d'un système en circuit fermé. Une représentation simplifiée de ce circuit implique le mouvement de l'eau des océans vers l'atmosphère et les terres, puis des terres vers les océans. Cette dynamique cyclique est communément désignée sous le terme de "cycle de l'eau" (Anctil et al., 2013).

Essentiellement, le cycle de l'eau (fig. 3) constitue l'un des éléments fondamentaux de la régulation énergétique globale de la planète, impliquant la terre, les océans et l'atmosphère (Roche et al., 2012). Schématiquement, l'eau circule entre trois principaux réservoirs : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. Sous l'effet du rayonnement solaire, la surface terrestre chauffe l'hydrosphère, provoquant son évaporation et enrichissant l'atmosphère en vapeur d'eau. Lorsque cette vapeur d'eau se refroidit et se condense, elle retombe sous forme de précipitations sur la lithosphère.

Une partie des précipitations ruisselle à la surface, alimentant les cours d'eau et les lacs, où elle est ensuite soit évaporée, soit infiltrée dans le sol. Les eaux infiltrées sont partiellement absorbées par la végétation, puis libérées dans l'atmosphère par transpiration. Une autre partie s'accumule dans les nappes phréatiques, formant des réserves souterraines qui, à leur tour, alimentent les sources émergeant à la surface et ainsi perpétuent le cycle (Raven et al., 2009).

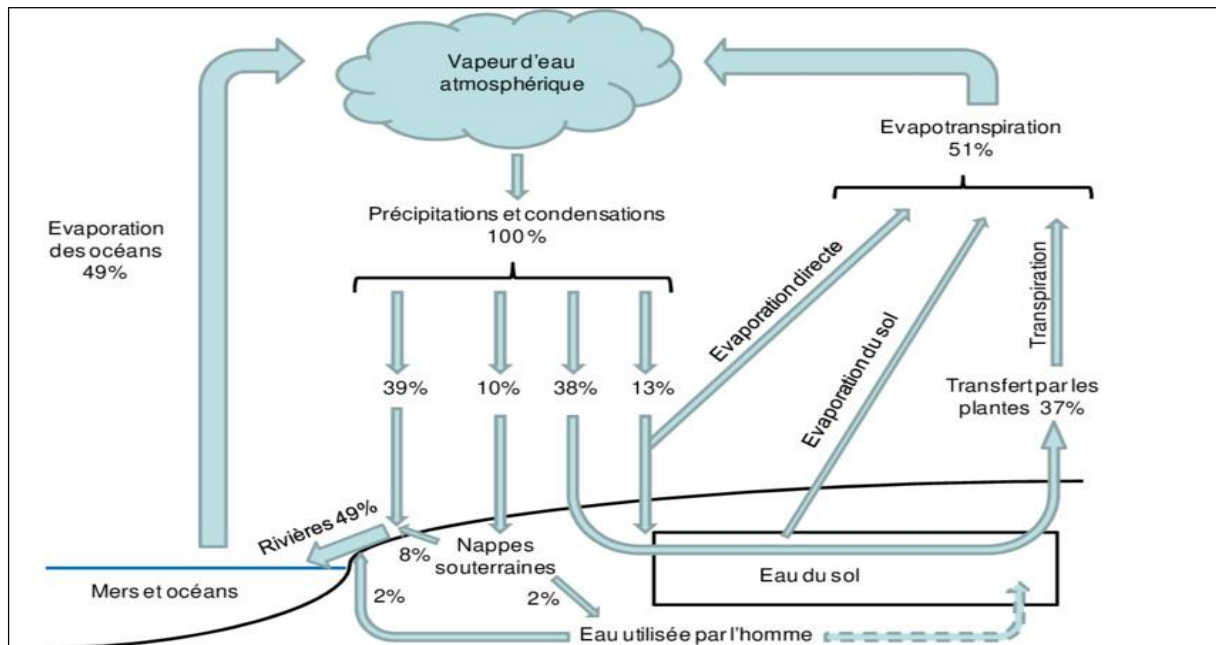


Figure 3 : Cycle général de l'eau (Juery, 2002).

4. Sources principales de l'eau

On retrouve quatre sources principales d'eaux brutes :

4.1. Eaux de pluies

Les eaux de pluie sont généralement de bonne qualité, caractérisées par leur douceur et l'absence de sels de calcium, de magnésium, de fer et de manganèse. Elles sont également riches en oxygène (O_2), en azote (N_2) et en dioxyde de carbone (CO_2). Cependant, dans les zones industrielles, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques et des gaz tels que le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO) et (NO_2), ainsi que l'acide sulfurique (H_2SO_4). Les gaz issus de l'azote et du soufre contribuent à l'acidité de certaines pluies, pouvant faire chuter le pH jusqu'à 4, ce qui entraîne la formation de pluies acides (Brière, 2000).

4.2. Eaux de surface

Les eaux de surface peuvent être classées en deux catégories de milieux :

4.2.1. Milieu lotique : Ce type de milieu se caractérise par un gradient de vitesse du courant allant de l'amont vers l'aval, avec une diminution de la vitesse depuis la source jusqu'à l'embouchure. La vitesse maximale du courant se trouve au milieu du lit et près de la surface, tandis qu'elle est minimale le long des berges et près du fond. Cette distribution de la vitesse du courant influe sur la composition et la structure de la communauté biologique, la plupart des organismes vivant dans la couche limite, c'est-à-dire la zone d'eau calme en contact avec le substratum. L'eau en mouvement agit comme un agent d'érosion et de transport de matériaux (Dumont, 2008).

4.2.2. Milieu lentique : Ce type de milieu résulte de l'accumulation d'eau dans des dépressions naturelles ou artificielles telles que les mares, les étangs, les lacs et les retenues. Le temps de séjour des eaux, qui est une caractéristique fondamentale des eaux stagnantes, varie considérablement en fonction du rapport entre les apports annuels et le volume de la cuvette. Ce paramètre essentiel représente la durée pendant laquelle l'eau est soumise à l'influence des facteurs qui conditionnent son évolution physico-chimique et biologique (Grosclaude, 1999).

4.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont généralement de haute qualité et leur composition reste relativement stable au sein d'une même nappe. Elles sont moins susceptibles d'être contaminées par des sources de pollution. Les principales caractéristiques de ces eaux comprennent :

- Une faible turbidité, car elles bénéficient d'une filtration naturelle à travers le sol.
- Une contamination bactérienne réduite.
- Une température constante, car elles sont protégées contre le rayonnement solaire et les variations atmosphériques.
- Un faible indice de couleur, car elles ne sont pas en contact avec des substances végétales.
- Un débit constant tout au long de l'année, contrairement aux eaux de surface.
- Une dureté souvent élevée en raison de la présence de métaux bivalents provenant des formations rocheuses.
- Des concentrations élevées de fer et de manganèse, ces métaux étant facilement dissous lorsque l'eau est dépourvue d'oxygène dissous (Brière, 2000).

4.4. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans sont d'immenses réservoirs d'eau, représentant près de 97 % du volume total d'eau sur la planète (Brière, 2000).

5. Importance de l'eau

L'eau revêt une importance cruciale dans notre environnement et dans la vie de toutes les formes de vie sur Terre. Elle constitue les trois quarts de la surface de notre planète et se présente sous diverses formes telles que la pluie, la glace et la neige. De plus, elle est présente dans le sol et la végétation (Anglaret et Mortier, 2002).

L'eau est non seulement essentielle à la survie humaine en tant que composant du corps et des aliments, mais elle est également utilisée dans de nombreux domaines tels que l'alimentation, l'industrie et l'agriculture. Cependant, sa consommation excessive peut également contribuer à la transmission de maladies hydriques par les agents pathogènes qu'elle peut véhiculer (Guerd et Mesghouni, 2007).

5.1. L'eau dans l'alimentation

L'eau est essentielle à la survie de l'homme et de tous les êtres vivants. Les aliments déshydratés ne peuvent pas permettre un développement et une reproduction normaux sans un apport complémentaire en eau (Grosclaude, 1999). Dans l'alimentation humaine, l'eau joue un

rôle crucial en compensant les pertes hydriques, avec un apport total de 2,21 litres, dont 1,21 litre provenant de boissons et 1 litre contenu dans les aliments (Degremont, 1989).

5.2. L'eau dans l'organisme humain

L'eau constitue la majeure partie du corps humain, variant en quantité selon les différents tissus : 10% pour l'ivoire des dents, 22% pour les os, 25% pour les masses grasses, 75% pour les muscles striés et 90% pour le plasma. Elle représente en moyenne 60% du poids corporel chez l'homme adulte et 55% chez la femme (Degremont, 1989).

La proportion d'eau diminue avec l'âge, passant de 95% chez le fœtus à 50% chez les personnes âgées (Genin *et al.*, 2003).

5.3. L'eau dans les aliments

L'eau est présente à des niveaux variables dans tous les aliments, indispensable pour leur texture et pour les réactions biochimiques impliquées dans leur transformation. Les enzymes microbiennes naturellement présentes dans les aliments nécessitent une quantité adéquate d'eau pour agir, ce qui conditionne les fermentations et autres processus de dégradation (Degremont, 1989).

5.4. L'eau dans l'industrie

L'eau est utilisée dans diverses applications industrielles, notamment pour le nettoyage, le transport hydraulique et le refroidissement. Dans l'industrie alimentaire, ses besoins sont significatifs (Grosclaude, 1999).

5.5. L'eau dans l'agriculture

L'agriculture est le secteur qui consomme le plus d'eau douce, représentant 70% des prélèvements mondiaux. Toutes les plantes nécessitent de l'eau pour leur croissance et leur reproduction, avec par exemple 500 à 1000 litres d'eau nécessaires pour produire 1 kg de grain (blé, riz, maïs, orge, soja). L'irrigation joue un rôle majeur dans la production alimentaire et la sécurité alimentaire, représentant jusqu'à 95% de l'utilisation d'eau dans certains pays et régions (Lecoq, 1965 ; Ramade, 1981).

6. Les paramètres de la qualité des eaux superficielles :

Les critères de qualité des eaux de surface sont évalués en se basant sur la mesure de divers paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de microorganismes aquatiques.

6.1. Les paramètres physico-chimiques

6.1.1. Caractéristiques organoleptiques

a. Matière en suspension : Les matières en suspension présentes dans les eaux varient en nature et en taille, comprenant du quartz, des argiles, des sels minéraux insolubles, ainsi que des particules organiques provenant de microorganismes et de la décomposition d'organismes animaux ou végétaux. La quantification des matières en suspension dans l'eau se fait par filtration ou centrifugation (Dore, 1989).

Tableau 1 : qualité de l'eau en fonction de la matière en suspension [site web 1].

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
MES Mg /L	<25	25 – 30	30 - 70	>70

b. La couleur : La coloration de l'eau peut avoir une origine naturelle, comme la présence d'éléments métalliques, de matières humiques ou de micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation, ou être associée à sa pollution, telle que la présence de composés organiques colorés. En général, la coloration de l'eau est souvent le signe de la présence de composés dissous. Une estimation de la couleur peut être faite en observant visuellement l'échantillon placé dans un récipient large et incolore (Thomas, 1995).

c. L'odeur : L'eau potable doit être inodore, non seulement au moment du prélèvement mais également après avoir été conservée pendant 10 jours à température constante de 26°C. Selon la réglementation française, elle ne doit pas présenter de saveur désagréable. Les odeurs dans l'eau proviennent principalement de la dégradation de composés azotés ou soufrés, tels que les amines, l'ammoniac, les mercaptans, etc. L'hydrogène sulfuré (H₂S) est souvent responsable de l'odeur d'œuf pourri, qui pose généralement le plus de problèmes (Thomas, 1995).

d. La température : Il est essentiel de mesurer avec précision la température de l'eau car elle influence de nombreux paramètres, tels que la solubilité des sels et des gaz, la dissociation des sels dissous, la conductivité électrique, le pH, etc. L'augmentation de la température entraîne une diminution de la densité, une réduction de la viscosité, une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et une diminution de la solubilité des gaz. De plus, une température plus élevée favorise l'autoépuration et accélère la vitesse de sédimentation. La mesure de la température est effectuée sur le terrain, ainsi que celle de l'air au même endroit et au même moment, et la lecture est effectuée après une immersion de 10 minutes (Loup, 1974).

Tableau 2 : qualité de l'eau en fonction de la température (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Température (°C)	25	25 - 30	30 - 35	>35

e. La turbidité : La turbidité de l'eau est liée à sa transparence et donne une indication de la quantité de matière en suspension. Les eaux troubles contiennent généralement des substances finement divisées telles que des grains de silice, de la matière organique, des limons, etc. Pour garantir une bonne qualité de l'eau, il est recommandé de maintenir la turbidité en dessous de 5 NTU (Tab. 3). (Loup, 1974).

Tableau 3 : qualité de l'eau en fonction de la turbidité (Joël, 2003).

Qualité	Eau clair	Eau légèrement trouble	Eau trouble
Turbidité (NTU)	NTU<5	5<NTU<30	NTU>50

6.1.2. Les caractéristiques minérales des eaux

a. La dureté

La dureté, ou titre hydrotimétrique, d'une eau est un paramètre naturel résultant du lessivage des terrains traversés (Bernard, 1966). Elle représente la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et de l'ion H^+ . Les cations les plus courants sont le Ca^{+2} et le Mg^{+2} . La présence de ces deux cations a souvent pour effet de réduire la toxicité des autres métaux (Villers, 2005).

On distingue deux types de dureté : la dureté carbonatée, également appelée dureté temporaire, qui provient des carbonates et des bicarbonates, et la dureté non carbonatée, ou dureté permanente, qui provient des sulfates et des chlorures (Villers, 2005).

Une eau très dure présente des inconvénients pour son utilisation, tels que la réduction des propriétés détergentes des lessives et des savons, ainsi que la formation de dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau (Villers, 2005).

Le tableau suivant présente la classification de l'eau en fonction des valeurs de dureté (Tab. 4).

Tableau 4 : qualité de l'eau en fonction de la dureté (Khammar, 2018).

Qualité	Très douce	Douce	Moyennement douce	Dure	Très dure
Dureté (mg/l)	0 – 7	7 - 15	15 - 30	30 – 40	+40

b. Le pH (potentiel hydrogène)

Le pH, ou potentiel hydrogène, est défini comme le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ions hydrogène (H^+). Il joue un rôle crucial dans de nombreux équilibres physico-chimiques. Un pH inférieur à 7 indique une solution acide, tandis qu'un pH supérieur à 7 indique une solution basique. Bien que le pH n'ait pas de signification directement liée à l'hygiène, il revêt une grande importance pour déterminer l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous. Le pH des eaux naturelles est influencé par la géologie des régions traversées (Khammar, 2018).

Tableau 5 : qualité de l'eau en fonction de pH (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	>6, <9,	>5, <9

c. La conductivité électrique

La conductivité électrique est une mesure rapide mais approximative de la minéralisation totale de l'eau. Une eau naturelle a généralement une conductivité comprise entre 50 et 150 $\mu S/cm$. La quantité totale de matières dissoutes peut être estimée en multipliant la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant des sels dissous et de la température de l'eau. Connaître le contenu en sels dissous est crucial car chaque organisme aquatique a des exigences spécifiques (Villers, 2005).

En ce qui concerne la qualité de l'eau, les classifications suivantes sont établies (Tab. 6):

Tableau 6 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique (Nalco, 1983).

Qualité	Excellente	Bonne qualité	Médiocre mais eau utilisable	Minéralisation excessive
Conductivité électrique ($\mu S/cm$)	50 à 400	400 à 750	750 à 1500	> 1500

d. L'alcalinité

Dans les eaux naturelles, divers ions sont présents, la plupart étant inertes vis-à-vis du pH, ce qui signifie que leurs concentrations ne varient pas en fonction du pH. Cependant, certains ions, tels que les HCO_3^- , CO_3^{2-} , H^+ et OH^- , ont des concentrations qui varient avec le pH. L'alcalinité d'une eau, contrairement à l'acidité, correspond à la présence de bases telles

que les hydrogénocarbonates (HCO_3^-), les carbonates (CO_3^{2-}), les ions hydroxydes (OH^-) et, dans une moindre mesure, les ions silicates (HSiO_3^{2-}), les phosphates (PO_4^{3-}) ou d'autres espèces moléculaires d'acides faibles. L'alcalinité est également influencée par les rejets urbains (phosphates, ammoniac, matières organiques, etc.) ou industriels (apports acides ou basiques). Il est crucial de mesurer l'alcalinité in situ car ce paramètre est très sensible aux conditions environnementales et peut varier considérablement (Tardat-Henry, 1992).

e. Le sodium

La concentration en sodium dans l'eau varie d'une région à l'autre. Bien qu'il n'y ait pas de danger dans l'absorption de quantités relativement importantes de sodium pour la plupart des individus, les personnes hypertendues doivent être prudentes. La concentration admissible de sodium dans l'eau ne doit pas dépasser 200 mg/l, car les eaux fortement chargées en sodium peuvent avoir un goût désagréable (Tardat-Henry, 1992).

Tableau 7 : qualité de l'eau en fonction de la concentration en sodium (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Sodium (mg /l)	10-100	100-200	200-500	>500

f. Le potassium

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est généralement de 10 à 15 mg/l, ce qui ne présente pas de risque pour la santé. Cependant, certaines personnes peuvent percevoir un goût à partir de 340 mg/l de chlorures de potassium (Rodier, 1996).

g. Les chlorures et les sulfates

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font l'objet d'un suivi particulier car ils peuvent indiquer une pollution ou être présents naturellement. Les teneurs en chlorures varient considérablement selon la nature des sols traversés, avec des concentrations allant de 10 mg/l à 100 mg/l dans les eaux de surface. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par les eaux usées. Les sulfates sont présents naturellement dans les eaux et leurs concentrations varient de 5 à 200 mg/l en fonction des sources et des processus géologiques (Rodier, 1984).

Les eaux usées de diverses industries peuvent également présenter une concentration élevée de sulfates. Il est particulièrement préjudiciable de constater des variations soudaines et significatives dans les niveaux de chlorures et de sulfates (Villers, 2005).

Tableau 8 : qualité de l'eau en fonction de la concentration des chlorures et sulfates (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Chlorures (mg/l)	10 – 150	150 – 300	300 – 500	>500
Sulfates (mg/l)	50 – 200	200 - 300	300 – 400	>400

6.2. Les substances eutrophisantes

6.2.1. L'Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est fréquemment présent dans les eaux de surface, provenant de la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se produit dans des conditions aérobies faibles, conduisant généralement à une oxydation bactérienne rapide de l'ammonium en nitrites et nitrates (Nalco, 1983).

L'ammonium lui-même n'est pas nocif, mais à mesure que le pH augmente, il se transforme en ammoniac, un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes surviennent à des concentrations de 0,1 mg NH_3/l . (Villers, 2005).

6.2.2. Les nitrites

Les nitrites jouent un rôle essentiel dans le métabolisme des composés azotés, se situant entre l'ammoniac et les nitrates dans le cycle de l'azote. Leur présence est le résultat de l'oxydation bactérienne de l'ammoniac ou de la réduction des nitrates. Les nitrites ne sont qu'une étape intermédiaire et sont facilement convertis en nitrates, soit chimiquement, soit par des processus bactériens (Bremond et Vuichard, 1973).

Des concentrations élevées de nitrites témoignent souvent de la présence de matières toxiques. En l'absence d'oxygène, des bactéries anaérobies peuvent transformer les nitrates en ammoniac (NH_3) ou ammonium (NH_4^+). Les valeurs limites recommandées pour les nitrites dans l'eau potable sont de 0,1 mg/l pour les pays de l'Union européenne et l'Algérie, et inférieures à 1 mg/l selon l'OMS. (Boualem, 2009).

Tableau 9 : qualité de l'eau en fonction de la concentration du nitrite (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Polluée	Très polluées
Nitrites (mg/l)	0 à 0.01	0,01 à 0,1	0,1 à 3	> 3

6.2.3. Les nitrates

Les nitrates NO_3 présents dans le sol, les eaux de surface et les eaux souterraines résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de la matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est ensuite oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote (Schuddeboom, 1993).

Les valeurs limites pour les nitrates dans l'eau varient de 25 mg/l (CEE) à 50 mg/l (Bouziani, 2000). Lors du rejet d'azote organique (protéines, acides aminés, urée, etc.), les molécules sont d'abord transformées en ammonium (NH_4^+), qui est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates grâce à l'action de bactéries nitrifiantes. Ces processus d'oxydation, également appelés "nitrification", sont très sensibles à la présence de matières toxiques (métaux, pesticides) et aux basses températures (Villers, 2005).

Tableau 10 : qualité de l'eau en fonction de la concentration du nitrate (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Polluée	Très polluées
Nitrates (mg/l)	< 10	10 à 20	20 à 40	>40

6.2.4. Les phosphates

Les ions phosphates présents dans les eaux de surface ou souterraines peuvent avoir une origine naturelle, telle que la décomposition de la matière organique ou le lessivage des minéraux, mais aussi provenir de rejets industriels (agroalimentaires, etc.), domestiques (phosphates présents dans les détergents) et des engrais (pesticides, etc.). En l'absence d'oxygène, les phosphates ne se trouvent que sous forme de traces dans les eaux naturelles, leur présence dans les eaux de surface (rivières, lacs) résultant souvent d'un traitement insuffisant des eaux usées. La concentration maximale admissible de phosphates dans l'eau potable est de 0,5 mg/l (Tardat-Henry, 1992).

Tableau 11 : qualité de l'eau en fonction de la concentration du phosphate (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Polluée	Très polluées
Phosphates (mg/l)	0 - 0.01	0.01 - 0.1	0.1 - 3	>3

6.3. Les paramètres biologiques

6.3.1. L'oxygène dissous

Les concentrations en oxygène dissous, ainsi que les valeurs de pH, sont parmi les paramètres les plus importants pour évaluer la qualité des eaux en termes de vie aquatique. L'oxygène dissous présent dans les eaux de surface provient principalement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie quotidiennement et saisonnièrement en raison de plusieurs facteurs, notamment la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. De plus, cette concentration dépend de la vitesse à laquelle le milieu s'appauvrit en oxygène en raison de l'activité des organismes aquatiques et des processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (Tardat-Henry, 1992).

Une concentration en oxygène inférieure à 1 mg d'O₂ par litre d'eau indique un état proche de l'anaérobie. Cela se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous entraîne une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments (Rodier, 1996).

Tableau 12 : qualité de l'eau en fonction de la concentration d'oxygène dissous (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
O ₂ dissous%	>100	100 - 50	50 - 30	>30

6.3.2. Les matières organiques

a. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est une mesure de toutes les matières organiques, à l'exception de quelques-unes, présentes dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables. L'oxydation est effectuée dans des conditions énergiques, par voie chimique, en présence d'un oxydant puissant tel que le bichromate de potassium, dans un milieu acide fort comme l'acide sulfurique (H₂SO₄), et au reflux pendant deux heures. La DCO est un paramètre important pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels. Elle permet d'obtenir rapidement des informations sur la qualité de l'eau,

notamment en ce qui concerne les substances toxiques qui ne sont pas facilement mesurables par d'autres méthodes. La DCO est exprimée en mg/l d'oxygène et diffère de la demande biochimique en oxygène (DBO) (Tardat-Henry, 1992).

Tableau 13 : Qualité de l'eau en fonction de la DCO (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Polluée	Très polluées
DCO (mg/l)	20	20 - 40	40 - 50	>50

b. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO₅) est une mesure de la quantité d'oxygène consommée par l'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes présents dans l'eau. Cette consommation d'oxygène est indicative du niveau de pollution ou de la qualité de l'eau. La dégradation complète des matières organiques peut prendre plusieurs semaines, et la nitrification, qui absorbe également de l'oxygène, ne débute qu'après environ dix jours dans les eaux naturelles (Khammar, 2018).

Pour évaluer la DBO₅, on mesure la quantité d'oxygène consommée pendant une période de cinq jours, pendant laquelle les microorganismes agissent sur les matières organiques biodégradables. Cette mesure est particulièrement utile pour évaluer la qualité des eaux brutes (Tardat-Henry, 1992).

Le tableau suivant classe les eaux en fonction de leur qualité en se basant sur les valeurs de DBO₅.

Tableau 14 : Qualité de l'eau en fonction de la DBO₅ (Belala, 2006).

Qualité	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
DBO ₅ (mg /l)	5	5 - 10	10 – 15	>15

6.4. Les métaux lourds

Le suivi des concentrations de métaux lourds revêt une importance particulière en raison de leur toxicité et de leur capacité à s'accumuler le long des chaînes alimentaires. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement (Rodier, 1996).

Les métaux lourds se dissolvent facilement dans les milieux acides. En revanche, dans les milieux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase

solide. L'analyse de ces solides permet d'obtenir une vision globale des déversements de métaux lourds qui ont eu lieu, ce qui permet généralement de caractériser certains types de pollution.

La présence de certains métaux lourds, tels que le cuivre et le nickel, est souvent associée aux rejets provenant des industries de traitement de surface des métaux. Le chrome est généralement trouvé dans les effluents des tanneries, tandis que le plomb est lié à des pollutions diffuses, notamment celles causées par les transports routiers et les sites industriels. Le zinc est souvent évacué par les industries pratiquant la galvanisation ou la fabrication d'alliages comme le laiton et le bronze, ainsi que par le contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés, comme les toitures métalliques. Le cadmium peut être rejeté par des usines de galvanoplastie et des industries chimiques, notamment celles du textile et de la teinture ([Rodier, 1996](#))

Partie II : pollution de l'eau

1. Définition de la pollution

La pollution est définie comme la présence de substances altérant la composition ou l'état d'une eau.

Selon l'OMS, elle consiste en toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau, créant ainsi une nuisance ou la rendant dangereuse pour la santé, la sécurité et le bien-être public, ainsi que pour ses usages domestiques, commerciaux, industriels, agricoles, récréatifs et autres, ou pour la faune sauvage et aquatique.

Selon Gaujous (1995), la pollution résulte de l'introduction de substances altérant un milieu donné. Dans notre cas, nous nous intéressons principalement aux milieux aquatiques, tels que les rivières et les cours d'eau. La notion d'altération du milieu est fondamentale : un rejet n'est considéré comme polluant que s'il entraîne une dégradation de celui-ci. Ainsi, deux rejets de caractéristiques identiques peuvent avoir des effets différents selon le milieu récepteur ; par exemple, un rejet d'eaux usées dans un lac en haute montagne n'aura pas le même impact que dans un fleuve important ou en mer.

2. Différentes formes de pollution de l'eau

Selon la répartition géographique il y a :

2.1. Pollution diffuse

La pollution diffuse, également appelée pollution indirecte, est aujourd'hui la forme de pollution la plus répandue et la plus nocive, mais elle est aussi la plus difficile à identifier et à contrôler. Elle résulte de la propagation des agents polluants par divers vecteurs de transport. Lors du lessivage et de l'érosion des sols, différentes substances telles que les hydrocarbures, les métaux lourds et les pesticides sont entraînées vers les nappes phréatiques et les cours d'eau (Boschet, 2002).

Cette forme de pollution peut se propager sur de vastes territoires, avec le transport des substances actives par le vent jusqu'à des zones parfois même inaccessibles. Des exemples concrets et préoccupants incluent la présence de pesticides dans les régions polaires, comme en témoigne la pollution détectée au pôle Nord (Boschet, 2002).

2.2. La pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle également appelée pollution directe, émane d'un point unique et identifiable, tel que l'effluent d'une usine. Ce type de pollution est le plus largement reconnu et souvent le plus préjudiciable à court terme. Les émissions de ce type de pollution sont généralement beaucoup plus concentrées et donc plus polluantes que celles produites par la pollution diffuse (Zgheib, 2009).

2.3. La pollution anthropique

La pollution anthropique résulte spécifiquement des activités humaines et peut être classée en différentes catégories telles que la pollution agricole, la pollution urbaine et la pollution industrielle (Zgheib, 2009). L'être humain est devenu une composante essentielle des écosystèmes terrestres. Pour répondre à ses besoins croissants en alimentation et en santé, il a progressivement synthétisé des molécules de plus en plus complexes, telles que les médicaments à usage médical ou vétérinaire, les produits phytosanitaires, les plastifiants, etc. Ces activités ont entraîné une augmentation des contaminants naturels ou induit la présence de nouveaux polluants, sans une gestion adéquate de leur impact. En fin de compte, l'homme a altéré les cycles naturels, notamment celui de l'eau, en détériorant sa qualité et en tentant de contrôler son flux (Zgheib, 2009).

2.4. La pollution accidentelle

La pollution accidentelle ou aiguë résulte du déversement accidentel de produits toxiques dans l'environnement naturel. Ces incidents surviennent le plus souvent dans le cadre d'activités industrielles ou agricoles d'envergure. Ils peuvent également être le résultat d'accidents de transport ou de catastrophes naturelles touchant des installations industrielles ou des lieux de stockage de produits, entraînant ainsi une pollution de grande ampleur (Boschet, 2002).

3. Les types de pollution

Les types de pollution des eaux peuvent être classés en quatre catégories principales : les polluants biologiques, les polluants chimiques, les polluants organiques toxiques et les polluants radioactifs (Aissaoui, 2013).

3.1. La pollution biologique

La pollution biologique de l'eau est principalement causée par la prolifération de divers micro-organismes, qui peuvent se développer dans l'eau en tant qu'habitat naturel ou

simplement comme vecteur de transport pour ces organismes. Leur présence est généralement limitée dans les nappes phréatiques en raison des conditions généralement anaérobies et du faible niveau de nutriments disponibles. Cependant, le transfert de matière organique vers la nappe peut favoriser leur prolifération (Kankou, 2004).

Cette forme de pollution biologique peut être divisée en deux catégories : les micro-organismes et la matière organique.

3.1.1. Les micro-organismes

Les micro-organismes se répartissent en trois catégories selon leur taille croissante : les virus, les bactéries et les protozoaires. Leur origine est principalement fécale, où l'on distingue la flore intestinale normale des micro-organismes pathogènes. Cette forme de pollution pose généralement des problèmes d'hygiène publique et d'épidémiologie, car les rejets non traités contiennent des micro-organismes pathogènes viables qui sont ensuite transportés par les eaux et dispersés dans leur environnement (Boutin et al., 2009).

Il existe trois grandes classes d'organismes pathogènes, soit :

a. Les bactéries : Les eaux polluées peuvent contenir un grand nombre de bactéries pathogènes. La plupart de ces agents pathogènes sont d'origine fécale, ce qui les rend plus faciles à identifier et à quantifier en raison de leur transmission dite oro-fécale. Parmi les exemples courants de ces bactéries figurent *Escherichia coli*, *Salmonella* et *Shigella* (Schwartzbrod et Capizzi-Banas, 2003).

b. Les virus : Les virus représentent l'entité biologique la plus abondante dans les écosystèmes aquatiques (Schwartzbrod et Capizzi-Banas, 2003).

Leur présence dans l'eau est principalement due à l'élimination humaine par les selles, bien que cela puisse également se produire plus rarement par les urines. Il existe plus de 100 types de virus pathogènes regroupés sous le nom de virus entériques, appartenant à différentes familles et genres tels que l'Hépatite A, le *Norovirus* et le *Rotavirus* (Bouziani, 2000). Ces virus entériques sont retrouvés dans les eaux usées avant de contaminer le milieu naturel (Gantzer et al., 1998).

c. Les parasites : Les parasites sont généralement présents dans l'eau sous forme d'œufs, de kystes ou de vers. Contrairement aux bactéries et aux virus, ils ne sont pas détruits par la chloration et d'autres méthodes de désinfection chimique, mais peuvent être éliminés

mécaniquement grâce à une filtration efficace de l'eau potable. Parmi les parasites courants, on retrouve *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium* (Bouziani, 2000).

3.1.2. La matière organique

La matière organique constitue une caractéristique fondamentale de la pollution des eaux. Parmi les principaux composés organiques polluants, on trouve des lipides, des glucides, des savons, des détergents, des huiles minérales et des débris cellulaires, ainsi que les produits de leur décomposition (Djilani, 2006).

3.2. La pollution physique

La pollution physique, associée aux paramètres qui altèrent l'état physique de l'eau tels que la température, la présence de particules en suspension et les changements affectant l'indice de réfraction de l'eau, constitue aujourd'hui une préoccupation majeure dans de nombreux pays (Djilani, 2006).

Cette forme de pollution découle notamment des rejets d'eau chaude provenant des centrales nucléaires ou thermiques dans les écosystèmes marins. Elle résulte de divers agents physiques, notamment les éléments solides transportés par l'eau, et trouve son origine principalement dans les activités industrielles domestiques. Elle peut être classée en trois catégories : mécanique, thermique et radioactive (Mizi, 2006).

3.2.1. Pollution thermique : Cette forme de pollution résulte de l'augmentation de la température de l'eau. Cette élévation de température entraîne une diminution du taux d'oxygène, ce qui peut conduire à une asphyxie des organismes aquatiques (Mizi, 2006).

3.2.2. Pollution radioactive : La présence de radioactivité dans l'eau peut être due soit à des sources naturelles, telles que certaines eaux souterraines, soit à une contamination résultant de retombées atmosphériques (comme les essais nucléaires), des installations industrielles émettrices de rayonnements, ou encore des accidents impliquant des déversements provenant d'installations nucléaires (Mizi, 2006).

3.2.3. Pollution mécanique : Ce type de pollution découle du lessivage des sols lors de fortes précipitations et des travaux de construction qui rendent le sol imperméable, ce qui entraîne une concentration des écoulements et des volumes importants de boues (Mizi, 2006).

3.3. Pollution chimique

La pollution chimique se manifeste par l'introduction d'éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau, initialement destinée à un usage spécifique. Cette forme de

pollution perturbe l'ensemble du cycle de l'eau, de la pluie aux eaux souterraines. Par exemple, 7,8 % des eaux souterraines dépassent la concentration de 40 mg de nitrates, tandis que ce chiffre est de 1,6 % pour les eaux de surface ([Djilani, 2006](#)).

4. Les principales sources de pollution d'eau

4.1. Pollution atmosphérique

Concernant la pluie, bien qu'elle ait été longtemps perçue comme pure, elle est en réalité relativement polluée. Cette pollution provient des émissions de gaz et de particules par les véhicules, les usines et les centrales thermiques. Ces polluants, tels que le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre et les particules en suspension, retombent au sol dès les premières gouttes de pluie. De plus, en ruisselant, l'eau de pluie transporte des hydrocarbures, des déchets plastiques, des débris végétaux et des déchets accumulés sur les surfaces terrestres et les toitures. Cette pollution est généralement déversée en quantités importantes sur de courtes périodes, ce qui peut entraîner des pics de concentration nocifs pour l'environnement ([Håkanson, 2005](#)).

4.2. La pollution urbaine

Générée principalement par les eaux usées provenant des habitations et des activités commerciales, est constituée d'un mélange varié de polluants. Ces derniers comprennent les déchets domestiques, les eaux de nettoyage collectif, ainsi que les résidus de divers produits éliminés par les résidents d'une agglomération. Les rejets industriels provenant des entreprises, en quantités variables selon la taille et l'activité de l'agglomération, contribuent également à cette pollution. Les eaux usées urbaines représentent ainsi une industrie majeure en termes de volume de matières brutes à traiter. L'expression "tout-à-l'égout" résume cette diversité, englobant les excréments, les déchets alimentaires, les résidus d'abattoirs et d'hôpitaux, ainsi qu'une gamme variée de produits chimiques tels que les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures et les déchets industriels ([Debieche, 2002](#)).

4.3. Pollution industrielle

Les établissements industriels, englobant une variété de secteurs tels que l'alimentation, l'habillement, la production de pâte à papier, les produits chimiques, etc., génèrent différents types d'eaux usées présentant des volumes et des niveaux de contamination variables. Ces eaux comprennent les eaux de procédé, souvent fortement contaminées car intégrées au processus

de fabrication, les eaux de refroidissement, avec un degré de contamination variable, les eaux sanitaires, et parfois les eaux pluviales ([Hébert et Légaré, 2000](#)).

Les caractéristiques des rejets varient d'une industrie à l'autre : outre les matières organiques, azotées ou phosphorées, ils peuvent contenir des substances toxiques, des solvants, des métaux lourds et des micro-polluants organiques tels que les hydrocarbures.

Certains de ces rejets nécessitent un prétraitement de la part des industries avant d'être déversés dans les réseaux de collecte. Ils sont mélangés aux eaux domestiques après avoir été traités, de sorte qu'ils ne représentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de traitement des eaux usées ([Benkaddour, 2015](#)).

4.4. Pollution agricole

La pollution agricole résulte de l'utilisation de produits chimiques tels que les pesticides, insecticides, désherbants et engrais azotés. Ces substances sont riches en nitrates et phosphates, contribuant à l'eutrophisation des cours d'eau. Cette eutrophisation favorise la prolifération des algues, qui en se décomposant, consomment l'oxygène dissous dans l'eau, perturbant ainsi le processus d'autoépuration ([Ezziane, 2007](#)).

Dans un cours d'eau sain, les nutriments sont présents à des concentrations faibles, favorisant une croissance normale des plantes aquatiques et du phytoplancton. Cependant, un excès de phosphore entraîne une croissance excessive des végétaux aquatiques, processus connu sous le nom d'eutrophisation. Cette augmentation des populations de macrophytes et de phytoplancton, ainsi que la formation de tapis d'algues, peuvent altérer l'esthétique des cours d'eau, influencer le goût et l'odeur de l'eau, et modifier la composition de la faune aquatique ([M.E.F., 1994](#)).

4.5. Pollution naturelle

La pollution naturelle des eaux peut être due à plusieurs facteurs, notamment les éruptions volcaniques, les tremblements de terre, les glissements de terrain et les tempêtes. Les développements technologiques ont montré que certains polluants dans les eaux et les sols ont une origine naturelle. Cette accumulation naturelle résulte de processus géologiques. Des irrptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures, peuvent aussi être à l'origine de pollutions ([Kara, 2019](#)).

5. Les conséquences de la pollution des eaux

5.1. Sur les êtres vivants

Le rejet direct des eaux usées dans l'environnement pose de multiples menaces à la survie des êtres vivants et à l'équilibre écologique. Par exemple, un excès d'azote et de phosphore entraîne l'eutrophisation, favorisant la croissance excessive de végétaux et réduisant la quantité d'oxygène dissous, ce qui entraîne à terme la mortalité de nombreuses espèces aquatiques telles que les poissons et les crustacés. De plus, la présence de métaux lourds tels que le mercure et l'arsenic dans ces eaux peut nuire gravement aux organismes les plus sensibles en raison de leur toxicité, même à de faibles concentrations, perturbant ainsi leurs fonctions physiologiques telles que la nutrition, la respiration et la reproduction (Ivanowsky, 2016).

Par ailleurs, l'infiltration des eaux usées dans les nappes phréatiques altère également la qualité de l'eau, permettant aux polluants de migrer des eaux usées vers les eaux souterraines (Metahri, 2012).

5.2. Sur la santé humaine

L'eau représente un élément essentiel à la survie de l'humanité. La pénurie ou la contamination de l'eau est à l'origine de nombreuses affections à travers le monde, en particulier dans les pays en développement où 80 % des maladies sont associées à l'eau (Adjagodo et al., 2017). Ces affections peuvent être regroupées en six catégories distinctes : les maladies transmises par l'eau (parasites, bactéries, virus) ; les infections cutanées et oculaires dues à la déshydratation ; les maladies causées par des organismes aquatiques invertébrés ; les maladies engendrées par des insectes proliférant près des sources d'eau. Chaque année, selon les données de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), on dénombre quatre milliards de cas de diarrhée et un nombre significatif de cas d'autres maladies liées à un accès insuffisant à de l'eau propre pour la consommation humaine. En outre, chaque année, 1,7 million de décès sont attribuables à la diarrhée, la grande majorité touchant des enfants de moins de cinq ans. Les maladies liées à l'eau ainsi que la pollution causée par les rejets de produits chimiques issus de diverses activités humaines ont un impact considérable sur la santé humaine.

Selon l'UNICEF, 60 % de la mortalité infantile dans le monde est imputable à des maladies infectieuses ou parasitaires, principalement dues à la pollution de l'eau (Rouamba et al., 2016).

5.2.1. Maladies de mains sales

Les affections liées à la qualité de l'eau représentent une menace sérieuse pour la santé humaine. Bien qu'elles puissent varier, toutes soulignent l'impérieuse nécessité d'avoir accès à une eau salubre. De nombreuses maladies résultent de l'utilisation d'eau contaminée, que ce soit pour la consommation ou la préparation des aliments. D'autres sont attribuables à une insuffisance d'eau, entraînant une mauvaise hygiène corporelle et vestimentaire. En d'autres termes, les maladies causées par des mains non lavées représentent des risques sanitaires liés à une hygiène insuffisante (N'diaye, 2008).

5.2.2. Choléra

Il s'agit d'une affection transmise par voie oro-fécale, causée par *Vibrio cholerae* qui produit une exotoxine sensible à la chaleur, entraînant une diarrhée sévère par hypersecretion d'eau. Les pertes liquidiennes peuvent atteindre 15 à 20 litres par jour. La dose infectieuse est élevée, estimée à environ 10^8 bactéries.

Selon l'OMS, en l'an 2000, environ 140 000 cas, entraînant environ 5 000 décès, ont été signalés, avec l'Afrique représentant 87 % de ces cas (N'diaye, 2008).

5.2.3 Diarrhées

Les diarrhées se caractérisent par des selles fréquentes, abondantes et liquides, résultant de la consommation d'aliments ou d'eau contaminés, ainsi que de la manipulation d'objets sales suivie d'une mise en bouche. Ce sont des conséquences directes d'une hygiène insuffisante (N'diaye, 2008).

5.2.4. Poliomyélite

La poliomyélite, une infection causée par le virus entéroviral poliovirus, se propage par contact interhumain, principalement par voie oro-fécale suite à la contamination de l'eau ou des aliments par des matières fécales. Cette maladie peut être mortelle lorsqu'elle affecte les cellules nerveuses du cerveau, entraînant une paralysie des muscles essentiels, notamment ceux impliqués dans l'ingestion, les battements cardiaques et la respiration (Baziz, 2008).

Selon l'Institut National de Santé Publique (I.N.S.P), le taux d'incidence de la poliomyélite parmi les MTH-2011 est estimé à 5,6% (Baziz, 2008).

5.2.5. Fièvre typhoïde

Les infections par les bactéries *Salmonella typhi* et *paratyphi*, responsables respectivement de la fièvre typhoïde et paratyphoïde, peuvent partir de l'intestin pour envahir

les tissus de l'hôte, entraînant une septicémie accompagnée de fièvre élevée, de céphalées, de diarrhées, de douleurs abdominales et de fatigue générale ([Baziz, 2008](#)).

5.2.6. Méningite

Les méningites infectieuses chez les enfants comprennent à la fois des formes virales, généralement bénignes, et des formes bactériennes plus rares mais graves, impliquant notamment *Streptocoques pneumoniae*, *Neisseria meningitidis* et *Haemophilus influenzae* ([Plantaz, 2005](#)).

5.2.7. Hépatite A et E

Les virus de l'hépatite A (VHA) et de l'hépatite E (VHE) se transmettent principalement par voie féco-orale, par contact direct entre individus, ingestion d'aliments ou d'eau contaminés, et peuvent également être transmis par certaines pratiques sexuelles ([OMS, 2012](#)).

Partie III : Généralités sur plancton

1. Plancton

1.1. Définition plancton

D'après [Dussart \(1992\)](#), le terme « plancton » défini comme l'ensemble des formes animales et végétales vivant en suspension dans l'eau, sans mouvements propres suffisants pour lutter efficacement contre les mouvements de l'eau (vagues, courants...). Les organismes planctoniques peuvent être classés selon leur taille, leur nature, les caractéristiques biologiques de leur cycle de développement, leur répartition verticale dans la colonne d'eau ou le type d'environnement qu'ils peuplent ([Rossi, 2008](#)).

2. Phytoplancton

2.1. Définition du phytoplancton

Le phytoplancton, dérivé du grec phyton signifiant plante et planktos pour errant, englobe l'ensemble des micro-organismes photosynthétiques flottant librement dans la colonne d'eau, constituant ainsi le plancton végétal. Ces organismes se présentent sous forme de cellules, colonies ou filaments, caractérisés par leur incapacité à nager de manière autonome, dépendant plutôt des mouvements de leur environnement aquatique, ou par une motilité restreinte pour ceux dotés de flagelles ou de cils ([Zubkov et Taran, 2008](#)).

La photosynthèse représente la principale voie d'acquisition d'énergie pour ces organismes, combinant des modes de nutrition autotrophe et phagotrophe, ce qui les classe comme organismes "mixotrophes". De plus, de nombreuses cellules phytoplanctoniques possèdent des capacités hétérotrophes, utilisant des matières organiques comme source d'énergie ou même ingérant des bactéries.

La diversité morphologique du phytoplancton est étroitement liée à son adaptation à la mobilité, notamment en ce qui concerne la flottaison et les mouvements verticaux. La chlorophylle, pigment prédominant impliqué dans la photosynthèse, est l'un des pigments assimilateurs présents chez ces organismes. Le phytoplancton se trouve généralement dans la couche supérieure éclairée des masses d'eau, connue sous le nom de zone euphotique ([Zubkov et Taran, 2008](#)).

2.2. Habitat et écologie

Le phytoplancton prospère principalement dans les couches supérieures de l'eau, en particulier dans la zone euphotique où il effectue sa photosynthèse. Pendant ce processus, il utilise des sels minéraux et du dioxyde de carbone (CO_2) pour produire de l'oxygène sous l'influence de la lumière. Comme tout organisme vivant, les micro-algues se développent là où les conditions leur permettent de trouver les éléments nécessaires à leur survie (Mollo et Noury, 2013). Les organismes composant le phytoplancton montrent une grande adaptabilité écologique (Groga, 2012). Le phytoplancton peut survivre n'importe où l'eau est présente, que ce soit dans des milieux d'eau douce, marine ou saumâtre (comme les estuaires, où l'eau douce se mêle à l'eau salée) (Mollo et Noury, 2013). Certaines espèces sont répertoriées dans les eaux chaudes, tandis que d'autres supportent les températures plus basses (Groga, 2012). Il prospère davantage dans des environnements aquatiques paisibles et riches en éléments nutritifs tels que les rivières, les estuaires et les marais. Par conséquent, la densité de phytoplancton peut être jusqu'à dix fois plus élevée dans les eaux douces continentales que dans les océans (Mollo et Noury, 2013).

Le phytoplancton vit là où les éléments de la photosynthèse sont réunis :

- **La lumière** : Les rayons du soleil ne parviennent qu'à une certaine profondeur dans l'océan, limitant ainsi la présence abondante du phytoplancton aux eaux de surface. C'est là qu'il reçoit la lumière nécessaire à la photosynthèse. Cette région, appelée la couche euphotique, varie en épaisseur, allant de quelques mètres dans les estuaires à environ 200 mètres en pleine mer (Mollo et Noury, 2013).
- **Les sels minéraux** : Ils se trouvent dans toutes les zones où les eaux douces se mélangent à l'océan, mais pour être disponibles pour le phytoplancton, ils doivent flotter en suspension dans les eaux de surface où tous les éléments nécessaires à la photosynthèse sont présents. Leur maintien en suspension dépend des vents et des courants qui agitent l'eau, les empêchant de couler ou de se déposer au fond où ils se mêleraient aux sédiments (Mollo et Noury, 2013).
- **Le gaz carbonique** : Lorsqu'il est dissous dans l'eau, il participe au processus de la photosynthèse. Le dioxyde de carbone provient des échanges gazeux (CO_2 - O_2) avec l'atmosphère et se trouve répandu partout (Mollo et Noury, 2013).

Le développement du phytoplancton est influencé par divers facteurs tels que l'intensité lumineuse, la température de l'eau et les substances nutritives en solution (Micha, 1988). Les différentes espèces de phytoplancton réagissent de manière variable aux conditions environnementales, notamment à la turbulence. Leurs taux de croissance et leur sensibilité aux nutriments varient également. De plus, pour s'adapter aux fluctuations de leur environnement,

les espèces de phytoplancton ont développé des stratégies adaptatives telles que des mécanismes favorisant leur mobilité et leur migration vers des zones présentant une abondance de nutriments et de lumière (Groga, 2012).

2.3. Facteurs de croissance de phytoplancton

Bien que de petite taille, le phytoplancton exerce à la fois une influence directe et indirecte sur le climat terrestre. En se décomposant, il contribue au fonctionnement de la pompe biologique du carbone. La croissance du phytoplancton dépend de l'apport en sels minéraux (nitrate, phosphore, silicate, potassium), en oligo-éléments (magnésium, fer) et en dioxyde de carbone atmosphérique (CO_2), ainsi que de certaines conditions environnementales (Saoudi, 2008) :

- Température et niveau des précipitations
- Turbidité (degré d'opacité) de l'eau
- Taux d'ensoleillement,
- Degré de la pollution

Dans un cycle annuel, le phytoplancton connaît une importante fluctuation saisonnière, avec des pics de développement au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont optimales. Cependant, ce schéma annuel est actuellement perturbé en raison des changements dans l'environnement, notamment l'excès de nutriments et le réchauffement climatique.

La photosynthèse chez le phytoplancton implique deux comportements interdépendants : l'absorption du carbone minéral ou atmosphérique (CO_2) nécessaire au processus de Calvin, et la colonisation de la couche superficielle des océans, qui est influencée par des variations de température, de salinité et d'intensité des vents (Cadier, 2016).

Tout comme les plantes terrestres, le phytoplancton tire son énergie de la photosynthèse, un processus utilisant l'énergie solaire pour produire des glucides. Ce qui distingue le phytoplancton marin des plantes terrestres, c'est que les conditions de son environnement ne favorisent pas le développement de structures de soutien rigides telles que les troncs et les branches d'arbres (Yon, 2004). Leur total de biomasse représente seulement 1% de toute la biomasse végétale sur terre. Cependant, ils absorbent une quantité équivalente de CO_2 lors de la photosynthèse, contribuant ainsi à la régénération de l'oxygène (O_2). La concentration de chlorophylle *a*, le principal pigment de la photosynthèse, permet d'estimer l'abondance du phytoplancton dans les océans à partir des observations satellitaires. Selon (Ben Abdellouahad, 2006) la photosynthèse est étroitement liée à :

- L'intensité du rayonnement solaire arrivant à la surface des milieux aquatiques.
- La profondeur à laquelle se localise le phytoplancton

De plus, les conséquences éco physiologiques associées à la richesse spécifique des populations phytoplanctonique sont nombreuses. Les différentes espèces ne réagissent pas de la même manière aux facteurs du milieu. Leurs taux de croissance est variable selon les stratégies adaptatives, telles que (Rossi, 2008) :

- Mécanismes favorisent leur mobilité vers des zones riches en nutriments et en lumière (photo-taxisme, migration verticale, agrégation)
- Mode de nutrition mixotrophe
- Compétition interspécifique par production de substances
- Mécanismes de défense contre la prédation

2.4. Reproduction :

Les micro-organismes du phytoplancton ont une aptitude à se multiplier rapidement et leur cycle de vie est de courte durée (Abdennadher, 2014).

• **Reproduction asexuée** : Il existe trois types de reproduction chez elle : la fragmentation, où le thalle se divise en deux parties, chacune donnant naissance à un nouveau thalle ; la sporulation, où des spores se forment soit dans les cellules végétatives ordinaires, soit dans des structures spécialisées appelées sporanges ; et la scission binaire, qui implique la division du noyau puis du cytoplasme (Cavalla, 2000).

• **Reproduction sexuée** : En reproduction sexuée, les gamètes mâles et femelles fusionnent pour former un zygote diploïde. Les œufs se développent soit dans des cellules réceptrices similaires aux cellules somatiques (comme chez *Spirogyra*), soit dans des cellules végétatives femelles peu modifiées appelées oogones (chez *Fucus*). Les spores sont générées dans des structures masculines spécialisées connues sous le nom d'anthéridies (Cavalla, 2000).

2.5. La systématique du phytoplancton

Le phytoplancton se divise en deux groupes distincts en fonction d'un critère cytologique, à savoir la présence ou l'absence de membrane nucléaire. Les organismes dotés de cette membrane sont appelés eucaryotes ou algues vraies, tandis que ceux qui en sont dépourvus sont désignés sous le nom de procaryotes ou Cyanobactéries (Coute et Chauveau, 1994).

2.6. Les clés d'identification du phytoplancton

Les critères pour identifier le phytoplancton varient selon qu'il s'agit d'algue authentique ou de cyanobactérie. Les clés d'identification peuvent être résumées comme suit :

2.6.1. Le cas des algues vraies

Dans la classification des algues véritables, les critères de classification établis par [Bourrelly \(1985\)](#) comprennent :

- La composition chimique des chlorophylles, des autres pigments et des réserves.
- La cytologie du noyau et de l'appareil flagellaire.
- Les caractéristiques cytologiques.
- Le mode de reproduction et la complexité structurale.
- Les traits morphologiques.

2.6.2. Le cas des Cyanobactéries

Dans la classification des Cyanobactéries, les caractéristiques morphologiques jouent un rôle crucial dans l'identification, comme le proposent les critères énoncés par [Bourrelly, 1985](#) :

- La configuration de la micro-algue, qu'elle soit cellulaire ou filamenteuse.
- La forme de la colonie ou du trichome.
- Les dimensions des cellules.
- La nature de la gaine gélatineuse, y compris sa couleur et son apparence.
- La présence éventuelle de structures cellulaires distinctives telles que les *akinètes*, les hétérocystes et les vacuoles gazeuses.

Selon [Bourrelly \(1985\)](#), le sous-embranchement des Cyanoschizophytinées est inclus dans l'embranchement des Schizophytes. Il constitue la classe distincte des Cyanophycées, qui se divise en deux sous-classes :

• La sous-classe des Coccogonophycidées

Comprenant des formes solitaires ou coloniales, parfois filamenteuses mais dépourvues d'hormogonie, se reproduisant uniquement par des spores unicellulaires. Cette sous-classe est subdivisée en trois ordres : Chroococcales, Chamaesiphonales et Pleurocapsales.

• La sous-classe des Hormogonophycidées

Regroupant des formes filamenteuses avec des trichomes souvent gainés, se reproduisant par des hormogonies pluricellulaires. Cette sous-classe est répartie en deux ordres : Stigonématales et Nostocales.

2.7. La place du phytoplancton dans le réseau trophique

Les organismes phytoplanctoniques forment le fondement des chaînes alimentaires dans les milieux marins et jouent ainsi un rôle crucial dans la production primaire aquatique (fig. 4). Sous des conditions propices telles que des températures élevées et des conditions météorologiques calmes, ainsi que des niveaux accrus de nutriments d'origine naturelle ou humaine, certaines espèces peuvent proliférer de manière importante. (Reynolds, 1984). Selon McQueen, Post et Mills (1986), La dynamique de toute communauté aquatique est régulée par une multitude de facteurs interagissant simultanément :

Les facteurs ascendants, caractérisés notamment par la disponibilité des ressources nutritives (internes et externes), influencent le type d'algues présentes dans le peuplement (Jones, 1998).

Les facteurs descendants, tels que la pression de prédation exercée par les herbivores, modifient à leur tour la structure du réseau trophique. Par exemple, les organismes photosynthétiques sont consommés par le zooplancton herbivore, qui lui-même est la proie du zooplancton de plus grande taille ou des poissons brouteurs. Les poissons carnivores occupent ainsi le niveau trophique supérieur des écosystèmes aquatiques.

Chaque étape de cette chaîne trophique génère des déchets organiques qui, grâce à l'action des bactéries, sont minéralisés, bouclant ainsi le système.

Dans le phytoplancton, la stabilité de la colonne d'eau (influencée par des facteurs tels que le vent et le courant) entraîne un remplacement des espèces non mobiles, telles que les diatomées présentes lors des périodes de brassage et de crue, par des espèces mobiles telles que les Dinophycées, les Chrysophycées et certains Cyanophycées. Ces organismes se déplacent verticalement dans la colonne d'eau pour optimiser leur activité photosynthétique en fonction de la lumière et de la disponibilité en nutriments (Jones, 1998).

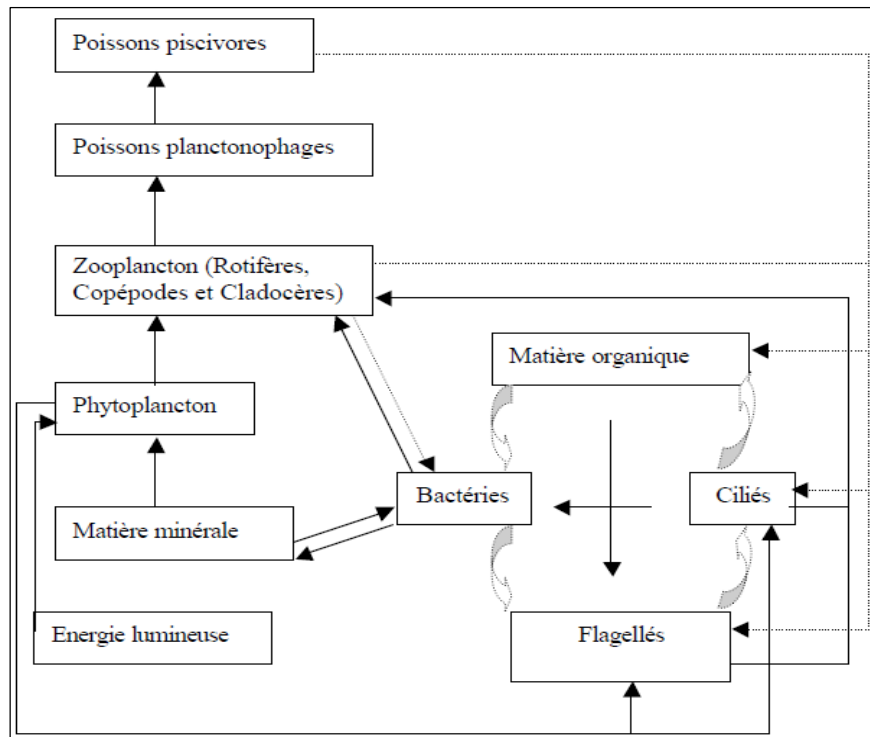


Figure 4 : Schéma résumant les grands compartiments et les grandes voies de transfert au sein du réseau trophique pélagique (Ducklow, 1983).

En se basant sur divers paramètres tels que la température, l'intensité lumineuse, les besoins en nutriments, la vitesse de croissance, le déplacement dans la colonne d'eau et/ou la pression de broutage, Reynolds et ses collaborateurs (1998 et 2002) ont établi des regroupements ou des assemblages pour l'ensemble des espèces phytoplanctoniques dans le but de caractériser et de comparer les états trophiques. Ces regroupements peuvent également jouer un rôle crucial lors de perturbations écologiques affectant l'écosystème (Kruk *et al.*, 2002).

Actuellement, un total de 31 groupes fonctionnels a été identifiés, présentant des propriétés écologiques définies et sujettes à réévaluation périodique par différents chercheurs en fonction de l'écosystème étudié.

2.8. Principaux groupes connus du phytoplancton

Le phytoplancton se compose de deux catégories d'organismes qui se distinguent principalement au niveau cellulaire par la présence (pour les eucaryotes) ou l'absence (pour les procaryotes) d'un noyau cellulaire, c'est-à-dire la présence ou l'absence d'une enveloppe nucléaire pour l'ADN (Mollo et Noury, 2013).

Grâce aux avancées technologiques en biologie moléculaire, l'évolution de la phylogénie a permis d'identifier huit principales classes de phytoplancton, différenciées sur la base de critères morphologiques, cytologiques, biochimiques et reproductifs (Grogg, 2012).

2.8.1. Les cyanophycées

Les cyanophycées, également appelées cyanobactéries dans le domaine de la microbiologie, sont des organismes photosynthétiques dépourvus de noyau et d'organites intracellulaires. Ils se manifestent sous forme de cellules isolées ou de filaments et sont désignés par divers termes selon la spécialité des chercheurs qui les étudient : Algues bleues, Cyanophytes ou Cyanophycées pour les botanistes (Fremy et Lassus, 2001).

Ces phytoplanctons, considérés comme les algues primitives, ont émergé il y a environ 3,5 milliards d'années (Mollo et Noury, 2013). Ils regroupent plus de 110 genres et environ 1000 espèces. La majorité des cyanobactéries sphériques appartiennent à la famille des Chroococcacées, tandis que les formes filamenteuses sont classées dans les familles des Nostocacées et des Oscillatoriacées (Fig. 5). Ces organismes se distinguent par l'absence de noyau, de plaste et de reproduction sexuée (Groga, 2012).

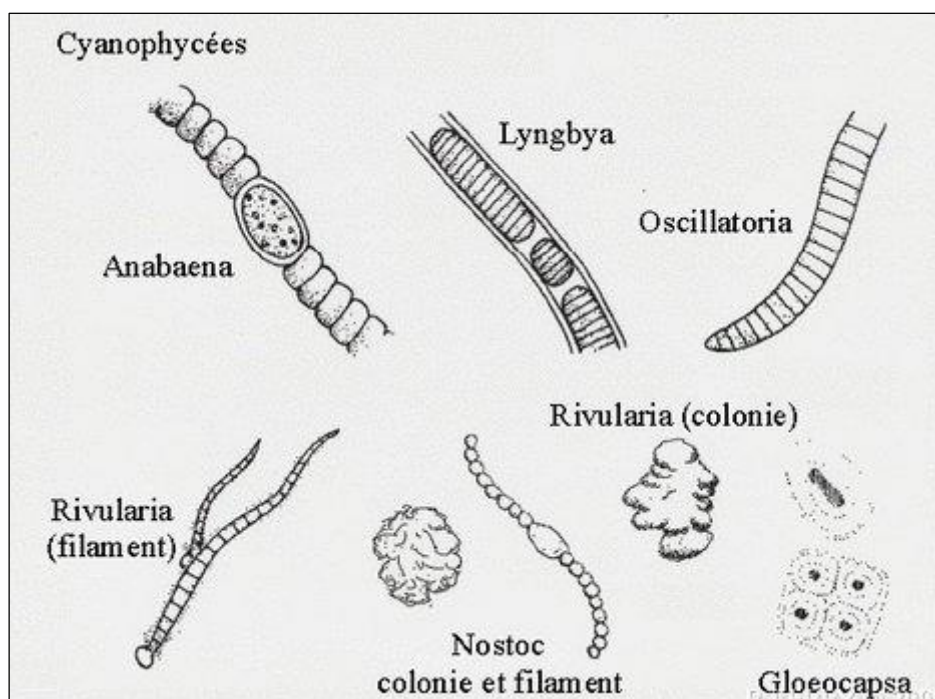


Figure 5 : Quelques espèces des Cyanobactéries [site web 2].

2.8.2. Les chlorophycées

Les chlorophycées sont de petites algues vertes qui habitent les eaux marines et douces des régions tempérées et chaudes (fig. 6), mesurant de 1 à 10 microns (Mollo et Noury, 2013).

Elles se présentent sous une grande diversité de formes, allant de l'unicellulaire aux colonies ou aux filaments (Cavalla, 2000). Ce groupe d'algues vertes est extrêmement vaste et

morphologiquement diversifié, classé en quatre catégories : les Euchlorophycées, les Ulothricophycées, les Zygothricées et les Charophycées. Avec environ 500 genres et plus de 15 000 espèces, ces algues sont majoritairement représentées par les ordres des Volvocales et des Chlorococcales, qui appartiennent à la classe des Euchlorophycées (Grogan, 2012).

Il existe également trois types de reproduction sexuée : l'isogamie (avec deux gamètes de taille égale), l'anisogamie (où le gamète mâle est plus petit que le gamète femelle) et l'oogamie (où le gamète femelle est non flagellé tandis que le gamète mâle est flagellé) (Grogan, 2012).

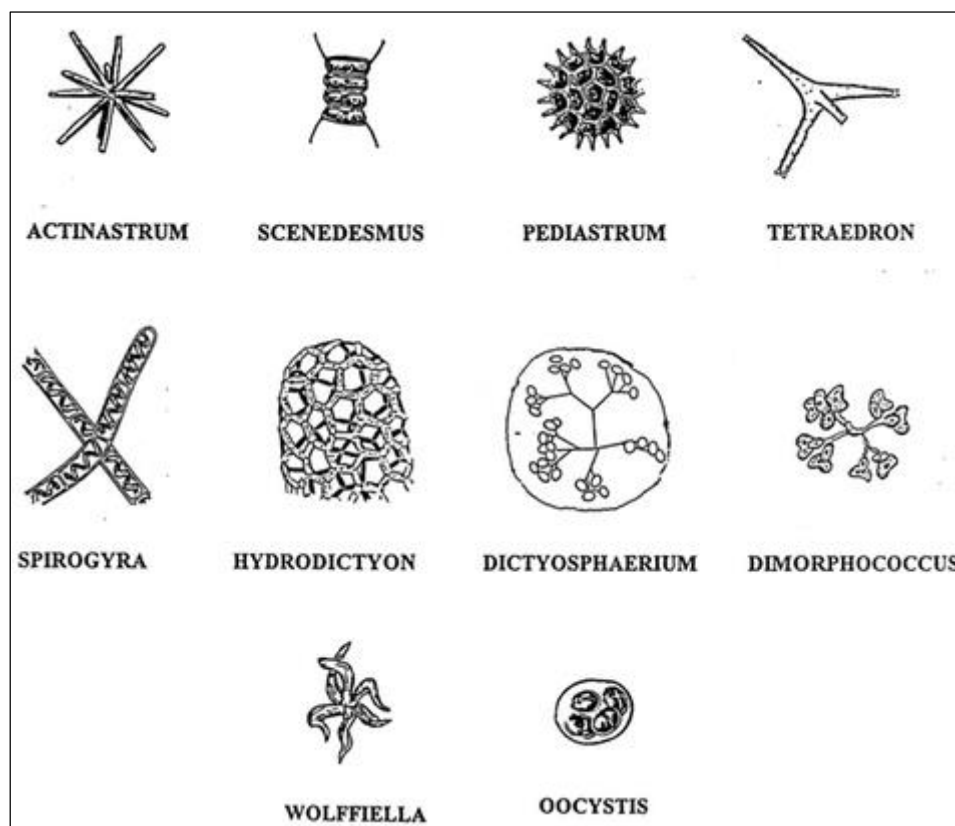


Figure 6 : Quelques espèces des Chlorophytes [site web 3].

2.8.3. Les xanthophycées

Regroupant plus de 100 genres et environ 600 espèces, les xanthophycées se caractérisent par leur mode de vie unicellulaire (fig. 7), colonial ou filamentaire, ainsi que par une concentration plus élevée de pigments caroténoïdes (β -carotène) que de chlorophylle, ce qui peut expliquer leur teinte jaune-verte (Grogan, 2012). De plus, elles sont identifiables par la présence de deux flagelles inégaux (Dussart, 1992). Les xanthophycées se reproduisent principalement par fission binaire et, lorsqu'une reproduction sexuée survient, elle est le plus souvent isogame (Grogan, 2012).

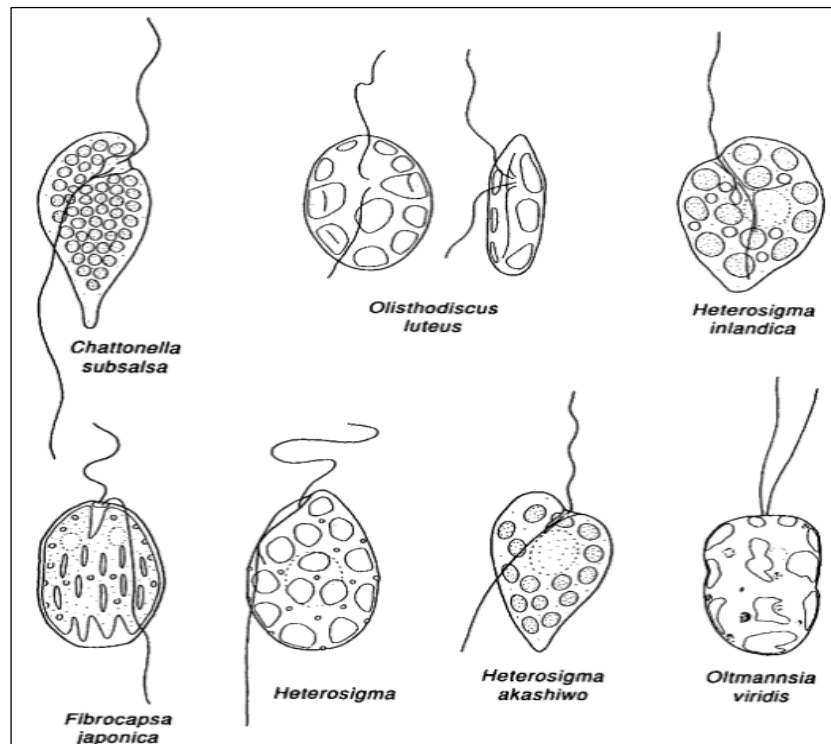


Figure 7 : Quelques espèces des xanthophycées [site web 4].

2.8.4. Les chrysophycées

Les Chrysophycées (fig. 8), qu'elles soient unicellulaires ou coloniales (rarement filamenteuses), peuvent vivre dans une enveloppe protectrice appelée lorique (Wetzel, 2001). Leurs cellules sont dotées d'un ou plusieurs plastes jaunes ou bruns, en raison de la forte concentration en xanthophylles (lutéine, fucoxanthine, diadinoxanthine) et caroténoïdes (β -carotène), ce qui masque la couleur due aux chlorophylles a, etc. La plupart de ces cellules obtiennent leur énergie par mixotrophie, c'est-à-dire qu'elles sont capables d'autotrophie et d'hétérotrophie. Dans ce dernier cas, elles se nourrissent en consommant de la matière particulaire telle que des bactéries ou des protistes (phagotrophie) ou en absorbant des molécules organiques complexes (osmotrophie) (Sanders et al., 1990; Domaizon et al., 2003).

Le nombre de flagelles varie. La plupart des cellules sont uniflagellées, mais d'autres possèdent deux flagelles généralement de même taille. Beaucoup d'espèces de cette classe n'ont pas de paroi cellulaire mais sont simplement entourées d'une membrane cytoplasmique. D'autres ont une surface cellulaire couverte de plaques ou d'écailles siliceuses ou calcaires. La multiplication se fait par fission binaire ou par zoosporulation. Les phénomènes sexuels, rarement signalés, sont de nature isogamique. En période de repos, la formation endogène de kystes siliceux, globuleux, percés d'un pore obstrué par un bouchon, est caractéristique des Chrysophycées.

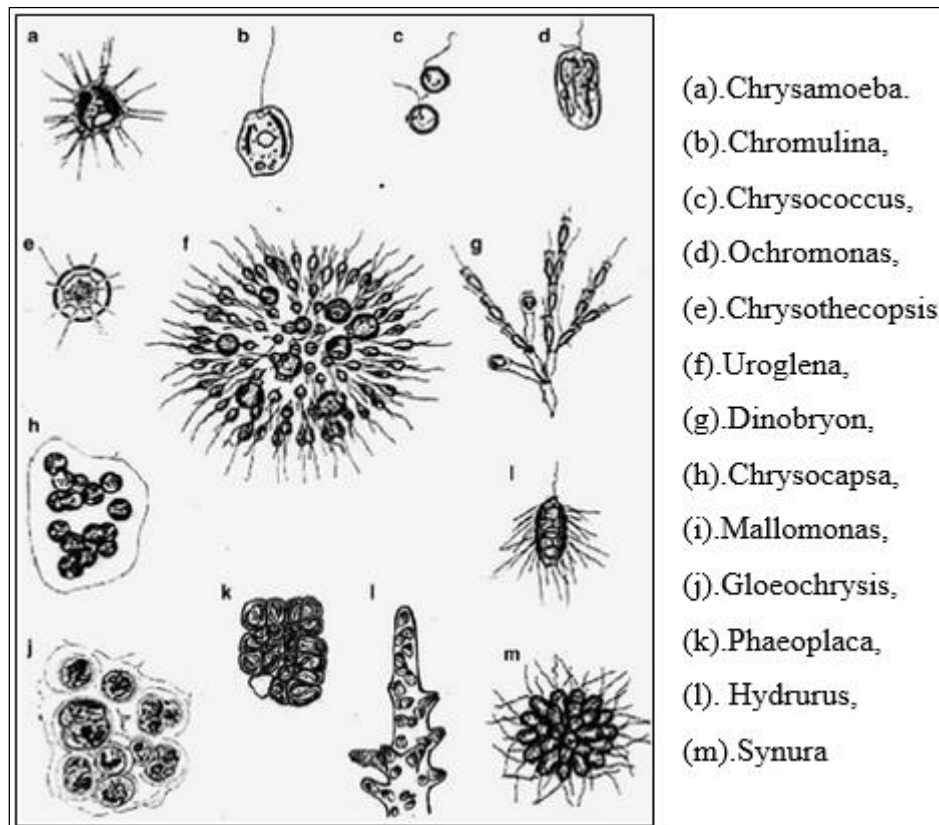


Figure 8 : Quelques espèces des Chrysophycées (Kristiansen, 2005).

2.8.5. Les diatomées

Les diatomées (fig. 9), également connues sous le nom de Bacillariophycées, comptent potentiellement plus de 100 000 espèces, mais seulement environ 15 000 ont été identifiées à ce jour. Bien que nombre d'entre elles soient sessiles ou associées aux substrats littoraux, elles représentent l'un des groupes prédominants du phytoplancton. Leur trait distinctif réside dans la présence d'une paroi cellulaire siliceuse appelée frustule (Germain, 1981). Les valves sont entourées de bandes formant la ceinture de la cellule. Ces micro-organismes peuvent être unicellulaires ou coloniaux et sont généralement classés en deux groupes : les diatomées centriques, qui présentent une symétrie radiale, et les diatomées pennées, qui affichent une symétrie bilatérale. Les valves des diatomées pennées ont des parties cellulaires plus épaisses et dilatées. Certaines espèces possèdent une fente appelée raphé, tandis que d'autres présentent une dépression de la paroi cellulaire appelée pseudoraphé. Ces structures permettent de distinguer quatre groupes de diatomées pennées : les Araphidées, les Raphidioidées, les Monoraphidées et les Biraphidées. La reproduction végétative par division cellulaire est le mode de multiplication le plus courant (Canter-Lund et Lund, 1995).

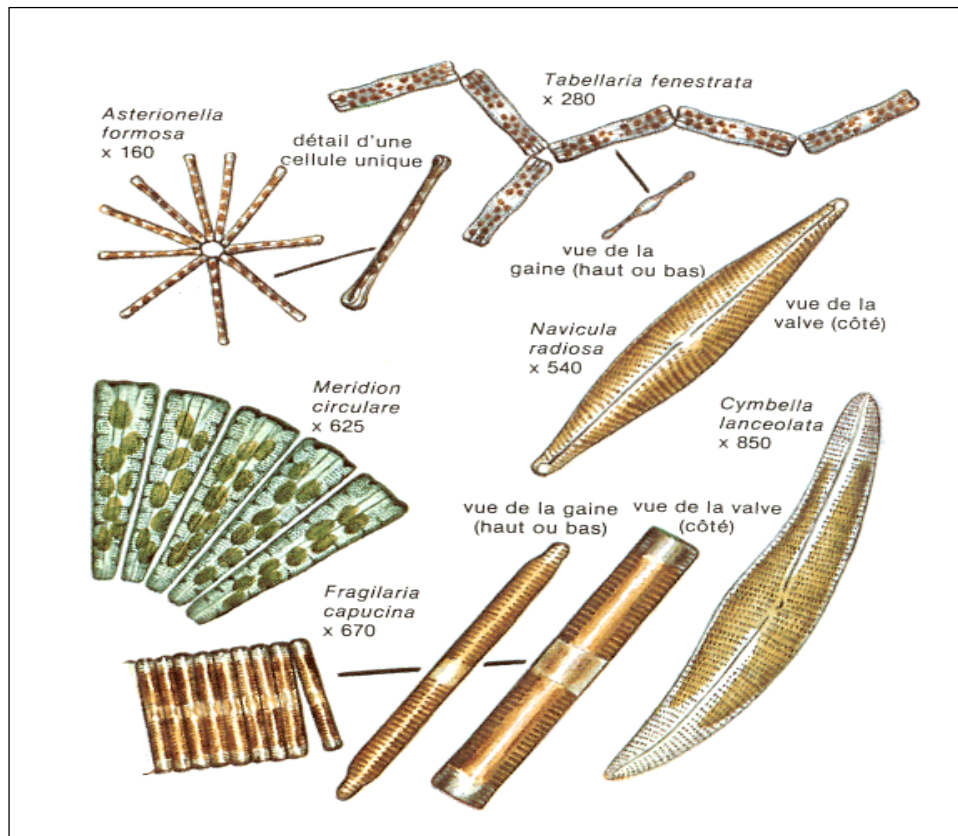


Figure 9 : Quelques espèces des diatomées [site web 5].

2.8.6. Les cryptophycées

Les cryptophycées sont des organismes unicellulaires qui se déplacent grâce à la présence de deux flagelles de taille égale et qui ne possèdent pas de paroi cellulaire (fig. 10). Leur enveloppe, appelée périplaste, est constituée de deux couches distinctes : le périplaste interne, formé de plaques protéiques successives, et le périplaste externe, constitué d'une membrane protéique unique, entourant la membrane plasmique (Kugrens et Clay, 2003). Ces cellules sont aplaties dorso-ventralement et présentent une invagination antérieure portant les deux flagelles. Elles renferment divers pigments, dont la phycoérythrine, conférant une teinte rougeâtre caractéristique. La reproduction s'effectue par fission binaire (Starmach, 1974).



Figure 10 : Quelques espèces des cryptophycées (Grogg, 2012).

2.8.7. Les dinoflagellés

Les dinoflagellés comptent environ 300 espèces et sont des micro-algues unicellulaires flagellées (fig. 11), dont la plupart sont mobiles. La cellule est ceinte par une structure transversale appelée cingulum, la divisant en une épithèque et une hypothèque, tandis qu'un sillon longitudinal, le sulcus, délimite sa face ventrale. Leur membrane externe est ornée de plaques de cellulose, déterminant la taxonomie de ces organismes en fonction du nombre et de l'agencement de ces plaques (Kofoid, 1909). Ces plaques peuvent être extrêmement fines et parfois difficiles à discerner par microscopie optique. Certaines espèces présentent des pores apicaux, des extensions de plaques, ainsi que des épines. Les pigments photosynthétiques principaux des dinoflagellés sont la chlorophylle *a* et *c2*.

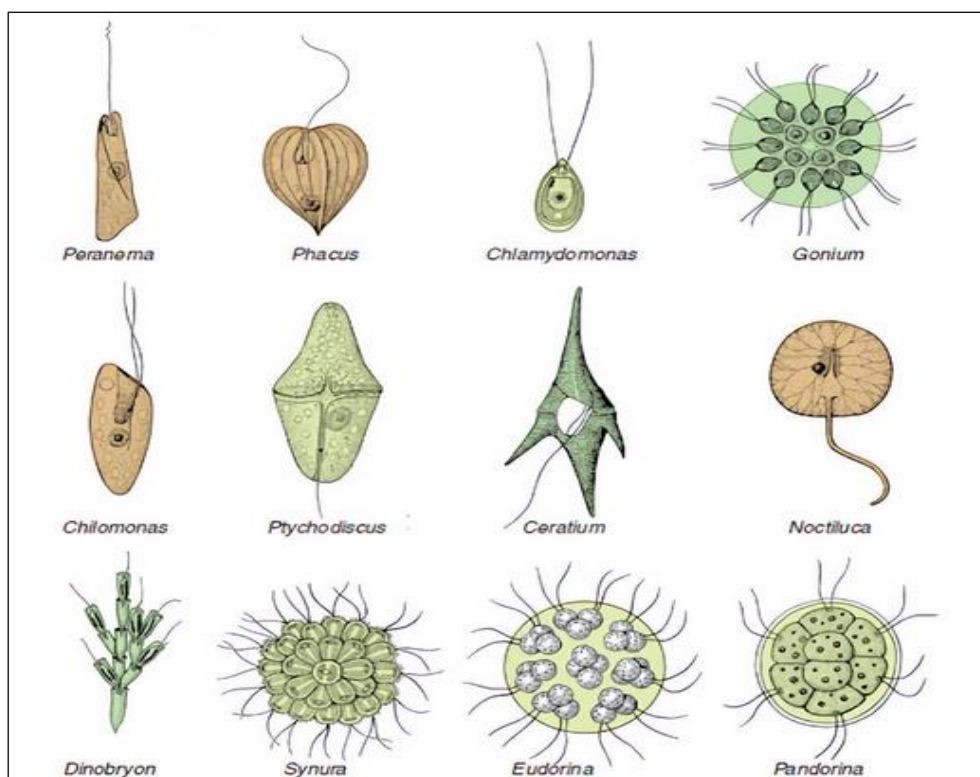


Figure 11 : Quelques espèces des dinoflagellés [site web 6].

2.8.8. Les Euglénophycées

Les Euglènes (fig. 12), réparties en 13 genres et comptant plus de 2000 espèces, sont principalement unicellulaires (Groga, 2012). Leur morphologie souvent déformable est caractérisée par la présence majoritaire d'un flagelle (Cavalla, 2000). Quant à leur mode de reproduction, la division cellulaire semble être la norme pour cette classe de phytoplancton (Groga, 2012).

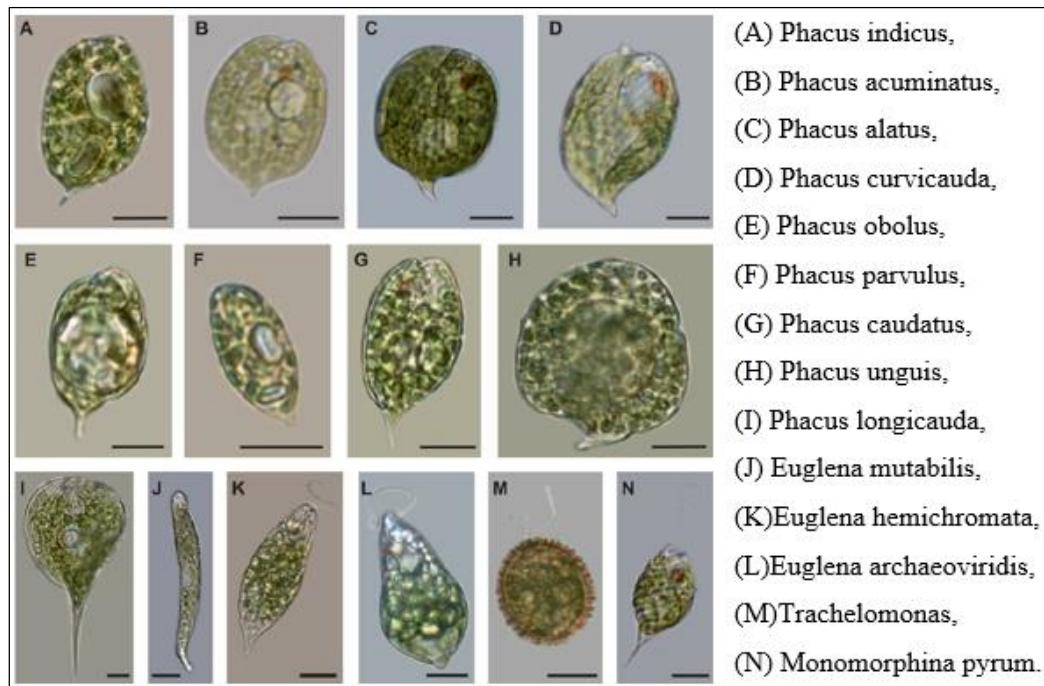


Figure 12 : Quelques espèces des Euglénophycées [site web 7].

2.9. Le cycle annuel du phytoplancton

En principe, le phytoplancton a tendance à se développer de manière privilégiée au printemps et à l'automne, lorsque les conditions sont optimales.

Cependant, ce schéma annuel est de plus en plus perturbé en raison des changements environnementaux tels que l'apport excessif en nutriments et le réchauffement climatique, ce qui permet à certaines espèces de proliférer toute l'année (Mollo et Noury, 2013).

Globalement, les principales phases du cycle annuel du phytoplancton suivent les rythmes saisonniers (fig. 13). La saison hivernale peut être considérée comme le point de départ, avec un phytoplancton peu diversifié et peu abondant, en équilibre avec le zooplancton.

Au début du printemps, une augmentation significative du phytoplancton se produit, favorisée par des conditions telles que des niveaux élevés de nutriments, une augmentation des températures et de la salinité, ainsi qu'une augmentation progressive de l'ensoleillement (Bougis, 1974). Cette croissance se poursuit tout au long du printemps jusqu'à atteindre un pic annuel, bien que certaines espèces puissent se multiplier plus rapidement que d'autres.

En été, la production de phytoplancton diminue, soit en raison du contrôle exercé par le zooplancton herbivore sur la végétation, soit en raison de l'état physiologique des espèces dominantes de la phase précédente (Bougis, 1974).

À l'automne, une nouvelle poussée de microflore planctonique se produit, profitant des conditions favorables du milieu et des matériaux recyclés (Bougis, 1974).

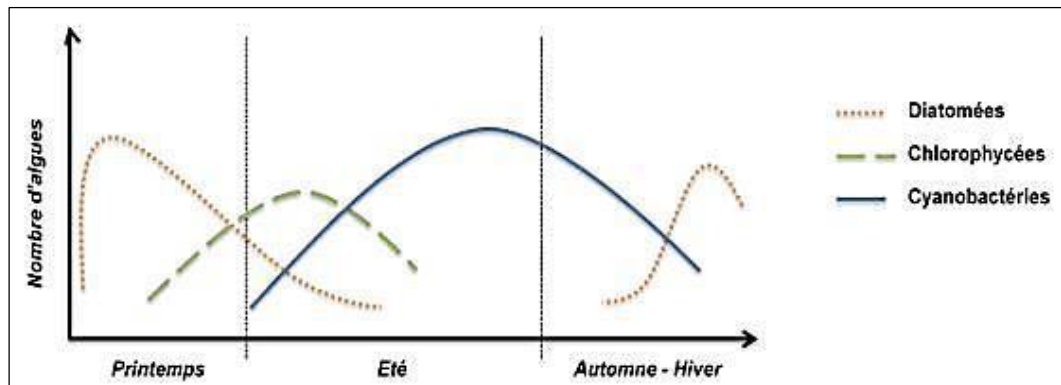


Figure 13 : prolifération des phytoplanctons à différentes saisons [site web 8].

2.10. Impacts des facteurs naturels sur la dynamique planctonique

2.10.1. Facteurs d'origine abiotique

La variation saisonnière des concentrations de nutriments, influencée par des facteurs physiques et chimiques, joue un rôle crucial dans la prolifération du phytoplancton (Findley et Klingh, 1994). Comprendre comment les processus biologiques sont régulés par des forces physiques est essentiel pour saisir la variabilité spatio-temporelle des communautés phytoplanctoniques. Le mélange, la température, la lumière et la disponibilité des nutriments fluctuent à différentes échelles de temps, ce qui peut affecter la dynamique du phytoplancton. Des changements dans ces communautés peuvent être observés sur des périodes allant de quelques jours (Sommer et al., 1986), à plusieurs milliers d'années (Finkel et al., 2004).

a. La température

La température joue un rôle crucial dans le milieu marin, affectant à la fois la biodiversité à différentes profondeurs, le climat des régions côtières voisines, et la densité de l'eau, pouvant ainsi influencer la formation de courants. Elle joue un rôle essentiel et permet de définir les zones biogéographiques. La température des océans dépend étroitement des transferts de chaleur entre les différentes masses d'eau et leur environnement (Levitus et al., 2005). Cet élément crucial du fonctionnement métabolique et physiologique des organismes marins végétaux exerce une influence tout aussi significative sur les fluctuations de la viscosité du milieu, et par conséquent sur la circulation des masses d'eau et le comportement du plancton. Son rythme saisonnier est étroitement lié aux conditions environnantes (Touahria, 1999).

b. Le climat

Le climat joue un rôle fondamental dans la régulation et l'évolution des écosystèmes. La restriction de la croissance des organismes qui effectuent la photosynthèse conduit progressivement à un manque d'oxygène dans la masse d'eau située au fond du lac. Les niveaux

élevés de luminosité ont un effet inhibiteur sur la photosynthèse ainsi que sur la fixation de l'azote par les microorganismes photosynthétiques. Dans les environnements aquatiques, on constate une prédominance de Chlorophycées filamenteuses en surface et de Cyanobactéries en profondeur. En conséquence, ce groupe de phytoplancton évite les zones fortement exposées à la lumière (Ramade, 2005).

c. Le potentiel d'Hydrogène

Le pH joue un rôle crucial dans l'analyse des environnements aquatiques. Fondamentalement, il représente la concentration des ions H^+ dans une solution aqueuse selon la formule $pH = -\log [H^+]$. En général, l'eau de mer est légèrement alcaline (basique), avec un pH moyen de 8.2 et des variations entre 7 et 8.4, principalement influencées par la présence de carbonates ($CO_2-HCO_2-CO_2$) (Khatabi, 2002).

d. La salinité

La salinité désigne la concentration de sels dissous dans l'eau de mer. Elle est traditionnellement définie comme la masse en grammes des solides dissous après évaporation à 480°C, obtenue à partir d'un litre d'eau de mer (Rodier et al., 1996).

La Méditerranée est connue pour sa forte salinité, due à une évaporation intense et des apports d'eau douce limités. Cette salinité influence la densité de l'eau : plus elle est salée, plus elle est dense. La salinité en surface suit généralement la même tendance que la température, et elle est également sujette à des variations dues aux conditions atmosphériques et aux apports d'eau douce (Touahria, 1999).

e. L'oxygène dissous

L'oxygène, en tant que gaz, joue un rôle crucial dans de nombreux processus, à la fois biologiques et chimiques, y compris la corrosion. Sa présence dans l'eau de mer varie considérablement en fonction de divers facteurs tels que l'emplacement, la profondeur et la saison, attribuables à ses différentes sources d'origine, qu'elles soient atmosphériques ou biologiques. Les niveaux d'oxygène dissous dans le milieu marin fluctuent également en fonction de la température, de la salinité et de l'activité biologique, notamment la production d'oxygène par les organismes végétaux autotrophes (Touahria, 1999).

f. Les nutriments

Les éléments nutritifs essentiels, tels que le phosphore, l'azote et le silicium, sont présents dans l'eau de mer, bien que leurs concentrations varient considérablement, notamment pour soutenir le développement du plancton, en particulier les compartiments bactérien et phytoplanctonique (Kornprobst, 2005). Les conditions climatiques et les courants océaniques jouent un rôle crucial dans la distribution de ces éléments nutritifs. Les populations

phytoplanctoniques sont directement affectées par la disponibilité des nutriments. L'azote, sous ses différentes formes (NH_4^+ , NO_3 , NO_2), ainsi que le phosphore, sont parmi les nutriments essentiels pour le développement du phytoplancton. Un apport modéré de nutriments peut stimuler la production biologique dans les eaux côtières, mais un excès peut conduire à l'eutrophisation, avec des conséquences néfastes telles que la diminution de la lumière dans la zone euphotique et la formation d'hypoxie ou d'anoxie due à la décomposition de la matière organique associée à une biomasse phytoplanctonique élevée (Gailhard, 2003).

g. L'Azote ammoniacal

L'azote minéral se présente dans l'eau de mer principalement sous forme ammoniacale, nitreuse et surtout nitrique, et peut être assimilé par le phytoplancton dans ces trois états. Dans le milieu aquatique, l'azote réduit se trouve sous deux formes principales : l'ion ammonium (NH_4^+) et l'ammoniaque non dissociée (NH_3), ces deux formes étant en équilibre acido-basique. L'ammoniaque favorise la prolifération du plancton.

La présence d'ammoniac en quantités importantes dans les eaux naturelles est un indicateur de pollution (Gaujons, 1995).

h. Les nitrites

Les nitrites jouent un rôle crucial dans le cycle de l'azote en tant que forme intermédiaire. Ils sont générés soit par l'oxydation partielle de l'azote ammoniacal grâce à l'activité des bactéries nitreuses telles que *Nitrosomonas*, soit par la réduction des nitrates par les bactéries dénitrifiantes. Dans les environnements naturels, les nitrites se dégradent rapidement, bien qu'ils puissent également provenir de déversements industriels, étant donné leur utilisation courante comme agents inhibiteurs de la corrosion (Gaujons, 1995).

i. Les nitrates

Les nitrates sont le produit final de l'oxydation de l'azote organique. Selon Potelon (1998), les eaux de surface ne doivent pas contenir plus de 10 mg/l de nitrates. Gaujons (1995) identifie plusieurs sources possibles de nitrates :

- La décomposition de matière organique ;
- L'utilisation d'engrais azotés ;
- Les déchets animaux tels que le fumier et le purin ;
- Les eaux usées domestiques et les installations de traitement des eaux ;
- Les nitrates sont importants non seulement en tant qu'indicateurs de pollution, mais surtout en tant que fertilisants pour les plantes, car c'est principalement sous cette forme que les plantes assimilent l'azote associé aux phosphates. Ils favorisent la croissance excessive de la flore

aquatique, tant microscopique que macroscopique, pouvant entraîner une diminution de l'oxygène dissous (Beaudry et Tardat-Henry, 1992).

j. Le phosphore

Selon Dussart (1966), le phosphore, métalloïde crucial pour la vie aquatique, est généralement le moins abondant et se trouve principalement sous forme d'orthophosphate, la forme la plus simple. Il joue un rôle essentiel dans la croissance cellulaire, participant à diverses réactions cellulaires telles que le transfert d'énergie et la biosynthèse des acides nucléiques. Pour la production phytoplanctonique, les microalgues préfèrent l'orthophosphate (PO_4^{2-}). Bien que le phosphore ne représente généralement que moins de 1% de la biomasse algale, il est souvent l'élément le plus limitant pour la production primaire, car il a tendance à se lier facilement à d'autres ions (comme le Fe, CO_2^- , par exemple), précipitant ainsi et devenant indisponible pour les algues. En Méditerranée, le phosphore est fréquemment l'élément limitant (Rossi, 2008).

k. La concentration en chlorophylle a

La présence de chlorophylle a , un pigment essentiel à la photosynthèse des algues, est utilisée pour estimer la biomasse du phytoplancton dans les milieux aquatiques. Les concentrations de chlorophylle dans les eaux de surface varient selon les saisons, car le développement du phytoplancton dépend de plusieurs facteurs tels que la luminosité, la disponibilité des éléments nutritifs, la stabilité des masses d'eau et l'activité du zooplancton (Lorenzen, 1967).

2.10.2. Facteurs d'origine biotique

Aussi connus sous le nom de facteurs dépendants de la densité, ces éléments englobent toutes les interactions entre individus telles que la prédation, la compétition, le mutualisme, etc (Leveque, 2001). Une définition plus étendue proposée par Ramade (2005) englobe sous cette appellation l'ensemble des paramètres physico-chimiques ou biologiques résultant des interactions entre les êtres vivants et leur environnement. Cette conception distingue :

Les facteurs physico-chimiques d'origine biotique, découlant des activités métaboliques et des sécrétions de substances favorables ou toxiques pour d'autres espèces.

Les facteurs trophiques biologiques, tels que les nutriments libérés dans les eaux (ou le sol) suite à la décomposition.

Les facteurs intraspécifiques, qui englobent les interactions au sein d'une même espèce (entre individus).

Les facteurs interspécifiques, concernant les interactions entre populations d'espèces différentes (prédation et parasitisme) ([Leveque, 2001](#)).

2.11. Le phytoplancton comme indicateur de pollution

Les activités humaines exercent une pression considérable sur les écosystèmes aquatiques, entraînant une série d'impacts néfastes. L'expansion de l'industrie, l'agriculture intensive et la transformation généralisée des territoires ont conduit à des altérations profondes des milieux aquatiques, causant leur dégradation à plusieurs niveaux. Cette dégradation se manifeste par une détérioration de la qualité de l'eau (pollution chimique, matière organique...), des altérations dans la structure physique des habitats (artificialisation des berges, drainage, recalibrage...), et des perturbations dans les communautés biologiques ([Reynolds et al., 2002](#)). La variété des sources de pression sur les milieux aquatiques, qu'elles soient d'origine chimique ou physique, combinée aux interactions complexes et souvent mal comprises entre ces altérations, a rendu nécessaire le développement d'indicateurs intégrateurs pour évaluer l'état des écosystèmes. Ainsi, la simple connaissance des paramètres physico-chimiques de l'eau ne suffit pas et doit être complétée par l'étude des communautés biologiques indicatrices pour évaluer la qualité environnementale ([Anneville et al., 2008](#)).

2.12. Rôle du phytoplancton dans l'écosystème aquatique

Le phytoplancton possède d'importants rôles, dont les plus connus sont :

2.12.1. Dans la photosynthèse

Le phytoplancton joue un rôle crucial dans les écosystèmes aquatiques en raison de sa capacité à convertir les éléments minéraux dissous dans l'eau et l'énergie lumineuse en hydrates de carbone et en oxygène, conformément à l'équation de Redfield. Pendant la photosynthèse, le phytoplancton peut fixer entre 20,109 et 55,109 tonnes de carbone dans les environnements marins ([Stumm et Morgan, 1996](#)).

2.12.2. Dans la chaîne alimentaire

Les pêcheurs médiévaux avaient déjà conscience de l'importance du phytoplancton, comme en témoigne l'adage "qui dit poisson dit plancto". Le phytoplancton constitue la base de la chaîne alimentaire pélagique et joue un rôle crucial dans la production primaire des milieux aquatiques, influençant ainsi la disponibilité des poissons, des moules, des huîtres, des crevettes et d'autres produits ([Hansen et al., 2001](#)).

2.12.3. Dans le traitement des eaux usées

Les microalgues jouent des rôles essentiels dans le traitement biologique des eaux usées par lagunage :

Elles fournissent de l'oxygène grâce à la photosynthèse, favorisant ainsi l'oxydation de la matière organique en formant des associations symbiotiques avec des bactéries. De plus, elles peuvent contribuer directement à l'élimination de certains composés organiques (Pearson et al., 1987).

Elles participent partiellement à l'élimination des sels nutritifs excédentaires dans les eaux résiduaires (Ergashev et Tajiev, 1986).

Elles agissent en tant que bio-absorbants, aidant à éliminer les métaux lourds et autres substances toxiques présentes dans ces eaux (Beker, 1983).

Leur activité biologique a un effet négatif sur certaines bactéries pathogènes, réduisant ainsi leur nombre voire les éliminant (Pearson et al., 1987).

2.13. Effets nuisibles du phytoplancton

2.13.1. Risque sur la santé humaine

Certaines variétés de phytoplancton génèrent des phycotoxines, lesquelles sont ensuite accumulées par les organismes phytoplanctonophages (Gailhard, 2003).

2.13.2. Risque sur l'environnement et le cadre de vie

- Changement de l'apparence de la ressource par une coloration inhabituelle, des irisations en surface et/ou des masses d'écume se déplaçant au gré des vents.
- Une nuisance olfactive peut survenir lors de la décomposition de la prolifération (Gailhard, 2003).

2.13.3. Risque sur les organismes vivant :

- La perturbation de la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques peut se manifester par plusieurs phénomènes, notamment une perturbation des réseaux trophiques aquatiques.
- Les cyanobactéries prolifèrent souvent sans être consommées par le zooplancton, ce qui peut entraîner un déséquilibre au détriment du développement des autres microorganismes.
- La présence d'écumes toxiques peut entraîner l'intoxication d'animaux domestiques ou sauvages qui s'abreuvent à proximité (Gailhard, 2003).

3. Zooplancton

3.1. Généralités sur les communautés zooplanctoniques

Le zooplancton, composé de petits organismes aquatiques souvent microscopiques, représente le plancton animal dans les écosystèmes aquatiques. Il joue un rôle crucial dans la chaîne alimentaire de ces milieux, en servant de source de nourriture pour certaines espèces de poissons, principalement les jeunes (Amoros, 1984).

Le plancton animal comprend :

Le zooplancton permanent (ou holoplancton) comprend des organismes unicellulaires ou pluricellulaires qui naissent, se reproduisent et meurent sous forme de zooplancton. La taille du zooplancton permanent varie selon les espèces.

Le zooplancton temporaire (ou méroplancton) est constitué d'œufs et de larves (de crustacés, coquillages et poissons) qui vivent dans le plancton pendant quelques heures à plusieurs semaines, avant de le quitter en se métamorphosant en juvéniles puis en adultes. Le zooplancton permanent constitue une proie facile pour le zooplancton temporaire ainsi que pour de petits poissons (Mollo, 2013).

La définition du plancton est associée à la taille et à la mobilité caractéristique des organismes planctoniques. En fonction de leur taille corporelle, le zooplancton peut être classé en trois groupes (Mollo, 2013) :

- **Le microzooplancton** comprend les stades nauplius des copépodes, des protozoaires, ainsi que la plupart des rotifères, dont la longueur corporelle varie de 10 à 15 µm.
- **Le mésozooplancton** est constitué des stades adultes des copépodes et de la plupart des cladocères, avec une longueur corporelle variant de 0,5 à 5 mm.
- **Le macrozooplancton** désigne les organismes dont la taille se situe entre 1 et 2 cm.

Bougis (1974) distingue seulement deux principaux groupes de zooplancton en fonction de leur taille :

- **Le macrozooplancton**, dont la longueur atteint quelques millimètres.
- **Le microzooplancton**, mesurant environ 50 micromètres.

3.2. Les Copépodes

3.2.1 Description

Les copépodes sont de petits crustacés dont les adultes mesurent généralement entre un et deux millimètres (fig. 14). Les espèces les plus petites atteignent environ 0,2 mm, tandis que les plus grandes peuvent mesurer jusqu'à 10 mm.

Leur corps est composé de trois parties distinctes : la tête ou céphalosome, qui comprend cinq paires d'appendices, notamment des antennes souvent longues, des mandibules, des maxilles et des maxillipèdes munis de longues soies filtrantes (Rose, 1933).

Le thorax ou métasome se compose de cinq segments, le premier étant souvent fusionné avec le céphalosome pour former le céphalothorax. Les quatrième et cinquième segments présentent parfois des prolongements dirigés vers l'arrière ou latéralement. Chaque segment ventral du thorax porte une paire de pattes natatoires (Dussart, 1969).

L'abdomen ou urosome se compose de cinq anneaux chez les mâles mais seulement quatre chez les femelles, le premier anneau portant l'orifice génital (Rose, 1933).

La détermination des copépodes est souvent difficile en raison de leur dimorphisme sexuel et des variations importantes de leur morphologie au cours de leur croissance.

Chez les Calanoïdes, les mâles adultes se distinguent par leur antennule droite "géniculée", tandis que les femelles adultes portent souvent un sac d'œufs au niveau de leur abdomen.

Chez les Cyclopoïdes, les mâles ont leurs deux antennules géniculées et les femelles portent deux sacs d'œufs. Dans les Harpacticoïdes, les antennules sont également modifiées chez les mâles, tandis que les femelles ont généralement un seul sac d'œufs contenant souvent un nombre réduit d'œufs, à moins qu'elles ne pondent directement leurs œufs un par un dans le milieu (Dussart, 1969).

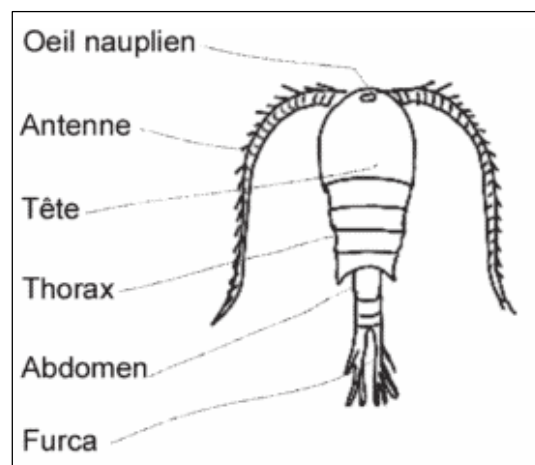


Figure 14 : Description de la morphologie d'un copépode [site web 9].

3.2.2. Systématique

Les copépodes appartiennent à la sous-classe des maxillopodes, qui fait partie du sous-embranchement des crustacés, une subdivision des arthropodes ([Lahard, 2014](#)).

Règne : animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous embranchement : Crustacea

Classe : Maxillopoda

Sous classe : copepoda

Les adultes des copépodes font partie du méso zooplancton (200 μ m - 12 mm) ([Grieve, 1994](#)). Ils forment un groupe extrêmement diversifié comprenant 200 familles, 1650 genres et 11500 espèces décrites ([Lahard, 2014](#)).

3.3. Les cladocères

3.3.1. Description

Les cladocères sont de petits animaux dont la taille varie de 0,2 à 3 mm, atteignant exceptionnellement 15 mm chez une seule espèce ([fig. 15](#)). Leur corps est transparent, translucide ou parfois coloré, et la segmentation n'est généralement pas visible, sauf dans certains cas ([Amoros, 1984](#)).

La tête, qui n'est pas comprise entre les valves, est protégée par une capsule céphalique. Les pièces buccales comprennent de larges mandibules pour broyer les particules de nourriture filtrées, ainsi qu'une paire de maxillaires plus petits utilisés pour manipuler la nourriture entre les mandibules. Les antennes sont insérées sur la face ventrale de la tête, près du bord postérieur, avec parfois des antennes bien développées insérées sur les côtés de la tête, parfois sous une expansion ([Amoros, 1984](#)).

Chez la plupart des espèces, le thorax et l'abdomen sont couverts d'une carapace bivalve dont l'ouverture ventrale et postérieure permet la sortie des appendices thoraciques et abdominaux. En vue latérale, les valves présentent des formes variées : ovales, sphériques, allongées ([Amoros, 1984](#)).

L'abdomen constitue l'extrémité du corps et est très mobile. Le postabdomen est le plus souvent replié ventralement vers l'avant, avec l'anus s'ouvrant sur le bord dorsal du postabdomen.

En position dorsale entre les valves et le thorax, on trouve chez les femelles un espace appelé la chambre incubatrice. Les cladocères ne possèdent pas d'organe respiratoire.

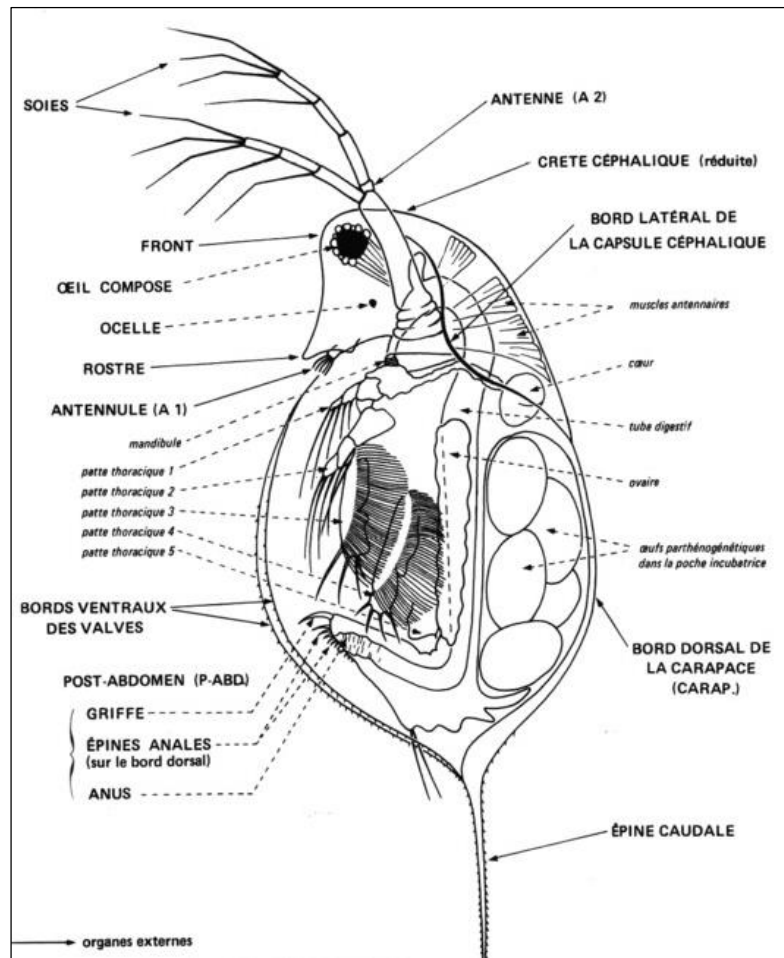


Figure 15 : Description de la morphologie d'un cladocère [site web 10].

3.3.2. Systématique

La classification des Branchiopodes selon [Alonso \(1996\)](#) a suscité un débat parmi les taxonomistes concernant l'utilisation du terme "cladocère". [Calman \(1909\)](#) a proposé de diviser la sous-classe des branchiopodes en quatre ordres : les Anostracés, les Notostracés, les Conchostracés et les Cladocères ([Calman, 1909](#) ; [Alonso, 1996](#)).

Règne : animalia

Embranchement : Arthropoda

Classe : Crustacea

Sous Classe : Branchiopoda

Ordre : Cladocera

Les branchiopodes (Cladocères) nord-africains appartiennent à deux ordres, six familles et 25 genres ([Mouelhi et al., 2000](#)). Selon [Fryer \(1987\)](#) ce terme utilisé comme unité taxonomique, devrait être rejeté vu qu'il ne correspond à aucun groupe monophylégénétique et qu'il était juste retenu par commodité pour une description générale de ces organismes.

3.4. Les Rotifères

3.4.1. Description

Les Rotifères sont de petits animaux mesurant entre 0,1 et 1 mm de longueur, avec un corps allongé (fig. 16). Ils sont revêtus d'une cuticule généralement souple.

La morphologie des différentes espèces de rotifères est diversifiée : leur corps peut adopter une forme cylindrique ou en sac, le pied caractéristique des rotifères benthiques est généralement absent chez les rotifères pélagiques, et ils possèdent un tube digestif s'étendant sur toute la longueur du corps (Pourriot, 1982).

Un trait distinctif des rotifères est la présence d'une structure ciliaire située à l'avant du corps, appelée l'appareil rotateur, qui varie considérablement en importance selon les genres et est le plus souvent composé d'une plaque buccale. La plupart des espèces de rotifères sont solitaires, bien que l'on ait répertorié environ 25 espèces coloniales (Pourriot, 1982).

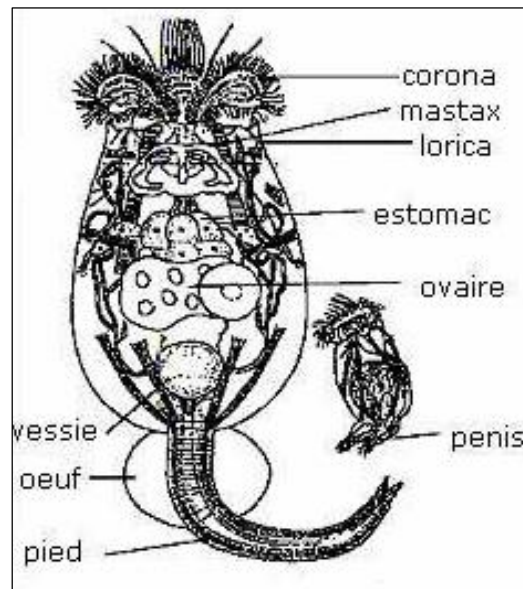


Figure 16 : Description de la morphologie d'un Rotifère [site web 11].

3.4.2. Systématique

Les rotifères sont divisés en trois groupes : les Seisonides (2 genres, 3 espèces), les Bdelloides (19 genres et un peu plus de 460 espèces) et les Monogonontes. Les Seisonides ne vivent qu'en eau salée.

Règne : animalia

Embranchement : Rotifera

Classe : Bdelloidea

Ordre : Bdelloida

Les Monogonontes forment le groupe le plus diversifié avec plus de 100 genres et 1570 espèces (Pourriot, 1982).

3.5. Écologie et rôle fonctionnel du zooplancton

Le zooplancton joue un rôle crucial dans les réseaux trophiques en facilitant le transfert de matière et d'énergie depuis les producteurs primaires phytoplanctoniques et autres sources externes vers les niveaux trophiques supérieurs (McQueen et al., 1986).

Ainsi, les communautés zooplanctoniques sont à la fois influencées par et exercent une influence sur les autres composantes du réseau trophique. La composition de la Matière en Suspension, incluant sa proportion de Matière Organique et Inorganique ainsi que la quantité et la composition du phytoplancton, des détritiques et des micro-organismes, joue un rôle déterminant dans la régulation trophique des communautés zooplanctoniques (McQueen et al., 1986).

Par ailleurs, l'impact prédateur exercé par les organismes planctophages sur les communautés constitue également un facteur déterminant dans la structuration et la répartition du zooplancton (McQueen et al., 1986).

De plus, certains polluants, notamment les contaminants organiques hydrophobes, sont associés à la Matière en Suspension qui constitue la source alimentaire du zooplancton. Ainsi, les organismes entrent en contact direct avec ces polluants et peuvent devenir des vecteurs potentiels de contamination par voie trophique (Tlili et al., 2016).

En raison de sa position dans la chaîne alimentaire et de son cycle de vie relativement court, le zooplancton est très sensible aux fluctuations environnementales et réagit rapidement aux changements dans son habitat. Par conséquent, il est largement influencé, directement ou indirectement, par les conditions environnementales, ce qui en fait souvent un indicateur de pollution. Certaines espèces de rotifères et de cladocères sont également fréquemment utilisées dans les tests d'écotoxicologie (Chambord et al., 2016).

CHAPITRE II :

« *Matériel et méthode* »



Partie I : présentation de la zone d'étude

1. Présentation de la Wilaya de Mila

1.1. Situation géographique et administrative

La wilaya de Mila, située dans le Nord-est de l'Algérie à une altitude de 464 mètres (fig. 17), se trouve à 73 km de la mer Méditerranée. Elle fait partie de l'Est de l'Atlas tellien, une chaîne de montagnes s'étendant d'Ouest en Est sur le territoire Nord du pays (ANDI, 2013).

Elle occupe une superficie totale de 3480,54 km², représentant 0,14 % de la superficie totale du pays, elle abritait une population de 810 370 habitants en décembre 2011. Mila a été découpé en 32 communes lors du découpage administratif de 1984 (Chaalal, 2012).

- Au Nord-ouest par la wilaya de Jijel ;
- Au Nord-est par la wilaya de Constantine et Skikda ;
- À l'Ouest par la wilaya de Sétif ;
- Au Sud-est par la wilaya D'Oum-El Bouaghi ;
- Au sud par la wilaya de Batna.

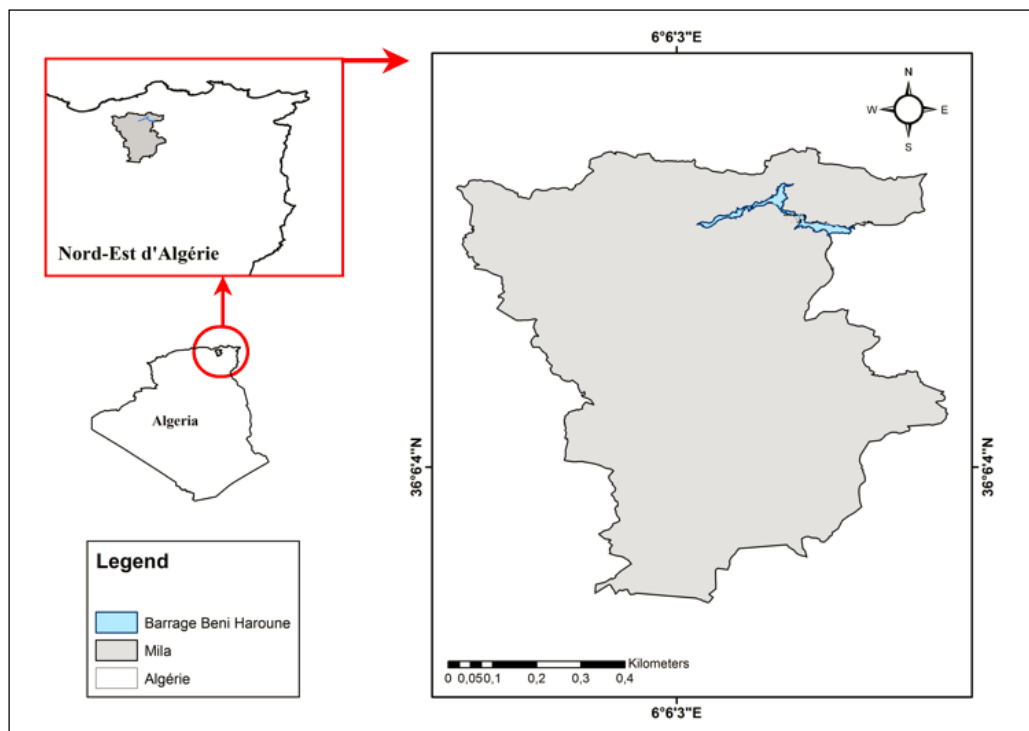


Figure 17 : La situation géographique de la wilaya de Mila (Photo originale).

1.2. Situation édaphique

1.2.1. Pédologie

D'un point de vue pédologique, tous les sols de la Wilaya de Mila sont classés comme des sols bruns forestiers (sols brunifiés), présentant une richesse en potassium mais une pauvreté en phosphore, et se distinguant par leur forte teneur en calcaire. Ces sols se caractérisent également par :

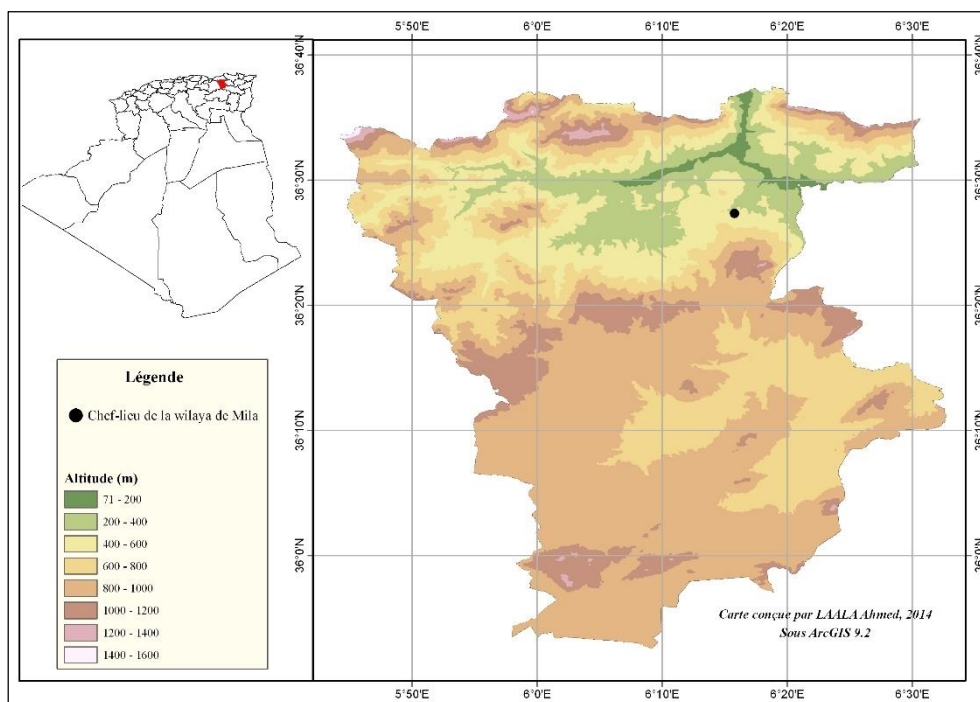
- Une rétention en eau élevée atteignant une capacité maximale.
- La formation de fissures de retrait pendant les périodes sèches (Belattar, 2007).

1.2.2. Géologie

Le bassin de Mila est situé dans la région externe de la chaîne alpine en Algérie du nord-est, qui est connectée à la branche sud des montagnes du Maghreb, s'étendant du détroit de Gibraltar à l'ouest jusqu'à la Sicile et la Calabre à l'est. Cette branche nord-orientale est généralement divisée en deux grandes zones : un noyau interne comprenant le socle kabyle et les formations des flysch, et une zone externe correspondant aux formations telliennes et à l'avant-pays (Atmania, 2010).

1.2.3. Relief

La Wilaya de Mila est complètement encerclée par des chaînes montagneuses provenant de divers domaines paléogéographiques (fig. 18).



- Au nord, se dressent des montagnes imposantes, caractérisées par leurs altitudes élevées et leurs pentes abruptes, telles que le Djebel M'cid Aicha et Sidi Driss ;
- Au sud, s'étendent de vastes plaines et collines, représentées notamment par le Djebel Osman et Grouz ;
- Au centre, se trouve un paysage varié mêlant vallées, collines et piémonts, avec parfois des versants plus élevés ;
- À l'est, on rencontre le Djebel Akhal, Chettaba et Kheneg, tandis qu'à l'ouest se dressent le Djebel Boucherf et Oukissene (ANDI, 2013 ; Merghadi et al., 2018).

1.3. Contexte climatique

La Wilaya de Mila présente une diversité climatique découlant de trois microclimats distincts, correspondant à la configuration des trois principaux ensembles morphologiques (ANDI, 2013).

- Un climat humide caractérise les reliefs montagneux du Nord et de la partie médiane, s'étendant de Bouhatem à Aïn Tine ;
- Un climat semi-aride à subhumide prédomine dans la partie médiane de la Wilaya ;
- Les hautes plaines affichent un climat semi-aride.

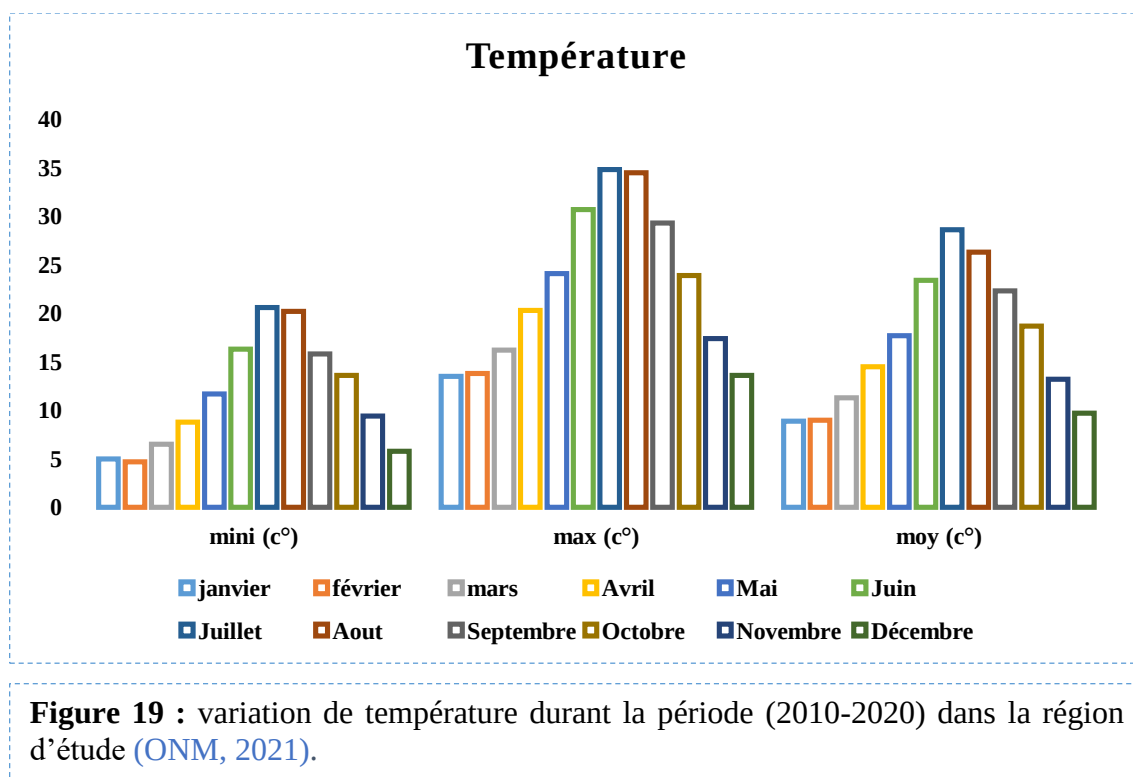
1.3.1. Température

La température représente le niveau de chaleur ou de fraîcheur présente dans un endroit ou dans l'atmosphère. Elle est mesurée en degrés Celsius à l'aide d'un thermomètre enregistreur positionné à 1,5 mètre du sol, à l'ombre et à l'abri du vent. La température atmosphérique fluctue en fonction des heures de la journée, de l'altitude et des saisons. Elle constitue un élément majeur influençant le climat et le bilan hydrique, car elle influe sur les processus d'évaporation et d'évapotranspiration (Druex, 1980).

Tableau 15 : paramètre de température durant la période (2010-2020) de la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Mini (c°)	5.0	4.7	6.5	8.8	11.7	16.3	20.6	20.2	15.8	13.6	9.4	5.8
Max (c°)	13.5	13.8	16.2	20.3	24.1	30.7	34.8	34.5	29.3	23.9	17.4	13.6
Moy (c°)	8.9	9.0	11.3	14.5	17.7	23.4	28.6	26.3	22.3	18.7	13.2	9.7

Selon les données présentées dans le tableau 15, les températures mensuelles dans la région d'étude connaissent leur point le plus bas en février, avec une moyenne de 4,7 °C, tandis que le pic maximal est observé en juillet, atteignant 34,8 °C, sur la période (2010-2020).



1.3.2. Précipitations (PP)

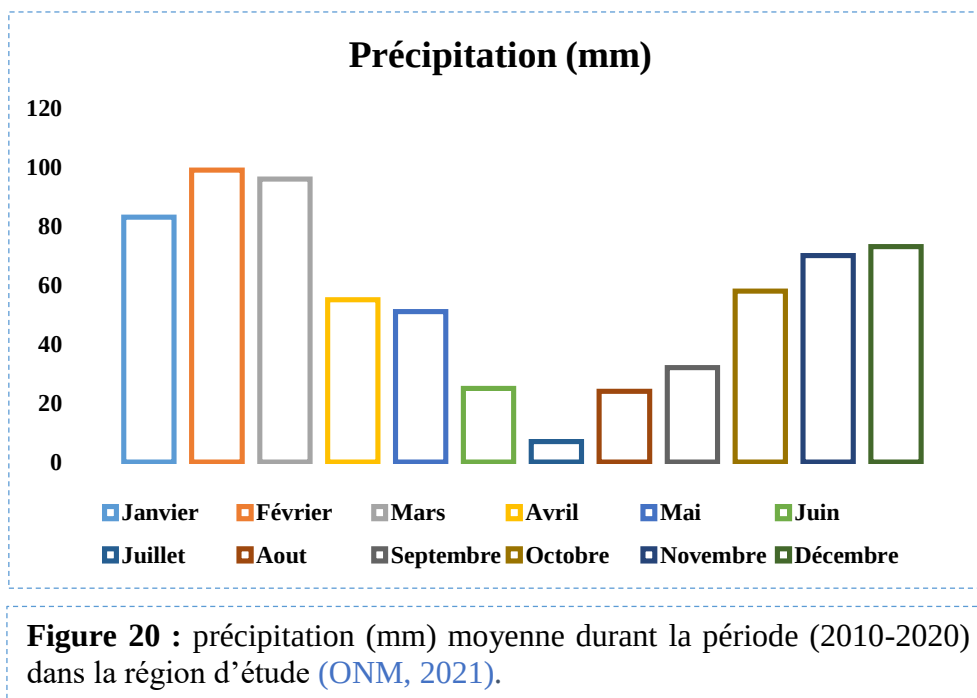
Les précipitations, élément climatique majeur, jouent un rôle crucial dans le cycle hydrologique en influençant le débit saisonnier des cours d'eau et la recharge des nappes aquifères (ONM, 2017).

Tableau 16 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Précipitation (mm)	83	99	96	55	51	25	7	24	32	58	70	73

L'analyse des données collectées à partir de la station météorologique de Mila révèle que la région étudiée reçoit en moyenne environ 673 mm de précipitations annuelles. Toutefois, la répartition de ces précipitations est irrégulière, comme le montre le Tableau 16. Les plus fortes précipitations sont enregistrées entre février et mars, tandis que les mois de juillet et août

connaissent des quantités de pluie relativement faibles, les plus basses de l'année (mois les plus secs).



1.3.3. Diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique

D'après Bagnouls et Gaussen (1957), une période de sécheresse survient lorsque les courbes de température et de précipitations se croisent. Ce concept est illustré par la construction d'un graphique pluviométrique où les températures sont représentées à une échelle deux fois plus grande que celle des précipitations (Aouissi, 2010).

Tableau 17 : variation de précipitation et température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fève	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T (c°)	8.9	9.0	11.3	14.5	17.7	23.4	28.6	26.3	22.3	18.7	13.2	9.7
PP (mm)	83	99	96	55	51	25	7	24	32	58	70	73

Selon le diagramme ombrothermique établi (fig. 21) à partir des données de température et de précipitations de la station météorologique d'Ain Tine, deux périodes se démarquent :

- Une période de pluie, allant d'octobre à la fin de mai.
- Une période sèche et chaude, s'étendant de la fin de mai à la fin de septembre.

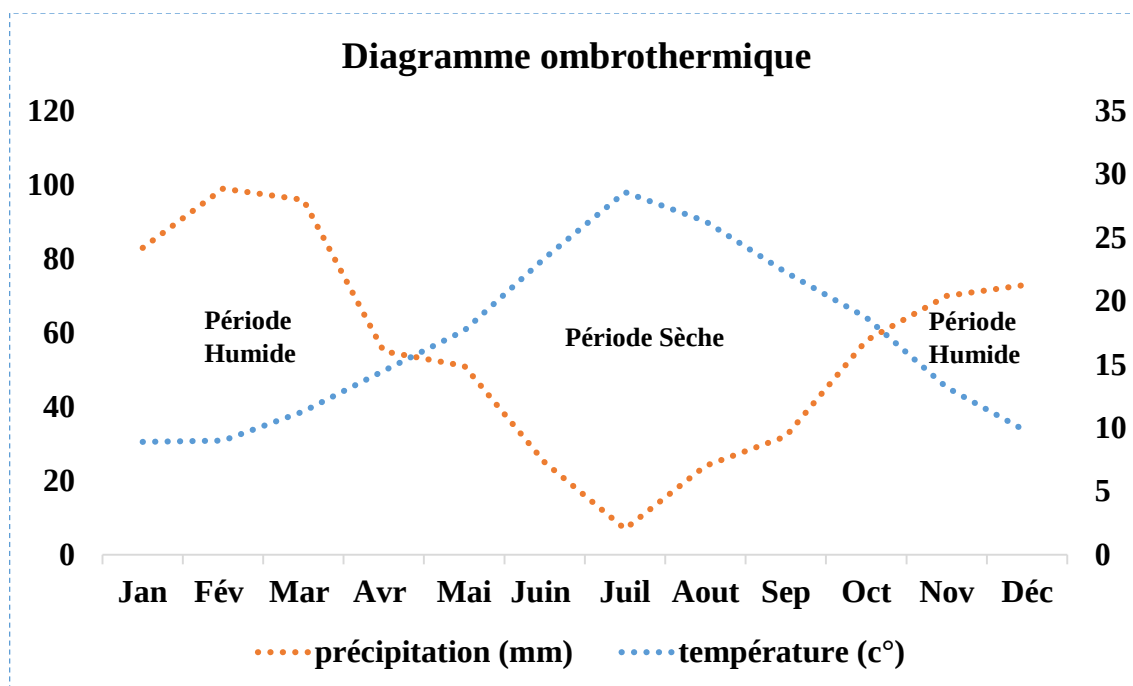


Figure 21 : diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

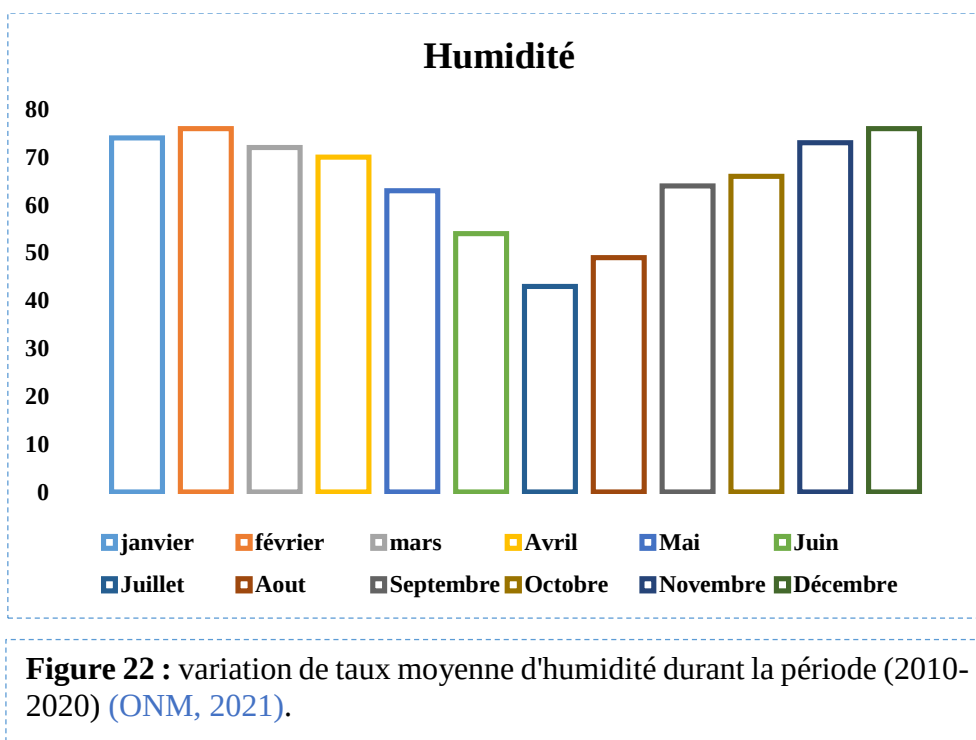
1.3.4. Humidité

L'humidité joue un rôle crucial dans l'analyse des pertes par évaporation dans les barrages (Groga, 2012).

Tableau 18 : taux moyenne d'humidité (%) durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fève	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité	74	76	72	70	63	54	43	49	64	66	73	76

Dans la figure 22, il est noté que le taux d'humidité dans la région d'étude peut atteindre 76 % en décembre et février, tandis que le niveau le plus bas, soit 43 %, est enregistré en juillet.



1.3.5. Vent

Le vent revêt une importance capitale en tant que paramètre climatique majeur, étant donné son rôle essentiel dans le déplacement, la diffusion et la dispersion des polluants de diverses tailles, en raison de ses caractéristiques de direction et de puissance (Melghit, 2009).

Tableau 19 : variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2020) de la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Vent (m/s)	21	22	18	18	17	16	17	21	22	20	23	20

Les relevés des données de vent effectués à la station d'Ain Tine entre 2010 et 2020 (Tableau 19) indiquent que la vitesse du vent culmine en novembre à 23 m/s, tandis qu'elle atteint son minimum en juin, à 16 m/s. Cependant, il est observé que les vitesses du vent demeurent globalement constantes au cours des autres mois.

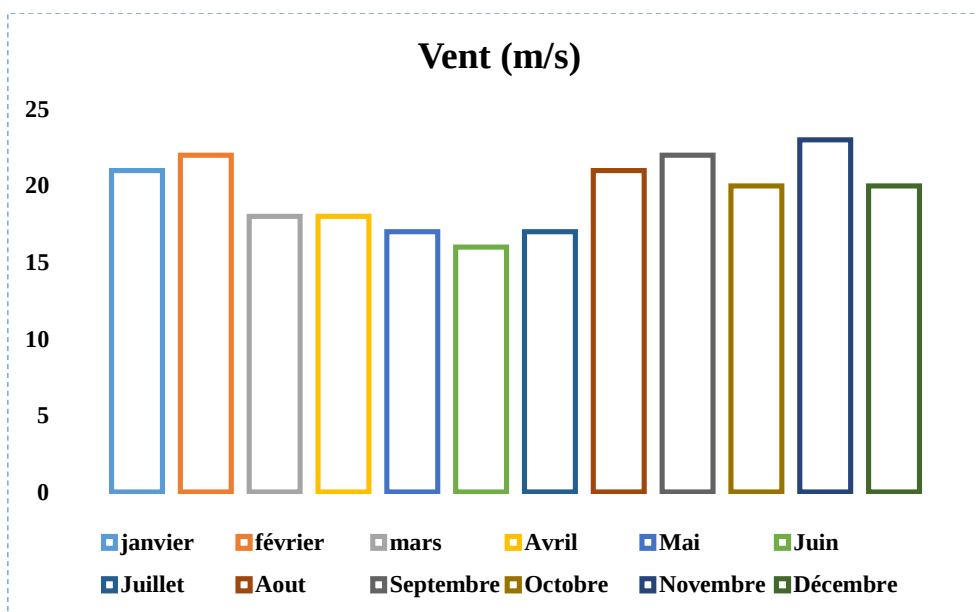


Figure 23 : variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.4. Cadre biotique

1.4.1. La faune

Selon les données de la conservation des forêts de la wilaya de Mila, les mammifères, les reptiles et les poissons présents dans cette zone sont répertoriés dans la figure ci-dessous :

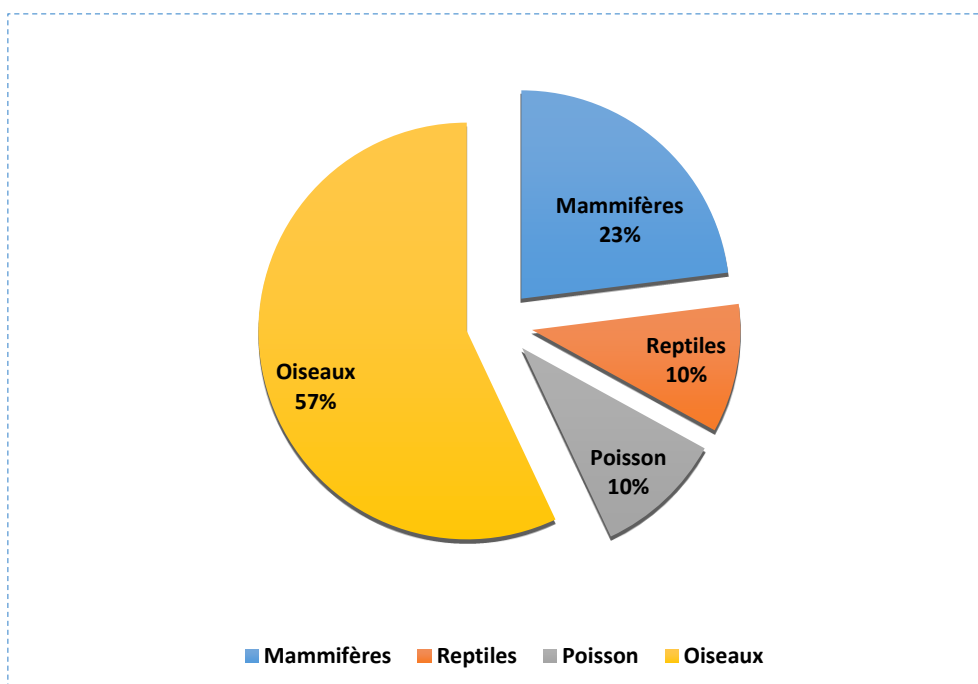


Figure 24 : La diversité faunistique de la région de Mila (CFM, 2018)

1.4.2. L'avifaune

Selon les données de la conservation des forêts, la présence des oiseaux terrestres dans la région de Mila est illustrée dans la figure ci-dessous :

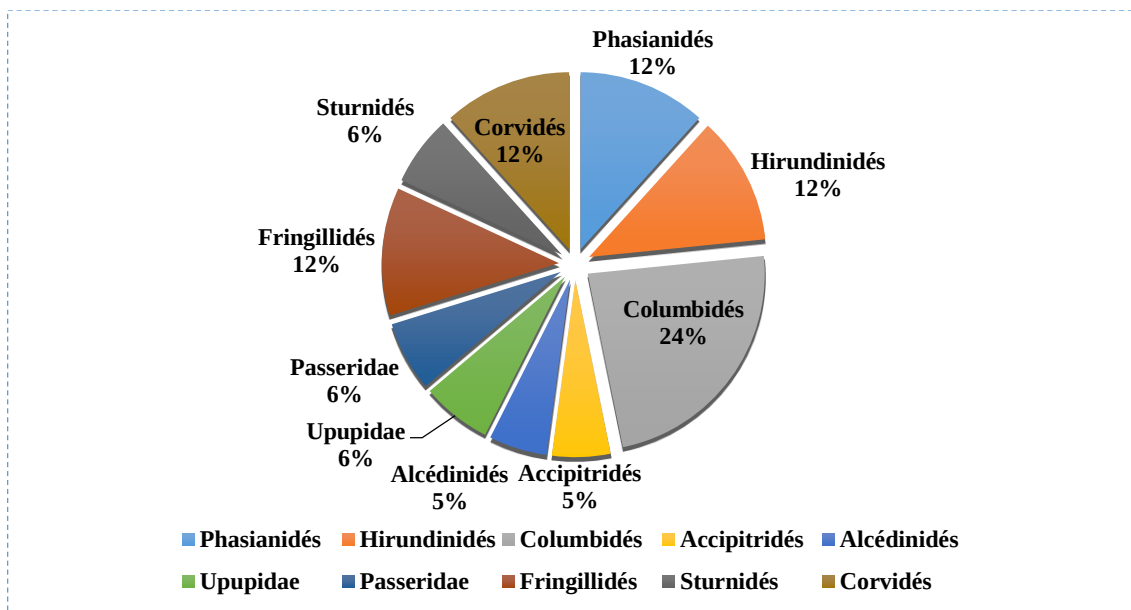


Figure 25 : Liste des espèces des oiseaux terrestres présents dans la région de Mila (Conservation des forêts, 2018)

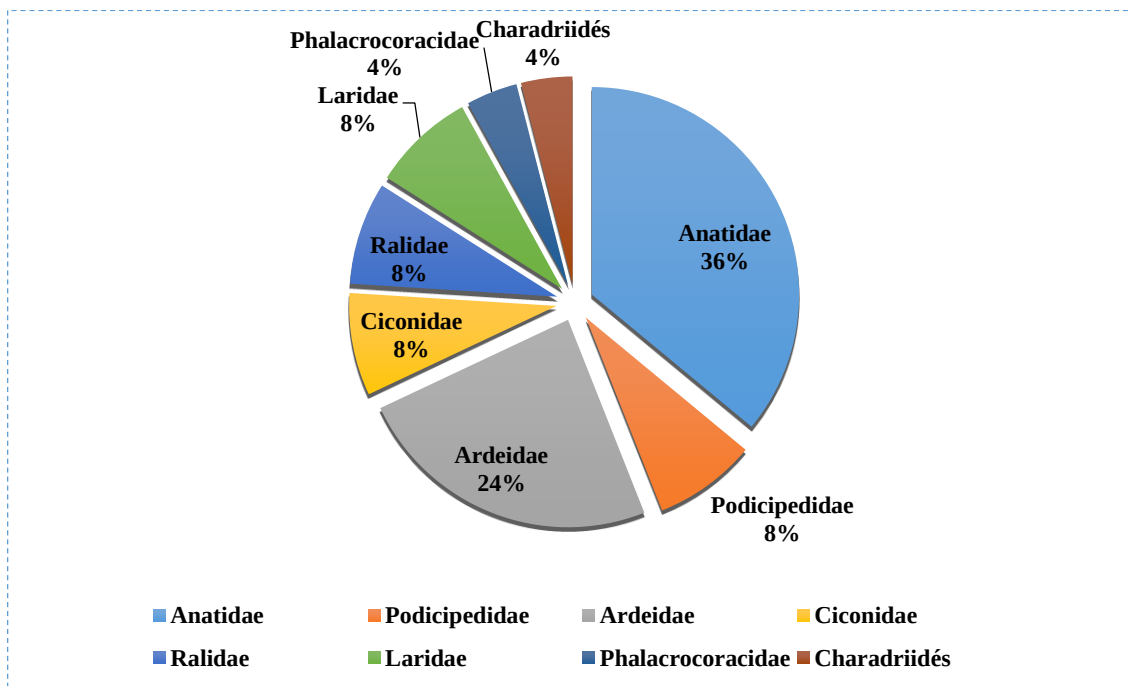


Figure 26 : Liste des espèces avifaunistiques observées au niveau du barrage de Beni Haroun et du barrage Sidi Khelifa (Conservation des forêts, 2018).

1.4.3. La flore

La wilaya de Mila possède une superficie forestière de 3870 hectares, ce qui représente 9,7% de sa superficie totale.

Le pin d'Alep est principalement présent dans les forêts de Ferdjioua, Ain Beida, Bouhatem, Mila, Chelghoum-Laid, Teleghma et Tadjnanet.

Quant au chêne-liège, il prédomine dans les forêts de Grarem, Sidi-Merouane, Tassadane et Tarai-Beinen.

D'autres essences forestières telles que le chêne zeen, le pin pignon et le frêne sont également répertoriées (Conservation des forêts de Mila, 2018).

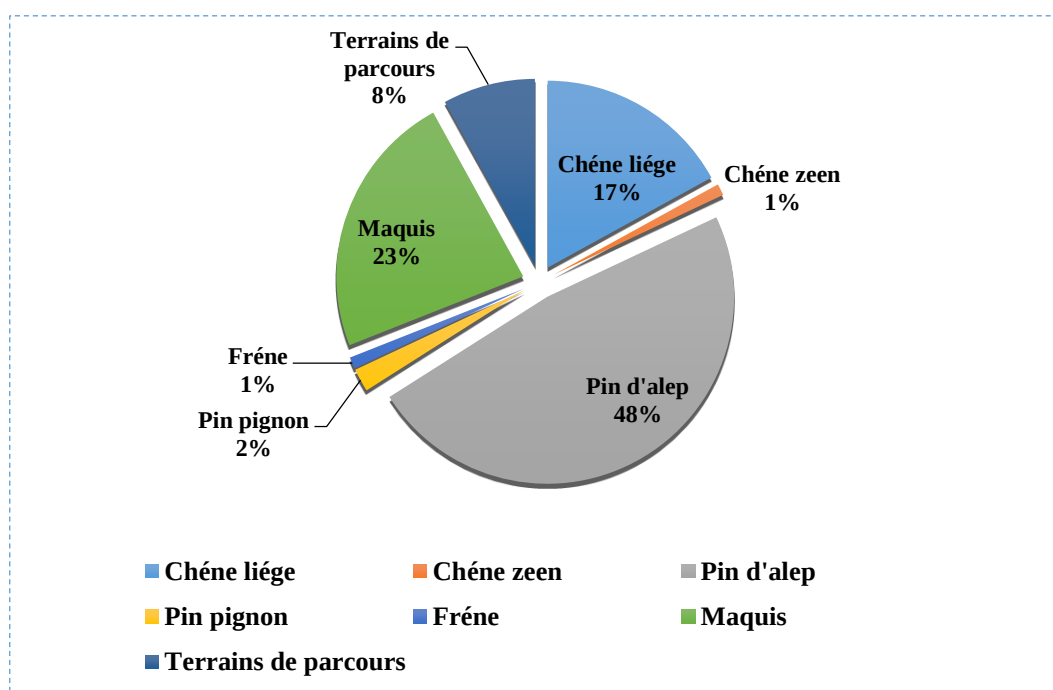


Figure 27 : Différents types des forêts de la wilaya de Mila (Conservation des forêts de Mila, 2018).

2. Présentation du Barrage de Béni-Haroun

2.1. Situation géographique et hydrologie

Le barrage de Béni-Haroun, situé en Algérie (fig. 28), représente la plus grande infrastructure hydraulique du pays et la deuxième en importance sur le continent africain, juste après le barrage d'Al-Sad El-Alli en Egypte (Mebarki, 2005). Occupant une superficie de 5328 km², il englobe plus de 60 % de la superficie totale du Bassin Kébir-Rhumel. Ce bassin est situé dans la région bien irriguée du tell oriental, au sud de laquelle se trouvent d'importants centres urbains tels que Constantine, Batna et Khenchela, ainsi que de vastes terres irrigables dans les hautes plaines semi-arides. Ces dernières dépendent des ressources hydrauliques du barrage, car elles ne peuvent être suffisamment alimentées par les ressources locales (Mebarki, 2005).

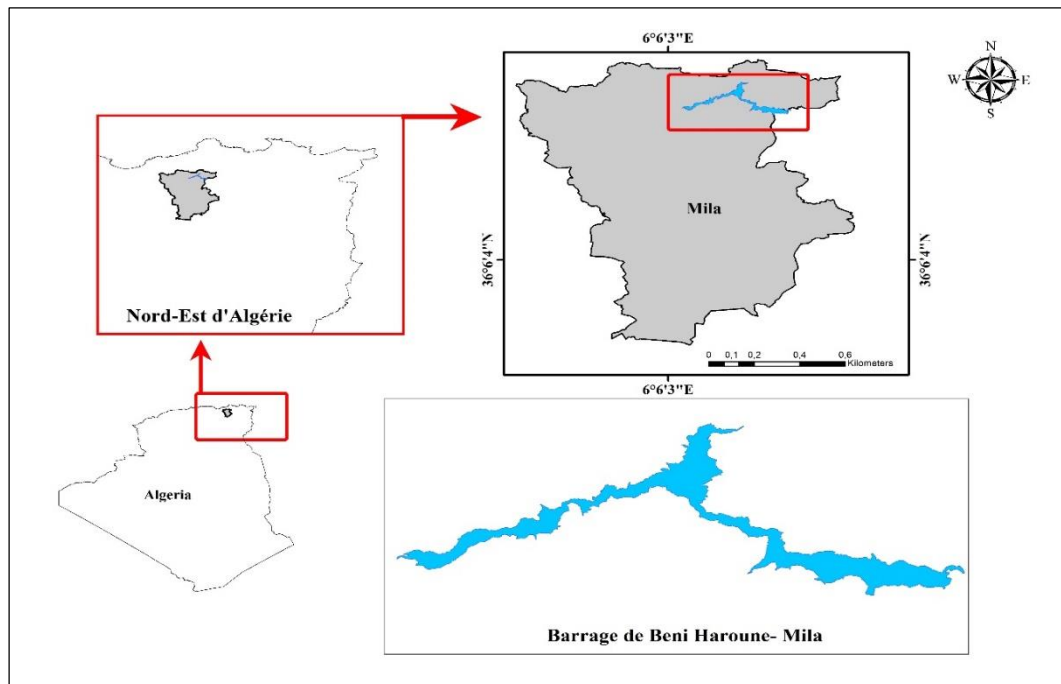


Figure 28 : situation géographique du barrage de Béni-Haroun (Photo originale).

Le barrage de Béni-Haroun se situe sur l'oued el-Kebir dans la Wilaya de Mila, au Nord-Est de l'Algérie, précisément à 36° 33' 19'' Nord et 6° 16' 11'' Est. Il est alimenté par deux bras principaux, à savoir les oueds Rhumel et Endja (Kerdoud, 2006).

Géographiquement, il est délimité par les zones suivantes :

- Au Nord-Ouest et à l'Est, le bassin côtier Constantinois Est et Centre ;
- Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois ;

- À l'Ouest, les bassins de l'Algérois-Hodna-Soummam ;
- À l'Est, le bassin de la Seybouse (Kerdoud, 2006). Cette entité hydrographique est composée de quatre (04) sous-bassins versants (voir tableau 11).

Cette masse d'eau est constituée de quatre (04) sous-bassins versants (Tab. 20).

Tableau 20 : sous bassins et leurs superficies (Kerdoud, 2006).

Sous bassin	Superficie (km ²)
Rhumel Amont	1217
Rhumel-Seguen	1162
Boumerzoug	1868
Rhumel-Smendou	1081
Total	5328

Le barrage présente les caractéristiques suivantes :

- Une digue constituée de 1,9 million de mètres cubes de béton compacté au rouleau (BCR).
- Une hauteur de 114 mètres par rapport au lit.
- Une longueur de crête de 710 mètres.
- Une largeur de crête de 8 mètres.
- Une largeur à la base de 100 mètres.
- Un lac s'étendant sur 35 kilomètres de longueur.
- Un niveau d'eau variable, adapté aux besoins en eau potable et agricole, avec une cote d'exploitation de 200 mètres (Kerdoud, 2006).

2.2. L'intérêt socio-économique du barrage

Le barrage de Beni Haroun représente le plus vaste projet de retenue d'eau en Algérie, couvrant une étendue de lac estimée à 5,328 km² et offrant une capacité de stockage d'environ 960 millions de mètres cube. Sa vocation principale est de répondre aux besoins en eau potable de quatre millions d'habitants répartis dans six wilayas de l'est algérien (Mila, Constantine, Oum El Bouaghi, Jijel, Batna et Khenchela), ainsi que d'irriguer 40,000 hectares de terres

agricoles. De plus, le barrage de Beni Haroun constitue une ressource significative en poissons d'eau douce. Le bassin versant du barrage, couvrant une superficie estimée à 77,725 km², se caractérise par une intense activité agricole, notamment la culture de céréales, de fourrages et de cultures maraîchères (Habila, 2008).

2.3. Caractéristiques hydrographiques du barrage

La localité de Beni Haroun, située dans le bassin versant du Rhumel-Kebir, présente un réseau hydrographique dense, principalement composé de deux grands sous-bassins.

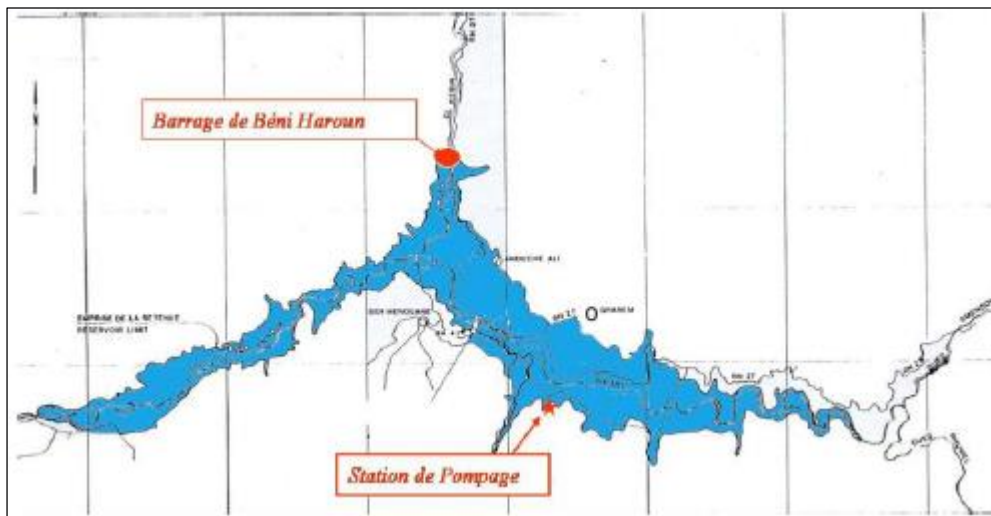


Figure 29 : Positionnement du barrage Beni Haroun (A.N.B., 2007).

Le sous-bassin du Rhumel, long de 170 kilomètres et couvrant une superficie de 5315 kilomètres carrés, prend son origine à environ 1160 mètres dans les marges méridionales du tell, au nord-ouest de Blaa. Il traverse les hautes plaines constantinoises avec une orientation sud-ouest/nord-est jusqu'à Constantine. À ce point, il change brusquement de direction, prenant presque un angle droit pour couler en oblique vers le nord-ouest et se jeter dans l'Oued Endja aux environs de Sidi-Marouane. En cours de route, l'Oued Rhumel reçoit les affluents suivants : Oued Derki, Oued Athménia, Oued Seguin, Oued BouMerzoug, Oued Smendou et Oued El-Kotne.

Le sous-bassin de l'Oued Endja, qui s'étend sur 140 kilomètres et draine une superficie de 2160 kilomètres carrés, prend sa source près de Douar Tassadane, situé au nord-ouest de Ferdjious. Il suit une direction sud-ouest à travers les reliefs montagneux du tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au nord. Les affluents contribuant régulièrement à l'augmentation du débit de cet oued comprennent l'Oued Bouslah, l'Oued Rama, ainsi que les oueds Redjas, Melah et Kebir (Mebarki, 1982).

2.4. Contexte géologique

Le bassin versant Kebir-Rhumel présente une variété de formations géologiques distinctes (voir figure 4). Il comprend les plaines plio-quaternaires et les horsts calcaires des hautes plaines, le bassin néogène principalement constitué d'argiles entre Constantine et Mila, les nappes tectoniques de Djemila composées de marnes et de calcaires marneux, la dorsale kabyle constituée de calcaires du Jurassique, les massifs gréseux numidiens, ainsi que le socle granitique et cristallophyllien de la petite Kabylie à El Milia ([Mebarki, 2005](#)).

2.5. Source de pollution du barrage

2.5.1. Décharges publiques

Les décharges sauvages présentes dans la quasi-totalité des communes, notamment celles de Ferdjioua, Chelghoum Laid et Mila, constituent une source majeure de pollution. Elles reçoivent respectivement en moyenne 10, 30 et 40 tonnes de déchets domestiques par jour. Étant donné que tous les déchets urbains des villes et agglomérations sont déversés dans des décharges non contrôlées situées dans le bassin versant du barrage de Béni Haroun, durant la période hivernale caractérisée par des précipitations importantes, des lexiviats peuvent se former et être transportés vers le lac du barrage via les ruissellements, contribuant ainsi à sa contamination par diverses substances toxiques provenant des décharges ([Habila, 2008](#)).

2.5.2. Les eaux usées domestiques

Toutes les eaux usées provenant des zones urbaines le long du bassin versant du Kebir-Rhumel sont déversées dans les cours d'eau Oued Rhumel et Oued Kébir, qui alimentent principalement le barrage de Beni Haroun. Depuis Belaa, dans la région de Bir El Arch, jusqu'à Tadjenanet, en passant par Oued Segène, Constantine, Mila et Grarem, l'Oued Rhumel transporte les eaux usées vers le lac du barrage de Beni Haroun. Les eaux usées de Constantine sont dirigées vers la station d'épuration (STEP) située à Ibn Ziad, avec une capacité de fonctionnement de 50 à 60 %. L'Oued Kébir traverse les communes de Ferdjioua, Redjas, Zeghaia et Sidi Merouane, transportant ainsi les eaux usées vers le lac du barrage, affectant ainsi la qualité de l'eau ([Mebarki, 2005](#)).

2.5.3. L'eaux usées industrielles

La ville de Constantine est confrontée à une importante quantité d'effluents provenant des industries locales. Ces effluents proviennent des usines de construction mécanique situées à Oued Hamimine et à Ain Smara, ainsi que des unités de textiles et de produits laitiers de Constantine, du complexe tabagique et du dépôt d'hydrocarbures d'El Khroub, de la cimenterie

d'El Hamma, des unités de matériaux de construction et d'autres petites et moyennes industries (P.M.I). Ces déchets sont déversés dans l'Oued Rhumel et son principal affluent, l'Oued Bou Merzoug. De plus, les industries environnantes des agglomérations d'Ain El Kébira (cimenterie, unité de boulonnerie), de Mila (briqueterie, vaissellerie), de Ferjioua (matériel électroménager, minoterie) et de Chelghoum Laid (détergents) contribuent également de manière significative aux rejets polluants ([Mebarki, 2005](#)).

En outre, en plus des sources industrielles mentionnées précédemment, il est crucial de noter la présence de plusieurs unités de transformation du plastique, notamment des installations clandestines de recyclage de batteries de véhicules automobiles dans le bassin versant du barrage de Beni Haroun. Ces installations clandestines peuvent constituer une source significative de pollution des barrages en raison des différentes substances chimiques toxiques qu'elles dégagent, notamment les métaux lourds ([Habila, 2008](#)).

2.5.4. Agriculture

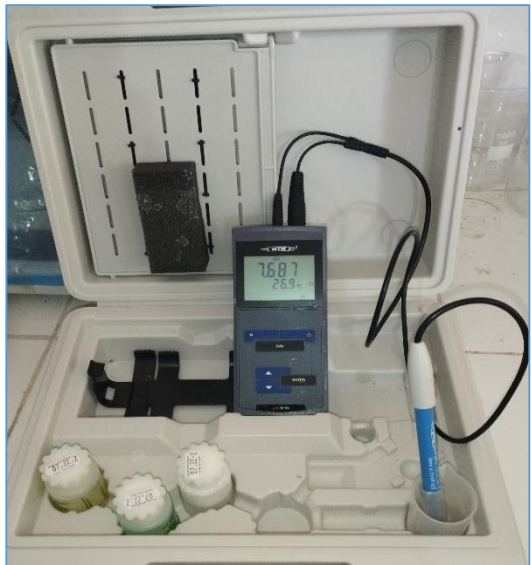
La croissance vigoureuse de l'activité agricole dans la zone du bassin versant du barrage de Beni Haroun, où les terres cultivées représentent 68 % de la superficie totale, risque d'entraîner une pollution importante, incluant des métaux lourds, des éléments nutritifs et des pesticides, vers la retenue du barrage Beni Haroun en raison de l'usage intensif de produits phytosanitaires ([Habila, 2008](#)).

Partie II : Méthodes de prélèvements et d'analyses

1. Matériels et méthodes d'étude hydrologique

1.1. Matériel d'étude

Tableau 21 : Appareillages utilisées pour les mesures des paramètres physicochimiques

Appareillages utilisées pour les mesures des paramètres physicochimiques	
Paramètres	Appareillages
T (°C)	
CE (µs/cm)	
TDS (mg/l)	
Sal (mg/l)	
	Multi-paramètre (Cond7110)
pH	
	pH mètre (Ph3110)

OD (%)



Oxymètre (SensoDirect 150)

Turbidité (NTU)



Turbidimètre (AL255T-IR)

L'absorbance d'une solution homogène
à la longueur d'onde donnée ou sur une
région spectrale donnée



Spectrophotomètre (Libra S22)

1.2. Prélèvement hydrologique

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillonnage se fait par le choix de plusieurs points autour de barrage Beni-Haroun. Huit (8) stations ont été échantillonnées à choix raisonné (Tab. 22) au cours de la période d'étude printemps 2024 (mars, avril et mai 2024) pour mieux suivre les changements de la composition chimiques de l'eau du barrage (N, P, Si, SO₄, Cl et Na...) et les facteurs physiques (TDS, CE...) (fig. 30). Dans chaque site, 1,5 litres d'eau ont été collectées pour l'analyse des éléments chimiques. Les échantillons d'eaux destinés aux analyses sont mis dans des flacons en polyéthylène. La filtration des échantillons s'effectue le jour même de prélèvement, les analyses chimiques se font dans les deux jours qui suivent dans laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux (LSNM) au centre universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila.



Figure 30 : Le prélèvement hydrologique dans le barrage Beni-Haroun (Photo originale).

Tableau 22 : positionnement des stations de prélèvement hydrologique autour du Barrage de Beni-Haroun durant le printemps 2024.

Lieu de prélèvement	Dénomination	Positionnement
S1-Barrage (Sidi Marouan)	S1-(B-Sm)	36°31'58.6"N 6°15'28.6"E
S2-Barrage (Ferdouia)	S2-(B-Fd)	36°30'34.9"N 6°17'59.6"E
S3-Barrage (Medious)	S3-(B-Md)	36°29'51.1"N 6°17'55.0"E
S4-Barrage (Kikaia)	S4-(B-Kk)	36°28'38.5"N 6°20'58.4"E
S5-Barrage (Grarrem)	S5-(B-Gg)	36°29'46.7"N 6°23'24.1"E
S6-Barrage (La Digue)	S6-(B-Di)	36°33'59.2"N 6°16'30.3"E
S7-Barrage (El-Malleh)	S7-(B-EM)	36°29'28.2"N 6°08'12.6"E
S8-Barrage (Oued EL Kebir)	S8-(B-OE)	36°29'51.2"N 6°06'41.3"E

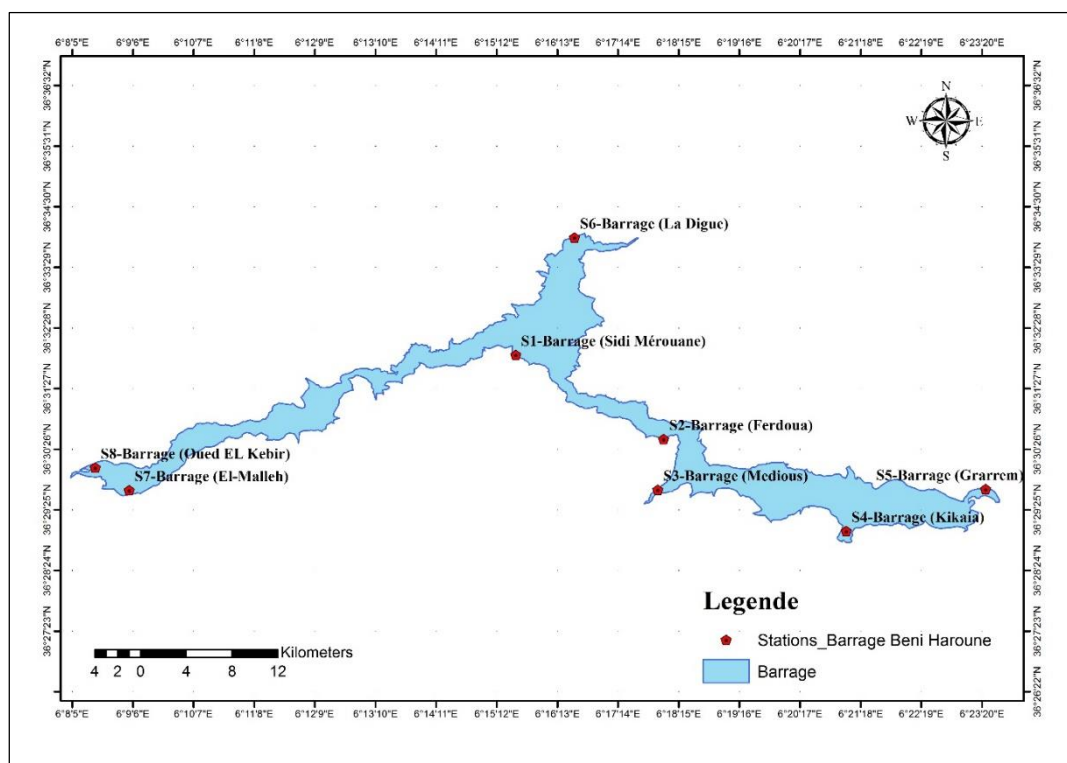


Figure 31 : stations de prélèvement hydrologique dans le Barrage de Beni-Haroun (Janvier, Février et mars 2024) (Photo originale).

1.3. Méthodes d'analyses chimiques

Au laboratoire, après filtration des échantillons à travers des filtres en microfibres de verre Whatman GF/C (0,5 μm de porosité), les nutriments inorganiques ont été déterminés selon les méthodes standards colorimétriques décrites dans les différents manuels d'analyses des eaux (Tab. 23).

Tableau 23 : résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques.

Eléments	Méthodes	Références
Sulfate (SO_4)	Dosage spectrophotomètre ($\lambda = 650\text{nm}$)	Rodier, 1984
Azote ammoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$)	Dosage spectrophotomètre ($\lambda = 630 \text{ nm}$)	Parsons et <i>al.</i> , 1989
Nitrates (NO_3)	Dosage spectrophotomètre ($\lambda = 543 \text{ nm}$)	Parsons et <i>al.</i> , 1989
Nitrites (NO_2)	Réduction des NO_3 en NO_2 et dosage spectrophotomètre des nitrites ($\lambda = 543 \text{ nm}$)	Parsons et <i>al.</i> , 1989

Phosphate (PO_4)	Dosage spectrophotomètre ($\lambda = 885 \text{ nm}$)	Aminot et Chausspied, 1983
Ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4	Dosage spectrophotomètre ($\lambda = 810 \text{ nm}$)	Aminot et Chausspied, 1983

1.3.1 Ammonium (NH_4)

• Principe

La mesure de l'activité ionique de l'ammoniac dans des conditions expérimentales bien définies de concentration en ions et de pH, permet de déterminer la concentration en ammonium dans l'eau.

• Solution et produits utilisés

• Réactif 01 : solution de phénol-nitroprussiate

Pour 500 ml de réactif : dissoudre 17,5 g de phénol et 200 mg de nitroprussiate de sodium dans l'eau distillée et compléter à 500 ml.

• Réactif 02 : solution alcaline d'hypochlorite

Pour 500 ml de réactif : dissoudre 140 g de citrate trisodique et 11 g de soude dans environ 400 ml d'eau distillée, ajouter alors un volume de solution d'hypochlorite de sodium correspondant à 1,4 g de chlore et compléter à 500 ml.

• Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'échantillon directement dans le flacon à réaction.
- Ajouter 3 ml du réactif 1, boucher et agiter pour bien homogénéiser.
- Ajouter sans attendre 3 ml du réactif 2 et agiter à nouveau.
- Placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant une nuit à température ambiante.
- Effectuer les lectures au spectromètre à 630 nm.



Figure 32 : dosage de l'azote ammoniacal (NH_4) (Photo originale).

1.3.2. Sulfate (SO_4)

• Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

• Réactifs et solutions utilisés

- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.
- Solution de Tween 20 à 25 %.
- Solution de chlorure de baryum.

• Mode opératoire

- Mettre 50 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique au 1/10 et 5 ml de solution de chlorure de baryum + Tween 20.
- Préparer dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par l'eau distillée.
- Agiter et laisser reposer 15 min. Agiter à nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.



Figure 33 : Dosage de sulfate (SO_4) (Photo originale).

1.3.3. Silicium (Si(OH)_4)

• Principe

La technique employée implique la formation d'un compound entre le molybdate d'ammonium et les formes monomères ou dimères de l'acide orthosilicique. Le métol réduit ensuite ce compound en un complexe bleu, qui peut être mesuré par spectrophotométrie.

• Réactifs et solutions utilisés**• Réactif 01 : Molybdate**

Pour 500 ml de réactif : dissoudre 4 g de paramolybdate d'ammonium en poudre fine dans environ 300 ml d'eau distillée, ajouter 12 ml d'acide chlorhydrique concentré ($d=1,18$), mélanger et compléter à 500 ml avec de l'eau distillée.

• Réactif 02 : Réducteur

Ce réactif réducteur est obtenu en mélangeant successivement les réactifs ci-dessus dans l'ordre et les proportions suivantes :

- 100 ml de solution de métol-sulfite.
- 60 ml de solution d'acide oxalique.
- 60 ml d'acide sulfurique à 50 %.
- Compléter avec de l'eau distillée pour obtenir 300 ml de solution. Cette solution doit être préparée juste avant utilisation et ne se conserve pas.

• Mode opératoire

- Introduire à la pipette dans trois béchers 5 ml de réactif 1, ajouter 12,5 ml de chaque échantillon, boucher et mélanger et attendre 10 min.
- Ensuite ajouter 7,5 ml de réactif 2 et mélanger à nouveau et attendre 02 h et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 810 nm.



Figure 34 : Dosage de silicium (Si(OH)_4) (Photo originale).

1.3.4. Nitrite (NO_2)**• Principe**

La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec ou en présence de dichlorhydrate N-(1-naphtyl) éthylène diamine donne un complexe coloré pour être susceptible d'un dosage colorimétrique.

- Réactifs et solutions utilisés

- Réactif 1 : solution de sulfanilamide

Pour préparer 500 ml de réactif : diluer 50 ml d'acide chlorhydrique concentré ($d=1,18$) dans environ 300 ml d'eau distillé.

Dissoudre 5 g de sulfanilamide dans cette solution et compléter à 500 ml.

Réactif 2 : solution de N-naphtyl-éthylendiamine

Dans 500 d'eau distillée, dissoudre 0,5 g de dichlorhydrate de N-(1-naphtyl) –éthylènediamine (NED).

Mode opératoire

- Introduire 50 ml de chaque échantillon dans trois béchers, ajouter 1 ml de réactif 1, mélanger et laisser reposer 8 min au maximum.
- Ajouter 1 ml de réactif 2 et mélanger à nouveau et attendre 10 min- 02 h, et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 543 nm.



Figure 35 : dosage des nitrites (NO_2) (Photo originale).

1.3.5. Nitrate (NO_3)

- Principe

Les nitrites présents naturellement dans les eaux sont principalement issus de l'impact des eaux qui s'écoulent sur les sols du bassin versant (Bremond et Vuichard, 1973). Ce processus résulte de la décomposition naturelle de la matière organique azotée, telle que les protéines (d'origine animale et végétale) et les excréments animaux, par des micro-organismes, qui se transforment en ions ammonium, puis en nitrates grâce à l'oxydation ou la nitrification. Par conséquent, la présence de nitrites dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote (Schuddeboom, 1993).

- **Réactifs et solutions utilisés** : sont les mêmes réactifs de dosage de nitrite.

- **Mode opératoire**

- Passer 50 ml d'eau à analyser une à une de chaque échantillon à l'intérieur de la colonne qui contenant du Cadmium, ensuite ajouter 1 ml de réactif 1, mélanger et laisser reposer 8 min au maximum.

- Ajouter 1 ml de réactif 2 et mélanger à nouveau et attendre 10 min-02 h, et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 543 nm.



Figure 36 : dosage des nitrates (NO_3) (Photo originale).

1.3.6. Chlorure (Cl)

- **Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

- **Solution et produits utilisé**

- L'acide nitrique

- Carbonate de calcium (poudre)

- Solution de chromate de potassium 10% : dissoudre 2,5 g de chromate de potassium dans 25 ml d'eau distillé

- Solution de nitrate d'argent 0,1 N : dissoudre 4,21 g de nitrate d'argent dans 250 ml d'eau distillé

- **Mode opératoire**

- Introduire 100 ml de l'échantillon dans un Becher, Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique, ajouter 3 gouttes d'indicateur de chromate de potassium, et titrer la solution goutte à goutte

de solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rouge et noter les volumes.



Figure 37 : Dosage De Chlorure (Cl) (Photo originale).

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.

$V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

1.3.7. Sodium (Na^+)



1.3.8. Phosphate (PO_4)

• Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des ortho phosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium

• Solution et produits utilisé

- Solution de molybdate d'ammonium
- Solution d'acide ascorbique
- Solution d'oxytartrate de potassium et d'antimoine

- Solution d'acide sulfurique
- **Mode opératoire**
 - Préparer le mélange des réactifs : mettre 50 ml de solution de molybdate d'ammonium, ajouter 125 ml d'acide sulfurique, 50 ml d'acide ascorbique et 25 ml d'oxytartarate de potassium et d'antimoine.
 - Dans des béchers, mettre 50 ml de chaque échantillon et ajouter 5 ml de mélange de réactifs, attendre 5 min.
 - Effectuer les lectures au spectromètre à 650 nm.



Figure 38 : dosage des phosphates (PO_4) (Photo originale).

2. Matériel et méthode d'étude planctonique

2.1. Matériel d'étude

Tableau 24 : Matériel d'échantillonnage et d'observation planctoniques.

Matériel d'échantillonnage et d'observation planctoniques	
Phytoplancton et Zooplancton	
	Filet a plancton

observer les espèces sur la lames dans
un goutte d'échantillons



Microscope OPTIKA

2.2. Les méthodes de prélèvement du plancton

Afin d'obtenir des données d'ordre qualitatives et quantitatives de la communauté planctonique, le prélèvement consiste à réaliser un échantillon représentatif d'une colonne d'eau. Un volume constant (50 litres d'eau naturelle de surface) est filtré par un filet à plancton (filet de soie à mailles 5 μ m de diamètre. Il est constitué par un cylindre de 30 cm de diamètre pour une longueur de 45 cm, ce filet se termine par une bouteille de collecte d'échantillon) ; on prend juste 50 ml de cette eau filtrée, qui sera fixée pour une investigation microscopique ultérieure, est nécessaire d'ajouter le lugol au flacon contenant l'échantillon d'eau à traiter, quelques gouttes sont ajoutées pour 50 ml d'eau. Il faut étiqueter chaque flacon d'eau, en indiquant des données comme le lieu, l'heure, la date, et le site du prélèvement.



Figure 39 : le prélèvement du plancton dans le barrage Beni-Haroun (Photo originale).

2.3. Les méthodes d'étude du plancton

Au laboratoire, Les échantillons de plancton qui sont fixes au lugol doivent être conservés dans des récipients à l'obscurité et au frais (entre 4 et 10 °C), ([Druart et Rimet, 2008](#)).

2.4. L'identification du phytoplancton et Zooplancton

L'observation des caractères morpho-anatomiques (la forme de la colonie ou du trichome ainsi que la taille et la couleur) représente les clés d'identification de différents genres. Les Observations du phytoplancton et Zooplancton ont été effectuées à l'aide d'un microscope optique, en utilisant l'objectif (Gr x 40 et x 10 selon la taille d'espèce). La détermination de toutes les espèces observées s'est arrêtée au niveau des genres en se basant sur :

- Freshwater Algae Identification and Use as Bioindicators Edward G. Bellinger Environmental Science and Policy, Central European University, Hungary and David C. Sigeo Manchester University, UK ;
- Guide Méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées ;
- Algues d'eau douce de la Nouvelle Calédonie recueillies par la Missibn F. Starmühlner en 1965 (Diatomées exclues) ;
- Guide d'identification des fleurs d'eau de cyanobactéries ;
- www.algaebase.org ;
- www.algalwebofc.github.io ;
- www.nordicmicroalgae.org ;
- <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en> ;
- <http://www.imas.utas.edu.au/zooplankton/image-key/copepoda> ;
- <http://www.biodiversitylibrary.org/>;

CHAPITRE III :

« Résultats et discussion »



1. Les résultats physico-chimiques

1.1. Les Paramètres physiques

Les résultats des paramètres physiques mesurés dans le barrage de Beni-Haroun, situé à Mila, montrent des variations significatives entre les huit stations examinées (Tab. 25). Ces variations ont des implications importantes pour la gestion de la qualité de l'eau et pour les écosystèmes aquatiques locaux.

Tableau 25 : variations des paramètres physiques dans les stations examinées dans le barrage de Beni-Haroun au cours de la période d'étude printemps 2024.

Sites	conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Salinité (mg/l)	Turbidité (NTU)	TDS (mg/l)	OD (%)	T ($^{\circ}\text{C}$)
S 1 (B-Sm)	964	8,5	0,5	5,5	1057	30,5	13,9
S 2 (B-Fd)	950	8,08	0,5	7,42	1047	37,5	14
S 3 (B-Md)	955	8,22	0,5	6,95	1032	37,7	15,5
S 4 (B-Kk)	987	8,8	0,5	24,2	1066	15	19,8
S 5 (B-Gg)	1043	9,14	0,5	101	1128	49,9	24,2
S 6 (B-Di)	928	8,8	0,5	6,03	1012	7,8	25
S 7 (B-EM)	1028	8,6	0,5	13,4	1114	7,7	22,1
S 8 (B-OE)	1255	8,3	0,7	18,6	1360	4,7	23,3

Les valeurs de conductivité varient de 928 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 1255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et les TDS de 1012 mg/l à 1360 mg/l , avec les valeurs les plus élevées observées à la station S 8 (1360 mg/l) (Tab. 25). Ces mesures sont des indicateurs de la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau. Une augmentation de ces valeurs peut indiquer une pollution par des rejets agricoles ou industriels, affectant potentiellement la faune et la flore aquatiques.

Le pH varie de 8,08 à 9,14 (Tab. 25), indiquant que l'eau est généralement basique. Le pH élevé à la station S 5 (9,14) pourrait résulter de processus naturels comme la dissolution de carbonates, mais pourrait aussi signaler une contamination alcaline. Un pH inapproprié peut affecter la solubilité et la toxicité des composés chimiques dans l'eau, ayant des répercussions sur la vie aquatique.

La salinité reste constante à 0,5 mg/l pour la majorité des stations, sauf pour S 8 (0,7 mg/l) où elle atteint 0,7 mg/l . Bien que ces valeurs soient relativement faibles (Tab. 25), une augmentation même mineure peut être significative pour des écosystèmes sensibles à la salinité.

La turbidité présente des variations notables, de 5,5 NTU à 101 NTU (Tab. 25). Une turbidité élevée, observée notamment à la station S 5 (101 NTU), peut être causée par des particules en suspension et est souvent un indicateur de ruissellement ou d'érosion. Cela peut limiter la pénétration de la lumière dans l'eau, réduisant ainsi la photosynthèse et affectant la chaîne alimentaire aquatique.

Les pourcentages d'oxygène dissous varient grandement, allant de 4,7 % à 49,9 % (Tab. 25). Les faibles niveaux à S 8 (4,7 %) et S 7 (7,7 %) pourraient indiquer une eutrophisation ou une dégradation de la qualité de l'eau, nuisant aux organismes aquatiques qui dépendent de niveaux suffisants d'oxygène.

La température de l'eau varie de 13,9 °C à 25 °C (Tab. 25). Des températures élevées, comme celles observées à S 6 (25 °C) et S 5 (24,2 °C), peuvent augmenter la vitesse de décomposition biologique, influençant ainsi les niveaux d'oxygène et la vie aquatique.

1.2. Les Paramètres chimique

1.2.1. Distribution des concentrations en ammonium (NH₄) dans le barrage de Béni-Haroun

L'ammonium représente une source d'azote essentielle pour la croissance des organismes planctoniques. Cependant, des concentrations élevées peuvent avoir des effets néfastes sur la composition et la diversité du plancton, ainsi que sur sa dynamique. Le barrage de Beni Haroun constitue un écosystème aquatique complexe où la présence d'ammonium (NH₄) joue un rôle crucial dans la structure et la dynamique du plancton. Les résultats obtenus mettent en évidence une variation significative de la concentration d'ammonium dans différentes stations du barrage, allant de 0,03 à 0,23 mg/l, avec une moyenne d'environ 0,13 mg/l (fig. 40). Les valeurs élevées d'ammonium, telles qu'observées dans les stations S5 (B-Gg) et S7 (B-EM), dont les concentrations varient entre 0,21 et 0,23 mg/l respectivement, peuvent favoriser la croissance excessive d'algues et de cyanobactéries. Cette prolifération peut entraîner une diminution de la disponibilité en lumière et en nutriments pour d'autres organismes planctoniques, perturbant ainsi l'équilibre écologique de l'écosystème.

D'autre part, les concentrations plus faibles d'ammonium, comme celles mesurées à la station S1 (B-Sm), peuvent limiter la croissance du plancton, ce qui peut avoir des répercussions sur la chaîne alimentaire et la biodiversité globale de l'écosystème. La variation spatiale des concentrations d'ammonium dans le barrage de Beni Haroun reflète probablement

des différences dans les sources de pollution, les apports en eau douce et les processus de décomposition biologique. Comprendre ces variations est crucial pour une gestion efficace de la qualité de l'eau et la préservation de la biodiversité dans le barrage.

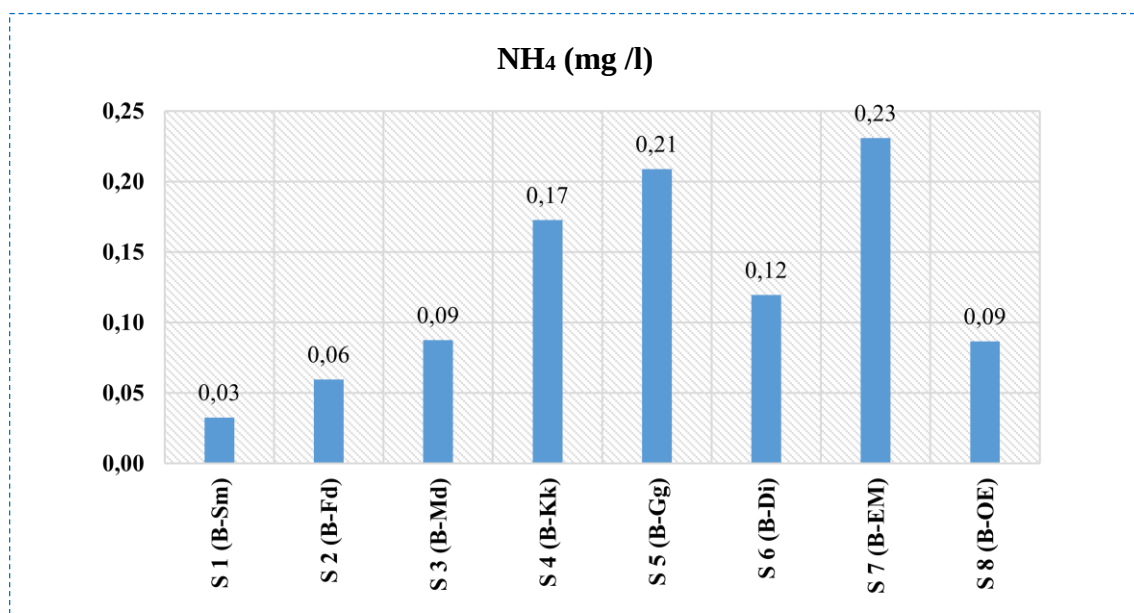


Figure 40 : Distribution des teneurs en azote ammoniacal dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.2. Distribution des concentrations en nitrite (NO₂) dans le barrage de Béni-Haroun

L'analyse des données sur les nitrites dans le barrage de Beni Haroun révèle une variation significative de leur concentration, allant de 0,14 à 1,26 mg/l, avec une moyenne de 0,46 mg/l (fig. 41). Cette diversité de valeurs témoigne de l'influence de divers facteurs sur la présence de nitrites dans le milieu aquatique. Les nitrites, souvent issus de la décomposition de matières organiques ou de processus de nitrification, peuvent avoir un impact important sur la structure et la dynamique du plancton dans les écosystèmes aquatiques. Leur présence en quantités excessives peut perturber l'équilibre écologique en favorisant la croissance d'algues nuisibles au détriment d'autres espèces de plancton, ce qui peut entraîner une diminution de la biodiversité.

Dans le cas spécifique du barrage de Beni Haroun, les valeurs relativement élevées de nitrites relevées dans certaines stations, telles que la station S5 où la concentration de nitrite atteint jusqu'à 1,26 mg/l, pourraient indiquer une pollution organique plus importante dans ces zones. Cette situation pourrait également influencer la composition et l'abondance du plancton. En revanche, des concentrations plus faibles, comme celles observées à la station S6 (0,14

mg/l), peuvent refléter des conditions environnementales plus favorables ou une activité microbienne plus efficace dans la décomposition des nitrites.

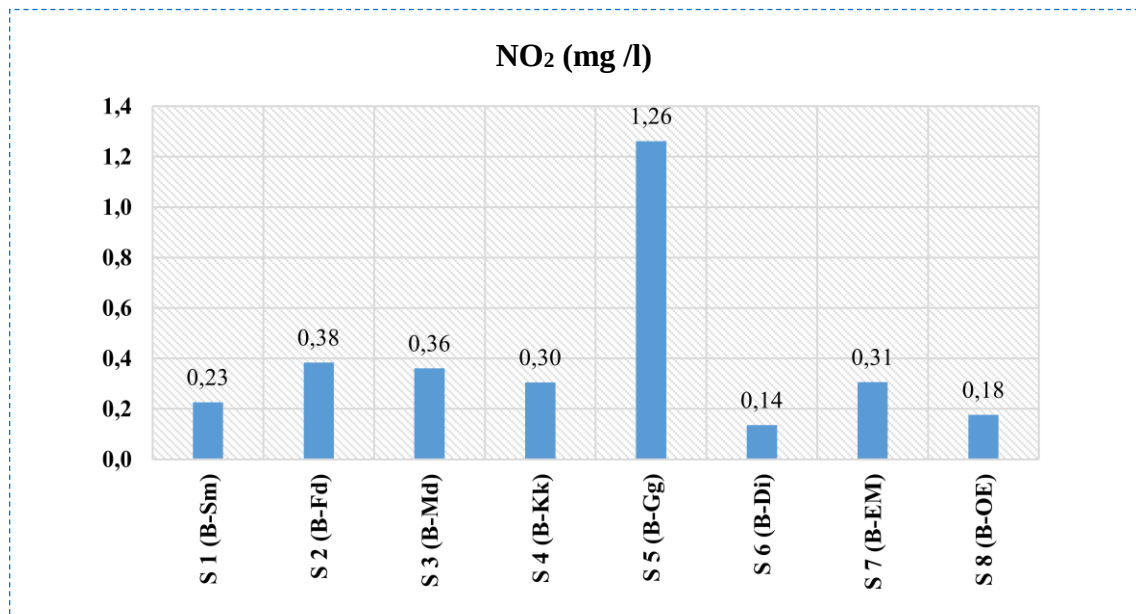


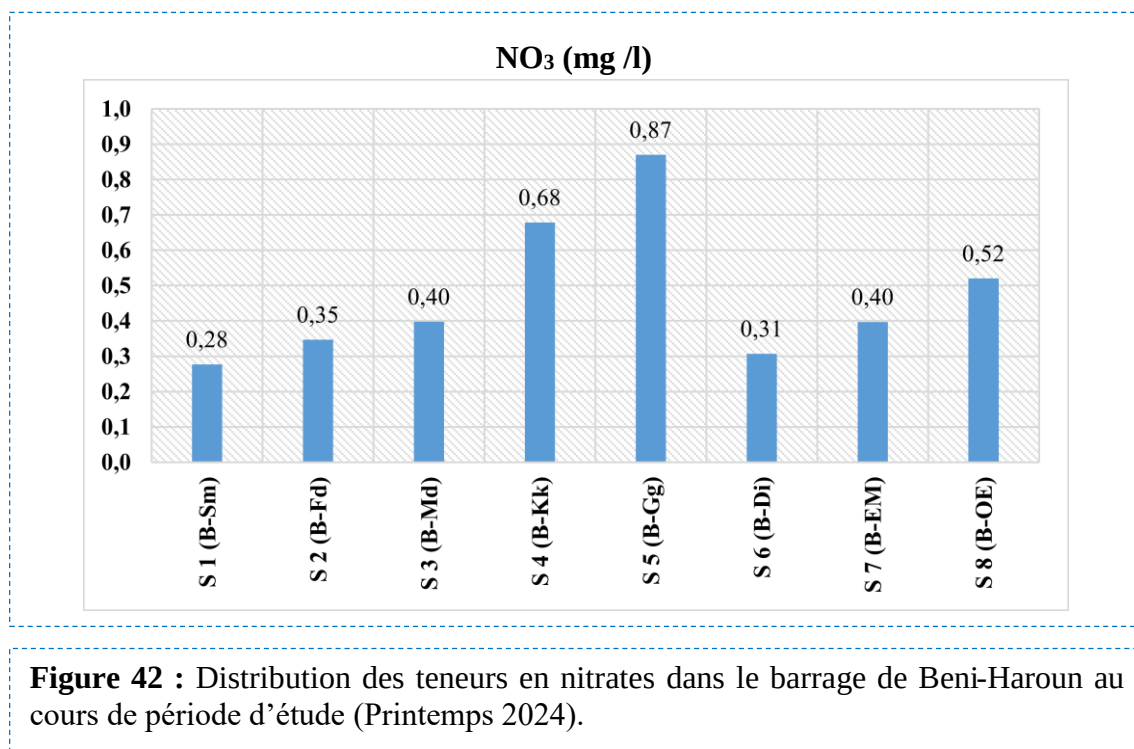
Figure 41 : Distribution des teneurs en nitrites dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.3. Distribution des concentrations en nitrate (NO_3) dans le barrage de Béni-Haroun

Pendant la période d'étude au printemps 2024, les niveaux de nitrate dans le barrage de Beni Haroun ont révélé des variations significatives de la concentration de NO_3 dans toutes les stations étudiées. Les valeurs ont oscillé entre 0,28 mg/l et 0,87 mg/l, avec une moyenne de 0,49 mg/l (fig. 42). Ces données témoignent de la présence de nutriments essentiels pour la croissance du plancton, mais également de possibles fluctuations dues à des facteurs environnementaux ou anthropiques. Les niveaux élevés de nitrate, particulièrement observés à la station S5 (0,87 mg/l), peuvent favoriser la prolifération du plancton, en particulier des espèces phytoplanctoniques. Ces microorganismes photosynthétiques sont souvent limités par la disponibilité en nutriments, notamment en azote sous forme de nitrate. Ainsi, une concentration élevée en nitrate peut stimuler la croissance du phytoplancton, entraînant une augmentation de la biomasse et de la diversité du plancton dans le barrage.

Cependant, une concentration excessive de nitrate peut également conduire à des phénomènes d'eutrophisation, caractérisés par une prolifération excessive de plancton, pouvant entraîner des déséquilibres écologiques et des problèmes de qualité de l'eau tels que la diminution de l'oxygène dissous. D'autre part, les variations de la concentration de nitrate

peuvent également influencer la composition spécifique du plancton. Certaines espèces de plancton peuvent être plus compétitives dans des conditions de concentration élevée en nitrate, tandis que d'autres peuvent être favorisées dans des conditions de faible concentration. Ainsi, les variations spatiales de la concentration de nitrate dans le barrage de Beni Haroun peuvent contribuer à la structuration des communautés planctoniques en favorisant certaines espèces aux dépens d'autres.



1.2.4. Distribution des concentrations en NID dans le barrage de Béni-Haroun

En terme d'azote inorganique dissous (NID), on observe que les sites S5 (B-Gg) et S4 (B-Kk) ont les concentrations les plus élevées, avec des valeurs de 2,83 mg/l et 1,09 mg/l respectivement et avec une moyenne de l'ordre de 1,07 mg /l (fig. 43). En contraste, les sites S6 (B-Di) et S1 (B-Sm) affichent les concentrations de NID les plus faibles, avec seulement 0,54 mg/l et 0,57 mg/l respectivement. Cette faible disponibilité de nutriments peut influencer la composition et l'abondance du plancton, en limitant potentiellement sa croissance dans ces zones. L'influence de ces variations de NID sur la structure et la dynamique du plancton dans le barrage de Beni Haroun est significative. Les sites avec des concentrations plus élevées de nutriments peuvent favoriser la prolifération de certaines espèces de phytoplancton, conduisant à des blooms algaux et à des changements dans la composition taxonomique du plancton. En revanche, les zones avec des niveaux plus bas de NID peuvent favoriser des communautés

planctoniques différentes, caractérisées par des espèces adaptées à des conditions plus oligotrophes.

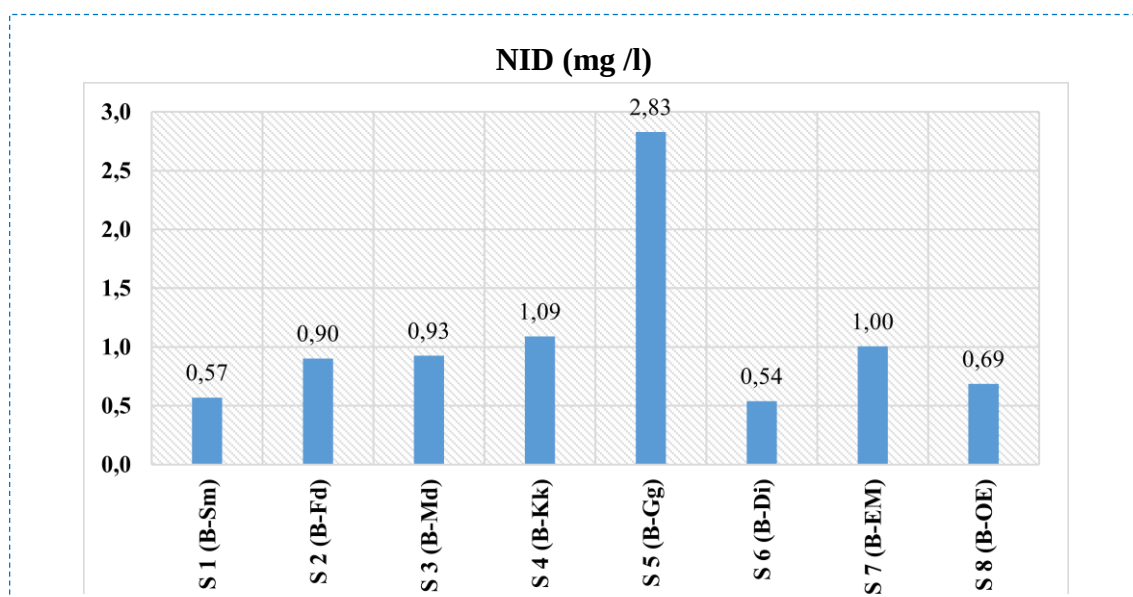


Figure 43 : Distribution des teneurs en NID dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.5. Distribution des concentrations en phosphate (PO_4) dans le barrage de Béni-Haroun

Les résultats obtenus concernant les phosphates dans le barrage de Beni Haroun révèlent une variation significative de la concentration en PO_4 à travers toutes les stations. Les valeurs observées s'étendent de 0,01 à 0,72 mg/l, avec une moyenne globale de 0,18 mg/l (fig. 44). Ces données démontrent des fluctuations notables de la concentration de phosphate d'une station à l'autre, une variabilité qui peut être influencée par divers facteurs. Parmi ceux-ci, on compte les apports de nutriments provenant des eaux de ruissellement agricoles, des activités urbaines et industrielles, ainsi que des processus naturels tels que la décomposition des matières organiques. Ces fluctuations peuvent directement affecter la composition et la dynamique du plancton dans le barrage en altérant la disponibilité des ressources nutritives et en influençant la compétition entre les espèces planctoniques.

Par ailleurs, les concentrations les plus élevées en phosphore ont été enregistrées dans la station (B-Md), atteignant jusqu'à 0,72 mg/l, ce qui témoigne de l'exposition accrue de cette station aux apports anthropiques (fig. 44). Cependant, il convient de souligner que des concentrations excessives de phosphate peuvent avoir des conséquences néfastes. Par exemple, l'eutrophisation peut résulter de l'excès de nutriments tels que le phosphate, favorisant la

prolifération de certaines espèces de plancton au détriment d'autres et perturbant ainsi l'équilibre écologique de l'écosystème aquatique. De plus, une forte concentration de phosphate peut encourager la croissance d'algues nuisibles, entraînant une dégradation de la qualité de l'eau et des problèmes environnementaux tels que les marées vertes.

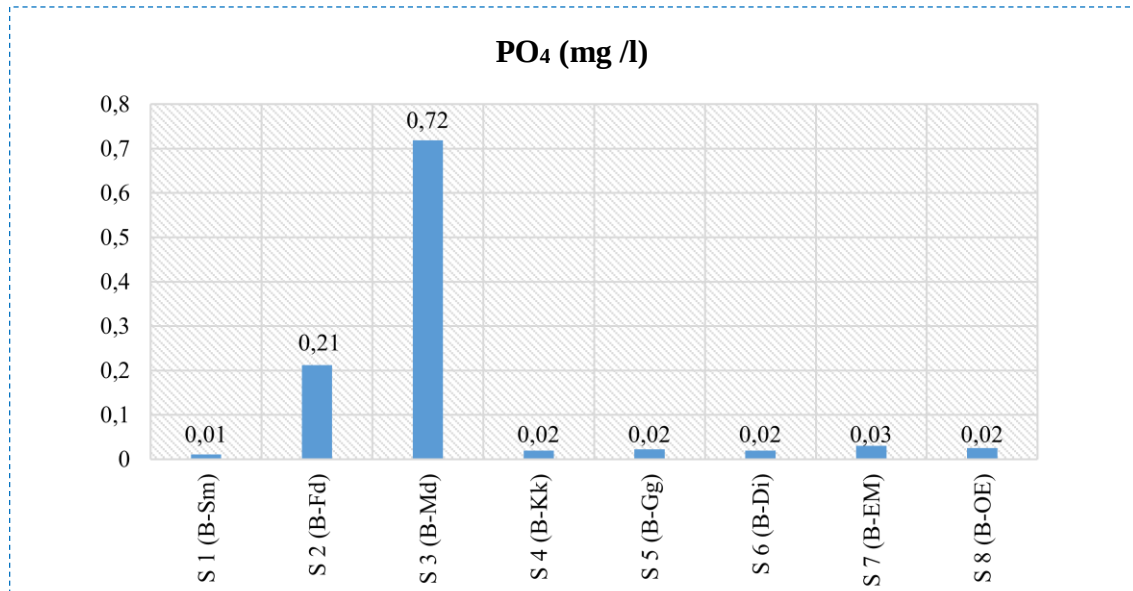


Figure 44 : Distribution des teneurs en ortho-phosphates dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.6. Distribution des concentrations en silicium (Si(OH)_4) dans le barrage de Béni-Haroun

Les résultats obtenus en termes de silicium au cours de la période d'étude dans le barrage de Beni Haroun révèlent des variations significatives dans la concentration de Si(OH)_4 à différents sites (S1 à S8). Ces données fournissent des informations précieuses sur l'influence potentielle du silicium sur la structure et la dynamique du plancton dans cet environnement aquatique. Les résultats montrent une variabilité dans les concentrations de silicium, allant de 0,14 mg/l à 7,79 mg/l (fig. 45). Ces variations pourraient être dues à plusieurs facteurs, tels que les apports externes de silicium provenant des eaux de ruissellement, des processus géochimiques dans le barrage, ainsi que des activités anthropiques dans la zone environnante. Les sites présentant des concentrations plus élevées de silicium, comme les stations S7 et S8, peuvent favoriser la croissance des diatomées et d'autres organismes planctoniques qui dépendent fortement du silicium pour leur développement. En revanche, les sites avec des concentrations plus faibles, tels que les stations S4 et S5, peuvent également être moins

favorables à la croissance des organismes planctoniques siliceux, ce qui peut influencer la structure et la composition globale du plancton dans ces zones.

De plus, les variations saisonnières et les conditions environnementales locales peuvent également jouer un rôle important dans la dynamique du silicium et son impact sur le plancton. Par exemple, les périodes de fortes pluies peuvent entraîner des pics de concentration de silicium en raison du lessivage accru des sols environnants, tandis que les périodes de sécheresse peuvent réduire les apports de silicium dans le barrage.

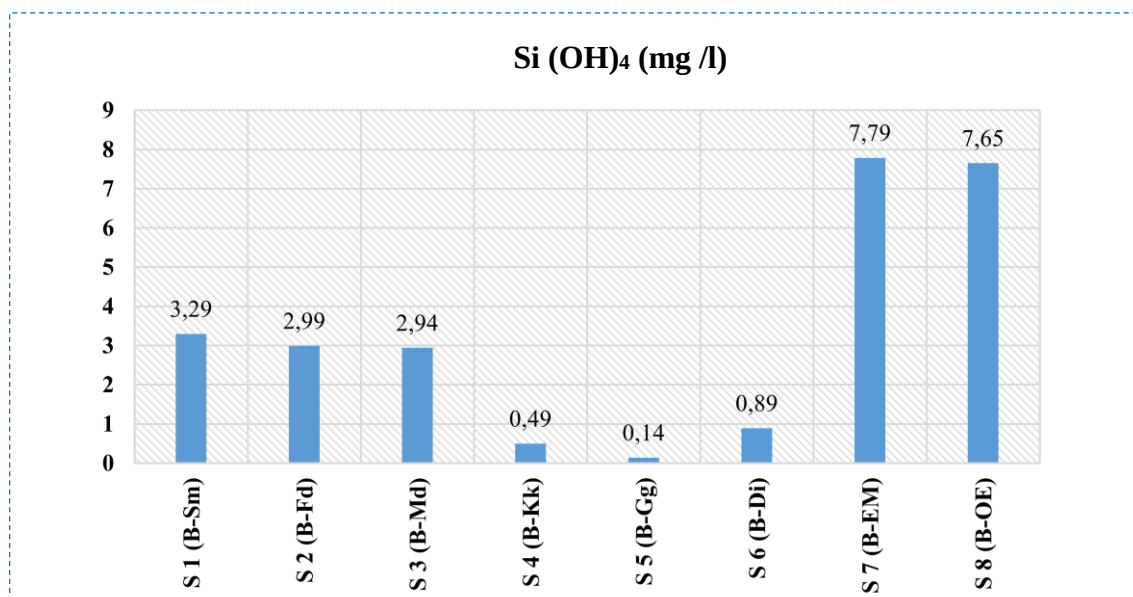


Figure 45 : Distribution des teneurs en ortho-silicates dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.7. Distribution des concentrations en sulfate (SO₄) dans le barrage de Béni-Haroun

Les teneurs de sulfate dans le barrage de Beni Haroun révèle une variabilité significative dans les concentrations observées, allant de 45 à 480 mg/l avec une moyenne de l'ordre de 220 mg/l. Ces variations peuvent avoir des implications importantes sur la structure et la dynamique du plancton dans le réservoir. Les concentrations élevées de sulfate, telles que celles enregistrées dans les échantillons S4 (480 mg/l) et S8 (280 mg/l), peuvent potentiellement favoriser la croissance de certains types de phytoplancton. En effet, certains organismes planctoniques sont capables de tolérer des niveaux élevés de sulfate et peuvent prospérer dans de telles conditions. Cela pourrait conduire à des fluctuations dans la composition spécifique du plancton, avec une augmentation possible de certaines espèces adaptées aux concentrations élevées de sulfate. Les concentrations plus faibles de sulfate, comme celles observées dans les échantillons S5 (57 mg/l) et S6 (45 mg/l) (fig. 46), peuvent limiter la croissance de certains

organismes planctoniques sensibles à ces niveaux réduits. Cela pourrait entraîner une diminution de la diversité biologique du plancton dans ces zones du barrage.

De plus, les variations saisonnières ou spatiales des concentrations de sulfate peuvent également influencer la disponibilité des éléments nutritifs et des micronutriments dans le réservoir, ce qui peut à son tour affecter la structure et la dynamique du plancton.

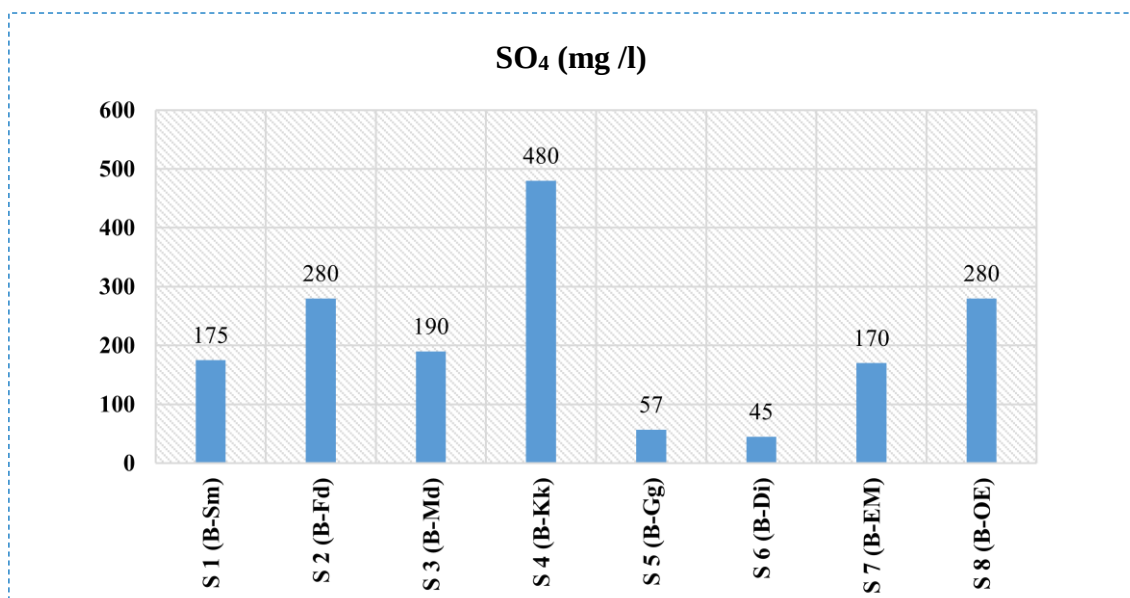


Figure 46 : Distribution des teneurs en ortho-sulfates dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.8. Distribution des concentrations en chlorure (Cl) dans le barrage de Béni-Haroun

L'analyse des données de chlorure dans le barrage de Beni Haroun révèle une variation significative de la concentration de ce composé chimique dans les différentes stations d'échantillonnage. Cette variation, allant de 220 à 1065 mg/l (fig. 47), souligne l'importance de comprendre l'impact du chlorure sur la structure et la dynamique du plancton dans cet écosystème aquatique. La concentration élevée de chlorure dans les stations S5 (1065 mg/l) et S6 (852 mg/l) pourrait être attribuée à divers facteurs tels que les apports provenant des activités humaines, notamment l'agriculture et l'industrie, ainsi que les processus naturels tels que l'érosion des sols. Ces concentrations élevées peuvent avoir des effets profonds sur la composition du plancton, en modifiant la disponibilité des nutriments et en influençant la composition chimique de l'eau.

D'autre part, les stations S7 (220 mg/l) et S8 (249 mg/l) présentent des concentrations relativement faibles de chlorure. Cette variation dans la concentration de chlorure peut influencer la diversité et l'abondance du plancton, car certains organismes planctoniques sont

sensibles aux changements de salinité. Ainsi, des variations dans la concentration de chlorure peuvent entraîner des changements dans la structure de la communauté planctonique, favorisant la prolifération de certaines espèces au détriment d'autres. En outre, la dynamique du plancton peut être affectée par les fluctuations de la concentration de chlorure au fil du temps. Par exemple, des périodes de fortes pluies entraînant une augmentation du ruissellement des eaux de surface riches en chlorure peuvent perturber l'équilibre écologique du barrage de Beni Haroun en favorisant la croissance de certaines espèces planctoniques adaptées à des conditions plus salines.

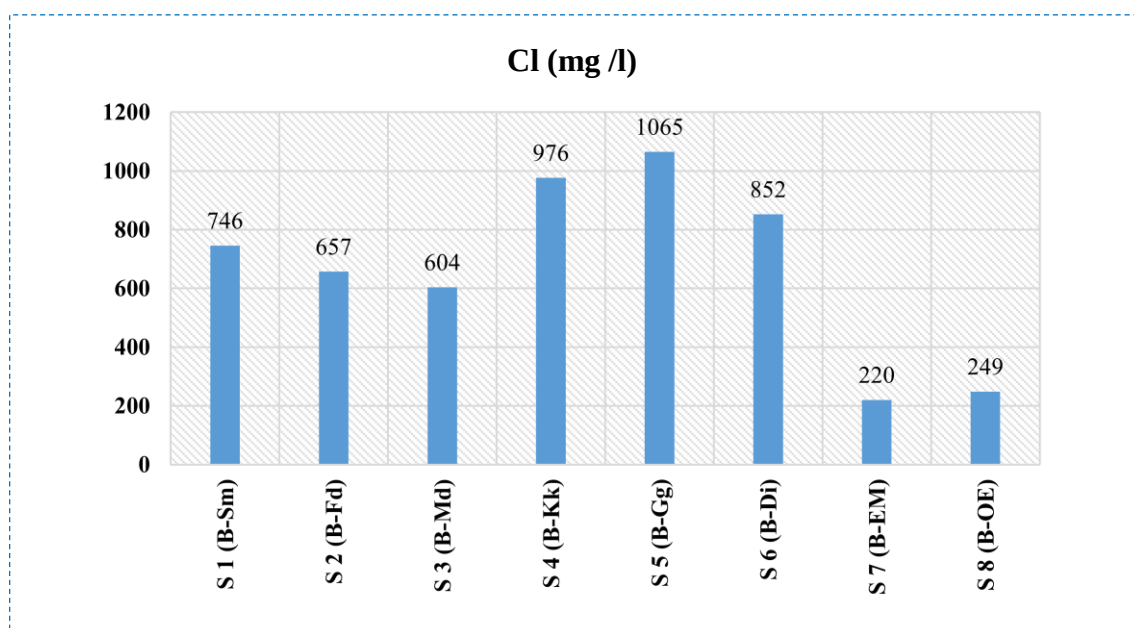


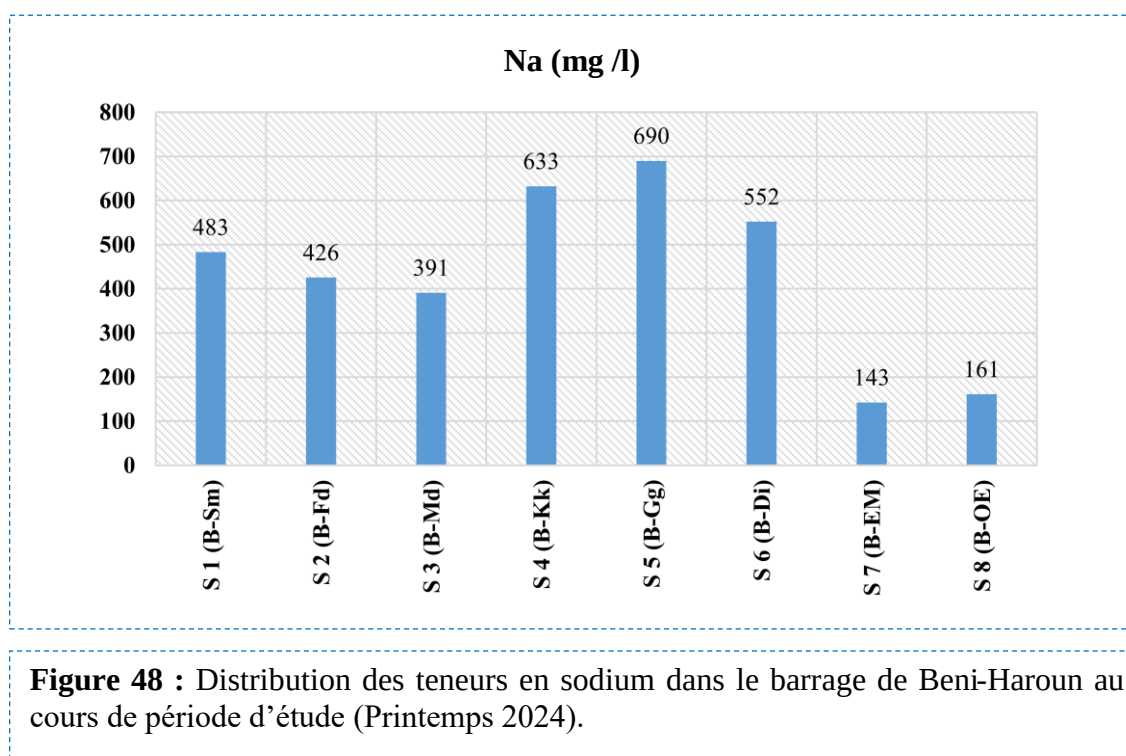
Figure 47 : Distribution des teneurs en chlorure dans le barrage de Beni-Haroun au cours de période d'étude (Printemps 2024).

1.2.9. Distribution des concentrations en sodium (Na) dans le barrage de Béni-Haroun

Le sodium est un élément essentiel pour de nombreux organismes aquatiques, y compris le plancton, car il est impliqué dans divers processus physiologiques tels que l'équilibre osmotique, la régulation du pH et la transmission des influx nerveux. Ainsi, des variations dans sa concentration peuvent influencer directement la composition et l'abondance du plancton. Durant la période d'étude (printemps 2024) les données de sodium (Na) dans le barrage de Beni Haroun révèlent une variation significative de sa concentration, avec une moyenne de 431 mg/l, allant d'un minimum de 143 mg/l à un maximum de 690 mg/l (fig. 48). Cette variabilité dans les niveaux de sodium peut avoir des implications importantes sur la dynamique du plancton dans le barrage. Les sites présentant des concentrations élevées en sodium, telles que

les sites S4 (633 mg/l) et S5 (690 mg/l), peuvent favoriser la croissance de certains types de plancton adaptés à des conditions salines plus élevées. Ces conditions peuvent notamment favoriser la prolifération de certaines espèces de plancton halophiles, qui sont capables de prospérer dans des environnements riches en sel. En revanche, les zones avec des concentrations plus faibles en sodium, comme les sites S7 (143 mg/l) et S8 (161 mg/l), peuvent présenter des conditions moins favorables à la croissance du plancton (fig. 48). Cependant, il est également possible que des espèces de plancton plus sensibles à des niveaux élevés de sodium prédominent dans ces zones, ce qui peut également influencer la composition globale du plancton.

En outre, les variations saisonnières et les interactions complexes entre le sodium et d'autres facteurs environnementaux, tels que la température et la disponibilité des nutriments, peuvent également jouer un rôle dans la structure et la dynamique du plancton dans le barrage de Beni Haroun. Ainsi, une surveillance continue de ces paramètres est essentielle pour comprendre pleinement l'écologie du plancton dans cet écosystème et pour soutenir une gestion efficace des ressources en eau.



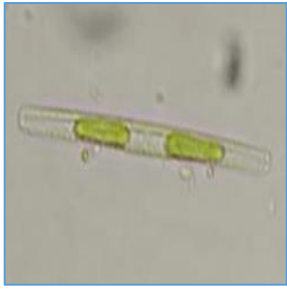
2. Étude qualitatif de la communauté phytoplanctonique

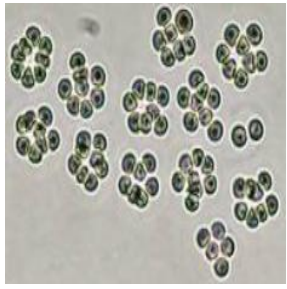
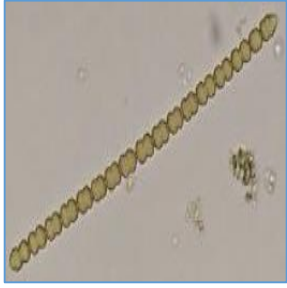
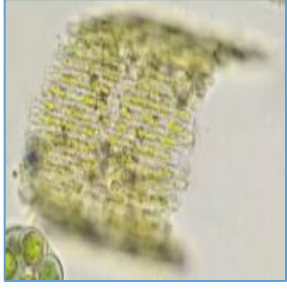
La communauté phytoplanctonique du barrage Beni-Haroun a été étudiée sous différents aspects : la composition taxonomique et la distribution spatiale des taxons dans les stations étudiées.

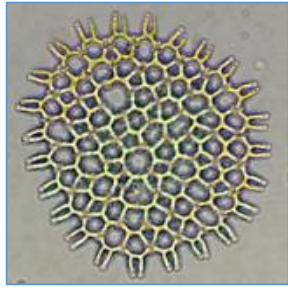
2.1. Taxonomie du genre phytoplanctonique

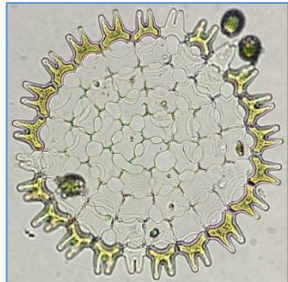
Tableau 26 : Systématiques du phytoplancton.

Systématiques du phytoplancton		Site	P/A
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Chlorophyceae Ordre : Chlamydomonadales Famille : Volvocaceae Genre : Eudorina Grossissement : (×40)		S1	+
		S2	+
		S3	+
		S4	+
		S5	+
		S6	+
		S7	+
		S8	-
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Charophyta Classe : Zygnematophyceae Ordre : Desmidales Famille : Desmidiaceae Genre : Staurastrum Grossissement : (×40)		S1	+
		S2	+
		S3	-
		S4	+
		S5	+
		S6	+
		S7	+
		S8	-
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Charophyta Classe : Zygnematophyceae Ordre : Zygnematales Famille : Zygnemataceae Genre : Zygnema Grossissement : (×40)		S1	+
		S2	+
		S3	+
		S4	-
		S5	-
		S6	+
		S7	-
		S8	-
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Dinoflagellata Classe : Dinophyceae Ordre : Gonyaulacales Famille : Ceratiaceae Genre : Ceratium Grossissement : (×40)		S1	-
		S2	-
		S3	-
		S4	+
		S5	-
		S6	-
		S7	+
		S8	-
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Charophyta Classe : Zygnematophyceae Ordre : Desmidales Famille : Closteriaceae Genre : Closterium Grossissement : (×40)		S1	-
		S2	-
		S3	+
		S4	-
		S5	-
		S6	-
		S7	+
		S8	-

Royaume : Prokaryota Règne : Bacteria Embranchement : Cyanobacteria Classe : Cyanophyceae Ordre : Chroococcales Famille : Microcystaceae Genre : Synechocystis Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- + + + + + + -
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Charophyta Classe : Zygnematophyceae Ordre : Desmiales Famille : Desmidiaceae Genre : Staurostrum Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- + - - - - - -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Fragilariales Famille : Fragilariaceae Genre : Synedra Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- + + + - + - -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Cymbellales Famille : Gomphonemataceae Genre : Gomphonema Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- - + - - - - -
Royaume : Prokaryota Règne : Bacteria Embranchement : Cyanobacteria Classe : Cyanophyceae Ordre : Oscillatoriales Famille : Oscillatoriaceae Genre : Oscillatoria Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- + - + - - - -

Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Trebouxiophyceae Ordre : Chlorellales Famille : Chlorellaceae Genre : Actinastrum Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- - - + + - - -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Naviculales Famille : Naviculaceae Genre : Navicula Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- + + + + + + +
Royaume : Prokaryota Règne : Bacteria Embranchement : Cyanobacteria Classe : Cyanophyceae Ordre : Chroococcales Famille : Microcystaceae Genre : Microcystis Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	+ - + + + + - -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Coscinodiscophyceae Ordre : Melosirales Famille : Melosiraceae Genre : Melosira Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	- - - - - + + -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Bacillariales Famille : Bacillariaceae Genre : Bacillaria Grossissement : (×40)		S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7 S8	+ - + - - - - -

Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Chlorophyceae Ordre : Sphaeropleales Famille : Scenedesmaceae Genre : Scenedesmus Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 + S6 - S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Naviculales Famille : Naviculaceae Genre : Gyrosigma Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6 - S7 - S8 +
Royaume : Eukaryota Règne : Protozoa Embranchement : Euglenophyta Classe : Euglenophyceae Ordre : Euglenales Famille : Euglenaceae Genre : Euglena Grossissement : (×40)		S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 +
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Chlorophyceae Ordre : Sphaeropleales Famille : Hydrodictyaceae Genre : Pediatrism Grossissement : (×40)		S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Bacillariales Famille : Bacillariaceae Genre : Nitzschia Grossissement : (×40)		S1 - S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 +

Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Surirellales Famille : Surirellaceae Genre : Cymatopleura Grossissement : (×40)		S1 - S2 + S3 + S4 + S5 - S6 - S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Chlorophyceae Ordre : Sphaeropleales Famille : Scenedesmaceae Genre : Coelastrum Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 + S5 - S6 - S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Chlorophyceae Ordre : Sphaeropleales Famille : Hydrodictyaceae Genre : Pediatrum Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6 + S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Plantae Embranchement : Chlorophyta Classe : Chlorophyceae Ordre : Sphaeropleales Famille : Scenedesmaceae Genre : Scenedesmus Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 + S6 - S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Bacillariophyceae Ordre : Fragilariales Famille : Fragilariaceae Genre : Synedra Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 + S4 - S5 - S6 - S7 - S8 -

Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Heterokontophyta Classe : Mediophyceae Ordre : Stephanodiscales Famille : Stephanodiscaceae Genre : Cyclotella Grossissement : (×40)		S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 -
Royaume : Prokaryota Règne : Bacteria Embranchement : Cyanobacteria Classe : Cyanophyceae Ordre : Nostocales Famille : Aphanizomenonaceae Genre : Anabaena Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 + S5 - S6 + S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Ciliophora Classe : Oligohymenophorea Ordre : Sessilida Famille : Vorticellidae Genre : Vorticella Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 + S6 - S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Ciliophora Classe : Oligohymenophorea Ordre : Peniculida Famille : Parameciidae Genre : Paramecium Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6 - S7 - S8 +
Royaume : Eukaryota Règne : Chromista Embranchement : Dinoflagellata Classe : Dinophyceae Ordre : Prorocentrales Famille : Prorocentraceae Genre : Prorocentrum Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6 - S7 - S8 +

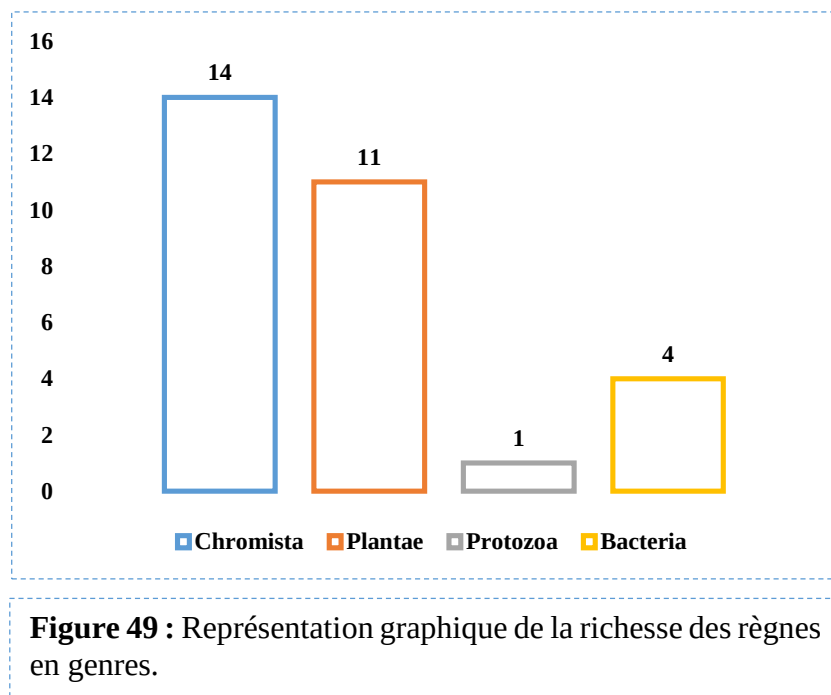
2.2. Composition taxonomique et structure des communautés phytoplanctonique

2.2.1. Richesse des Règne en genres

Le diagramme de richesse des règnes en genres montre une distribution inégale des genres entre les quatre règnes présentés. Le règne des Chromista est le plus dominant, comportant 14 genres (47 %) identifiés (fig. 49).

Les autres règnes sont représentés par les proportions suivantes :

- Plantae : 11 genres (37 %)
- Bacteria : 4 genres (13 %)
- Protozoa : 1 genre (3 %)



Cette répartition met en évidence une dominance marquée le règne Chromista, qui représentent la majorité des genres observés. Les Plantae suivent de près avec un nombre significatif de genres, tandis que les Protozoa sont très peu représentés avec seulement un genre identifié. Les Bacteria occupent une position intermédiaire, mais leur présence reste modeste par rapport aux Chromista et Plantae. Cette distribution pourrait refléter des différences dans la diversité biologique et écologique de chaque règne, ainsi que l'efficacité des méthodes de détection et de classification utilisées dans cette étude.

2.2.2. Richesse des embranchements en genres

Le diagramme de richesse des embranchements en genres révèle une distribution inégale des genres entre les différents embranchements. L'embranchement des Chlorophyta est le plus dominant, comportant 11 genres (37 %) identifiés (fig. 51).

Les autres embranchements sont représentés par les proportions et dans l'ordre suivant:

- Heterokontophyta : 10 genres (33 %)
- Cyanobacteria : 4 genres (13 %)
- Ciliophora : 2 genres (7 %)
- Dinoflagellata : 2 genres (7 %)
- Euglenophyta : 1 genre (3 %)

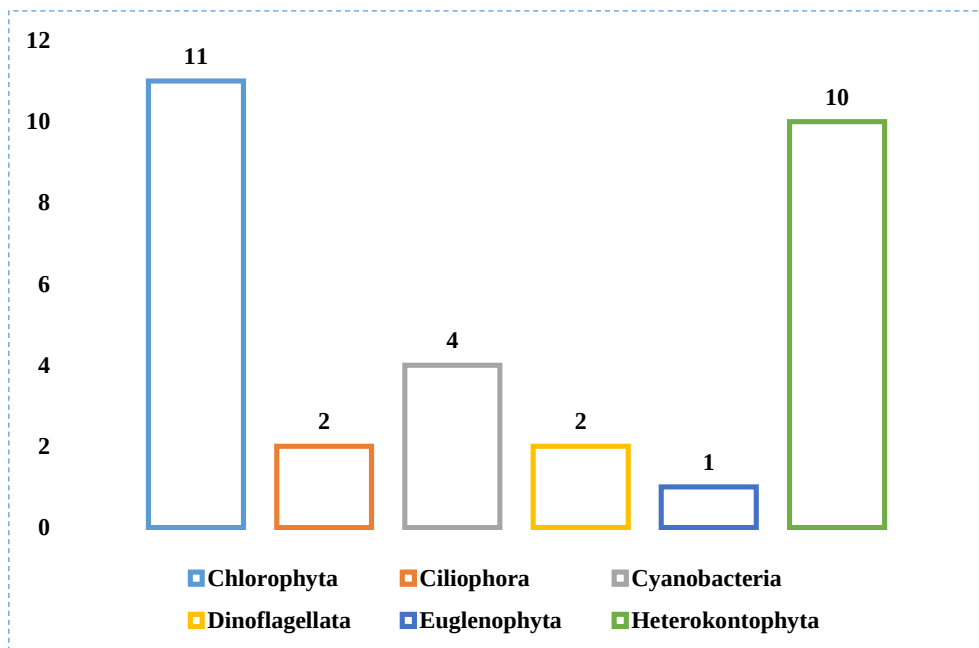


Figure 50 : Représentation graphique de la richesse des embranchements en genres.

Cette répartition montre une prédominance des Chlorophyta et des Heterokontophyta dans la diversité des genres, avec respectivement 11 et 10 genres. Les autres embranchements présentent une diversité beaucoup plus réduite, notamment les Euglenophyta avec seulement 1 genre identifié.

2.2.3. Richesse des Classes en genres

Le diagramme de richesse des classes en genres révèle une distribution inégale de distribution des genres entre les différentes classes. La classe des Bacillariophyceae (diatomées) est la plus dominante, comportant 8 genres (27 %) identifiés (fig. 52).

Les autres classes sont représentées par les proportions suivantes :

- Chlorophyceae : 6 genres (20 %)
- Cyanophyceae : 4 genres (13 %)
- Zygnematophyceae : 4 genres (13 %)
- Dinophyceae : 2 genres (7 %)
- Oligohymenophorea : 2 genres (7 %)
- Trebouxiophyceae : 1 genre (3 %)
- Euglenophyceae : 1 genre (3 %)
- Coscinodiscophyceae : 1 genre (3 %)
- Mediophyceae : 1 genre (3 %)

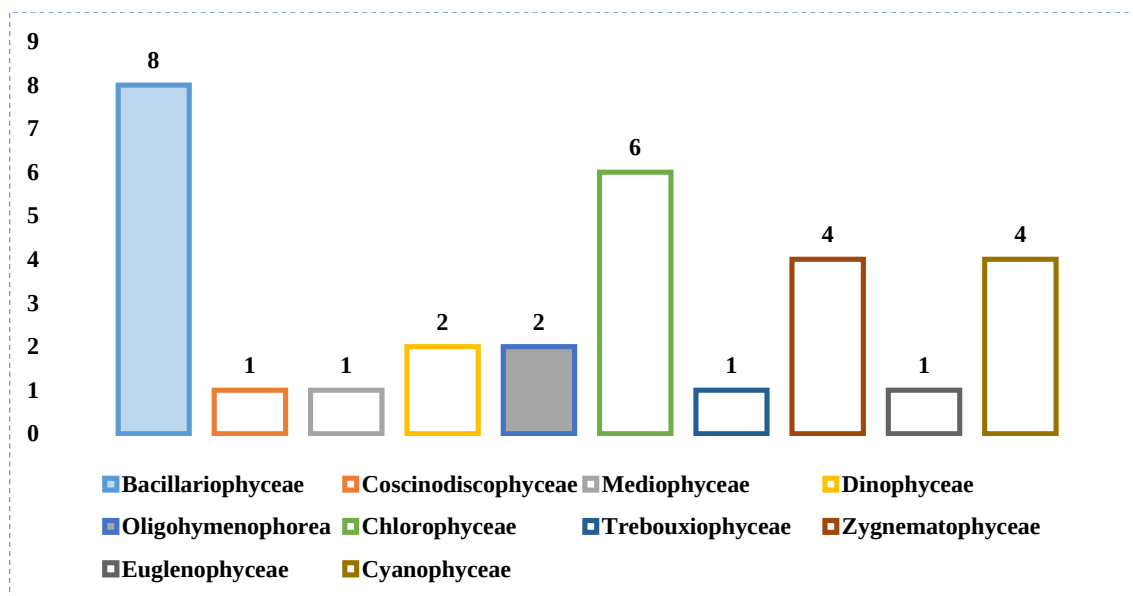


Figure 51 : Représentation graphique de la richesse des classes en genres.

Ainsi, la classe des Bacillariophyceae se distingue nettement par sa richesse en genres, représentant la plus grande diversité parmi les classes étudiées. Les classes Chlorophyceae et Zygnematophyceae suivent avec une diversité significative, tandis que les autres classes présentent une richesse inférieure, avec une majorité ne comportant qu'un ou deux genres identifiés.

2.2.4. Richesse des Ordres en genre

Le diagramme de richesse des ordres en genres révèle une distribution inégale des genres entre les différents ordres. L'ordre des Sphaeropleales est le plus dominant, comportant 5 genres (17 %) identifiés, suivi par l'ordre des Desmidiales 3 genre (10 %) (fig. 53).

Les autres ordres sont représentés par (1 ou 2 genres) (3 % - 7 %).

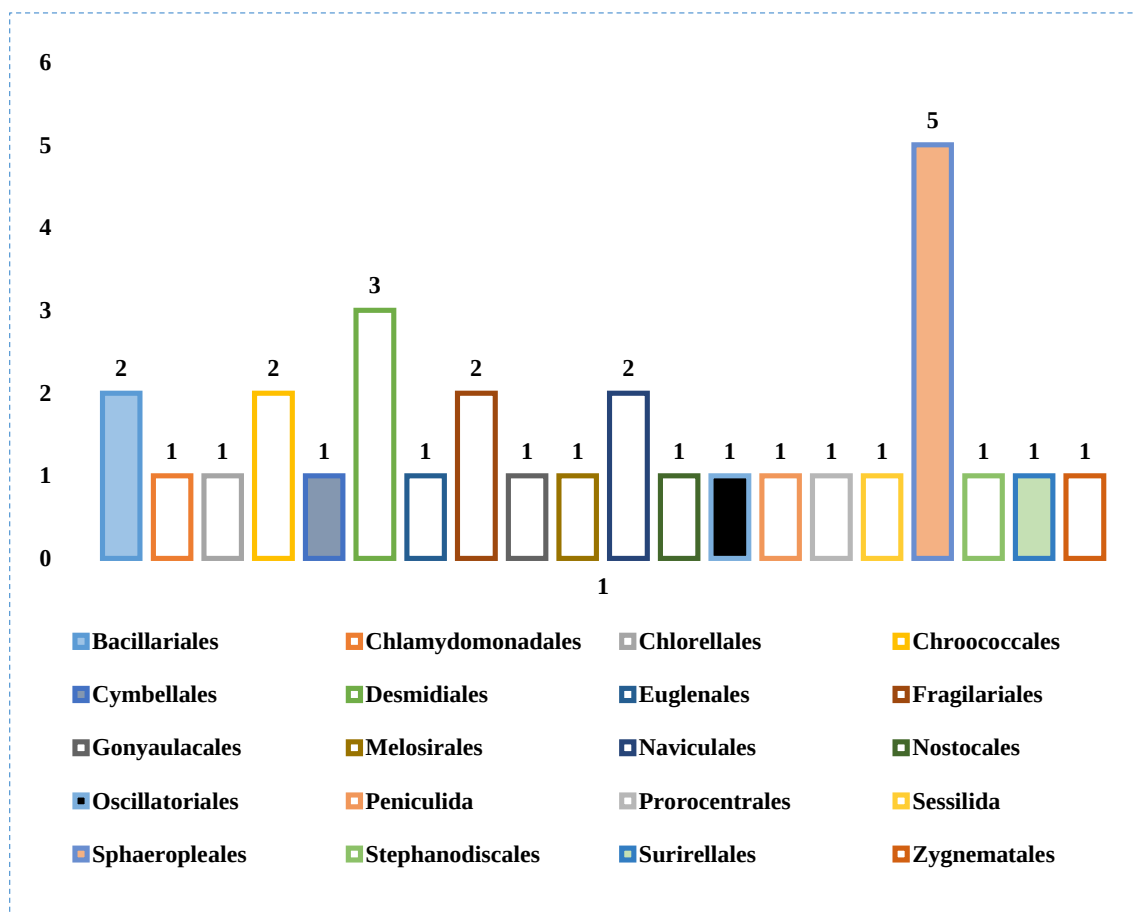


Figure 52 : Représentation graphique de la richesse des ordres en genres.

Cette distribution met en évidence une forte concentration de genres dans certains ordres, tandis que d'autres ne comptent qu'un seul genre identifié. Les ordres Bacillariales, Chroococcales, Desmidiales et Naviculales montrent une richesse modérée avec deux ou trois genres chacun. En revanche, la majorité des autres ordres ne sont représentés que par un seul genre, ce qui souligne une diversité moindre dans ces catégories spécifiques.

2.2.5. Richesse du Familles en genres

Le diagramme de richesse des familles en genres révèle une distribution variée des genres entre les différentes familles. La famille la plus dominante en nombre de genres c'est Scenedesmaceae comporte 3 genres (10 %) (fig. 54). Le reste des familles ne montrent que (1 ou 2 genres) (3 %- 7 %).

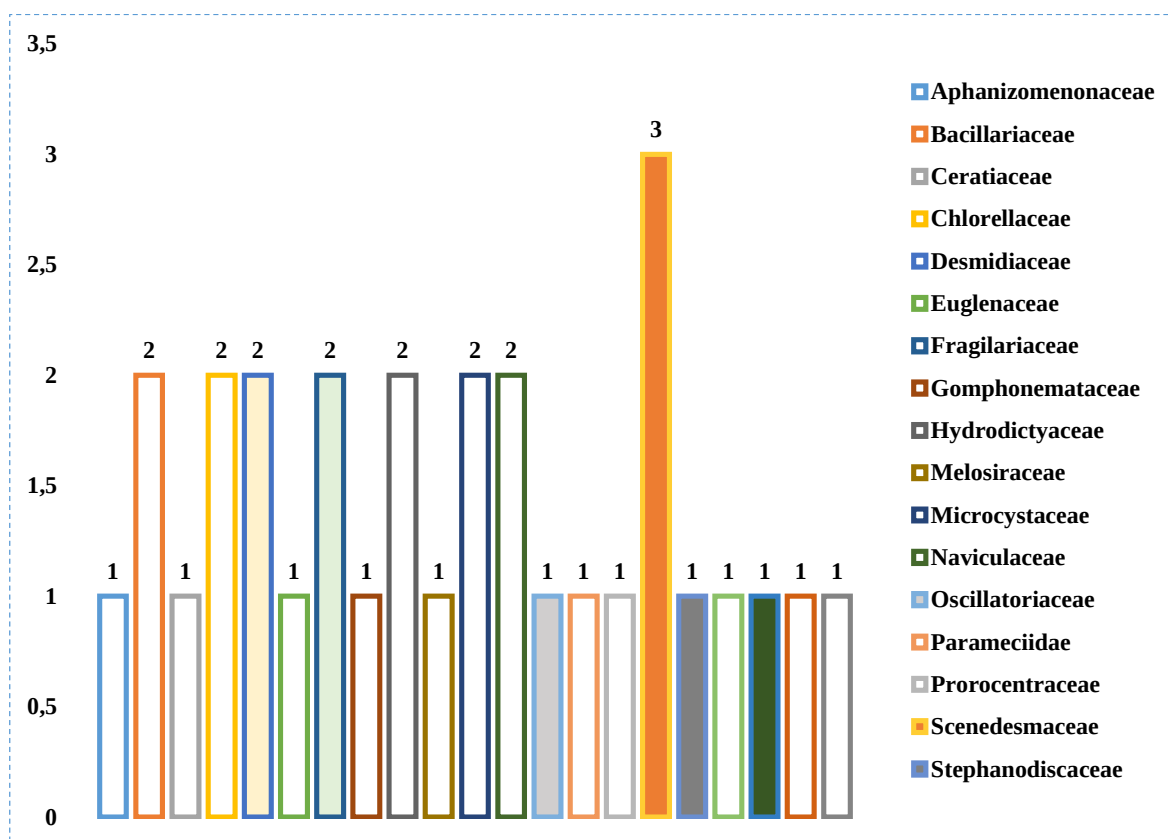


Figure 53 : Représentation graphique de la richesse des familles en genres.

La famille Scenedesmaceae se distingue en comportant 3 genres, ce qui en fait la famille la plus diversifiée en termes de genres. Les familles Chlorellaceae, Desmidiaceae, Fragilariaceae, Hydrodictyaceae, Microcystaceae et Naviculaceae suivent avec chacune 2 genres. Les autres familles, bien que nombreuses, sont chacune représentées par un seul genre, montrant ainsi une diversité moins prononcée.

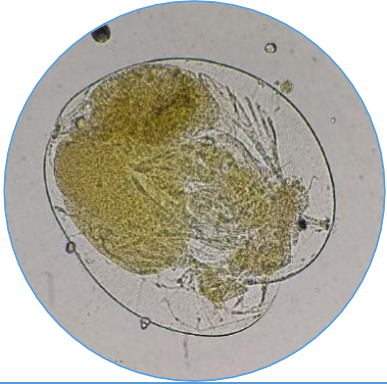
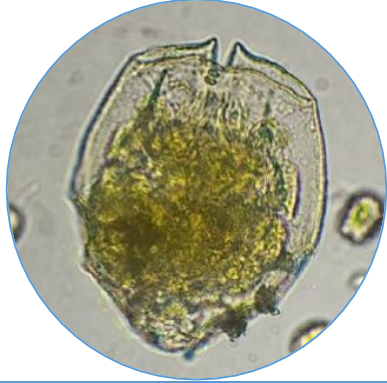
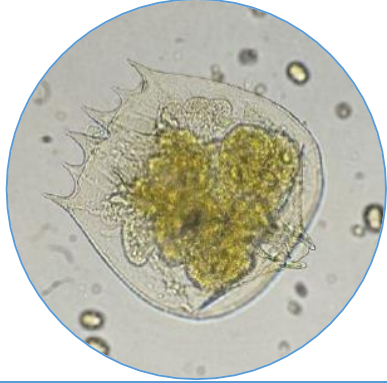
3. Étude qualitatif de la communauté zooplanctonique

La communauté zooplanctonique du barrage Beni-Haroun a été étudiée sous différents aspects : la composition taxonomique et la distribution spatiale des taxons dans les stations étudiées.

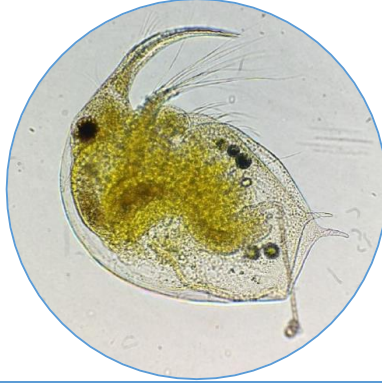
3.1. Taxonomie du genre Zooplanctonique

Tableau 27 : systématique du zooplancton.

Systématiques du zooplancton		Site	P/A
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Flosculariaceae Famille : Trochosphaeridae Genre : Filinia Grossissement : (×40)		S1	-
		S2	-
		S3	-
		S4	-
		S5	-
		S6	-
		S7	-
		S8	+
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Ploima Famille : Brachionidae Genre : Brachionus Grossissement : (×40)		S1	-
		S2	-
		S3	-
		S4	+
		S5	+
		S6	-
		S7	-
		S8	+
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Ploima Famille : Brachionidae Genre : Keratella Grossissement : (×40)		S1	-
		S2	-
		S3	-
		S4	+
		S5	-
		S6	-
		S7	+
		S8	-
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Ploima Famille : Synchaetidae Genre : Polyarthra Grossissement : (×40)		S1	-
		S2	-
		S3	-
		S4	-
		S5	-
		S6	+
		S7	-
		S8	+

Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Ploima Famille : Brachionidae Genre : Anuraeopsis Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6 - S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Flosculariaceae Famille : Testudinellidae Genre : Testudinella Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 - S6 + S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Ploima Famille : Brachionidae Genre : Brachionus Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 + S6 - S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Rotifera Classe : Monogononta Ordre : Ploima Famille : Brachionidae Genre : Brachionus Grossissement : (×40)		S1 - S2 - S3 - S4 - S5 + S6 - S7 - S8 -

Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Copepoda Ordre : Cyclopoida Famille : Cyclopidae Genre : Metacyclops Grossissement : (×10)		S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Maxillopoda Ordre : Cyclopoida Famille : Cyclopidae Genre : Cyclops Grossissement : (×10)		S1 + S2 - S3 - S4 + S5 - S6 + S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Maxillopoda Ordre : Calanoida Famille : Pseudodiaptomidae Genre : Pseudodiaptomus Grossissement : (×10)		S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Maxillopoda Ordre : Cyclopoida Famille : Oithonidae Genre : Oithona Grossissement : (×10)		S1 - S2 - S3 - S4 + S5 - S6 + S7 - S8 -

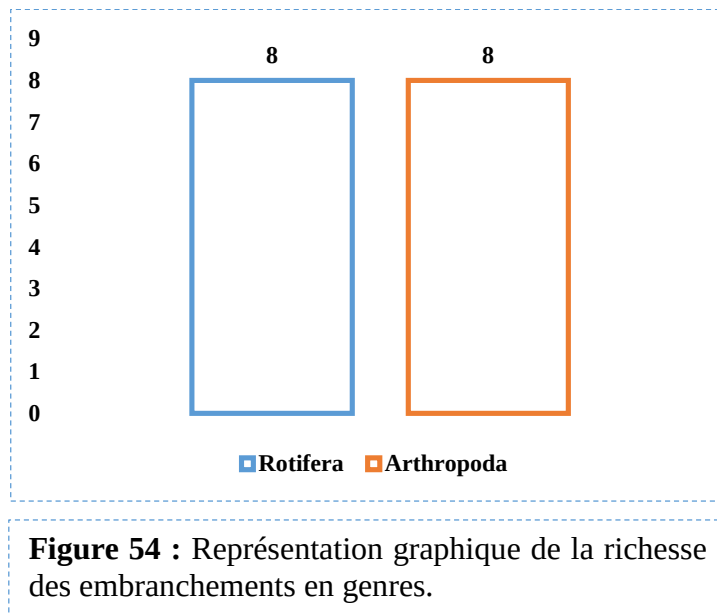
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Copepoda Ordre : Calanoida Famille : Diaptomidae Genre : Diaptomus Grossissement : (×10)		S1 + S2 + S3 + S4 - S5 - S6 - S7 + S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Branchiopoda Ordre : Anomopoda Famille : Bosminidae Genre : Bosmina Grossissement : (×10)		S1 + S2 + S3 - S4 + S5 - S6 - S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Branchiopoda Ordre : Diplostraca Famille : Daphniidae Genre : Daphnia Grossissement : (×10)		S1 - S2 - S3 - S4 + S5 - S6 - S7 - S8 -
Royaume : Eukaryota Règne : Animalia Embranchement : Arthropoda Classe : Branchiopoda Ordre : Anomopoda Famille : Bosminidae Genre : Bosmina Grossissement : (×10)		S1 - S2 - S3 - S4 + S5 - S6 + S7 - S8 -

3.2. Composition taxonomique et structure des communautés zooplanctonique

3.2.1. Richesse des Embranchement en genres

Le diagramme de richesse des embranchements en genres révèle une distribution inégale des genres entre les deux embranchements étudiés. Les embranchements de Rotifera et d'Arthropoda sont représentés de manière égale, chacun comportant 50% des genres identifiés (fig. 55). Voici la distribution détaillée des genres :

- Rotifera : 8 genres, représentant 50% de l'ensemble des genres
- Arthropoda : 8 genres, représentant également 50% de l'ensemble des genres



Cette distribution montre une parité parfaite entre les genres identifiés des deux embranchements. Contrairement à une distribution plus variée ou dominée par un embranchement, ici, Rotifera et Arthropoda partagent équitablement la diversité en genres.

3.2.2. Richesse de la classe en genres

Le diagramme de richesse des classes en genres révèle une distribution inégale des genres entre les trois classes. La classe des Monogononta est la plus dominante, comportant 8 genres (50 %) identifiés (fig. 56). Les deux autres classes sont représentées par les proportions suivantes :

- Maxillopoda : 5 genres de l'ensemble des genres (31 %)
- Branchiopoda : 3 genres de l'ensemble des genres (19 %)

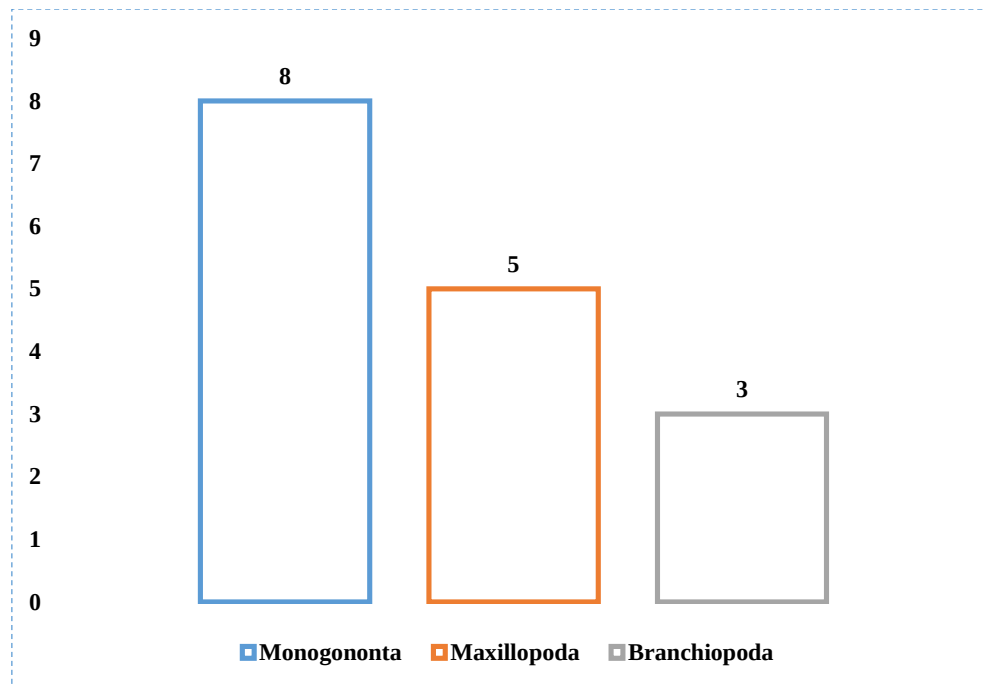


Figure 55 : Représentation graphique de la richesse des classes en genres.

Cette distribution montre que les Monogononta dominent nettement en termes de diversité de genres, tandis que les Maxillopoda et les Branchiopoda sont moins représentés. Cette disparité pourrait refléter des différences dans les adaptations écologiques, la niche écologique occupée ou la capacité de dispersion de chaque classe.

3.2.3. Richesse des Ordre en genres

Le diagramme richesse des ordres en genres révèle une distribution inégale des genres entre les différents ordres. L'ordre des Ploima est le plus dominant, comportant 6 genres (38 %) identifiés (fig. 57). Les autres ordres sont représentés par les proportions suivantes :

- Cyclopoida : 3 genres (19 %)
- Flosculariaceae : 2 genres (13 %)
- Calanoida : 2 genres (13 %)
- Anomopoda : 2 genres (13 %)
- Diplostraca : 1 genre (6 %)

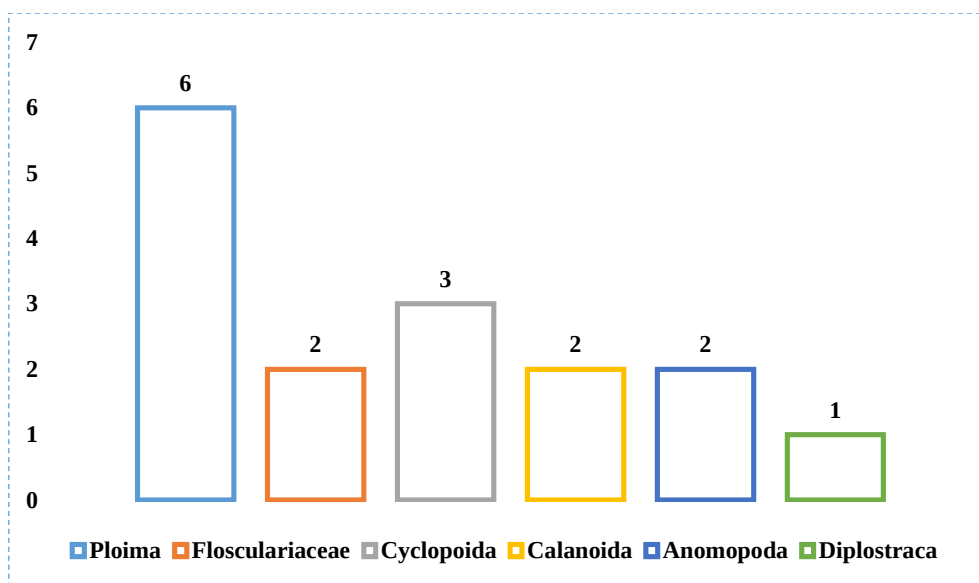


Figure 56 : Représentation graphique de la richesse des ordres en genres.

Cette répartition montre une prépondérance significative de l'ordre des Ploima par rapport aux autres, indiquant une diversité plus élevée au sein de cet ordre. Les autres ordres présentent une richesse en genres relativement similaire, à l'exception de Diplostraca qui est représenté par un seul genre, ce qui pourrait suggérer une diversité plus limitée ou une sous-représentation dans les échantillons étudiés.

3.2.4. Richesse des Famille en genres

Le diagramme de richesse des familles en genres révèle une distribution inégale des genres entre les différentes familles. La famille des Synchaetidae est la plus dominante, comportant 5 genres (31 %) identifiés (fig. 58). Les autres familles sont représentées par les proportions suivantes :

- Brachionidae : 2 genres (13 %)
- Testudinellidae : 2 genres (13 %)
- Trochosphaeridae : 1 genre (6 %)
- Cyclopidae : 1 genre (6 %)
- Oithonidae : 1 genre (6 %)
- Diaptomidae : 1 genre (6 %)
- Pseudodiaptomidae : 1 genre (6 %)
- Bosminidae : 1 genre (6 %)
- Daphniidae : 1 genre (6 %)

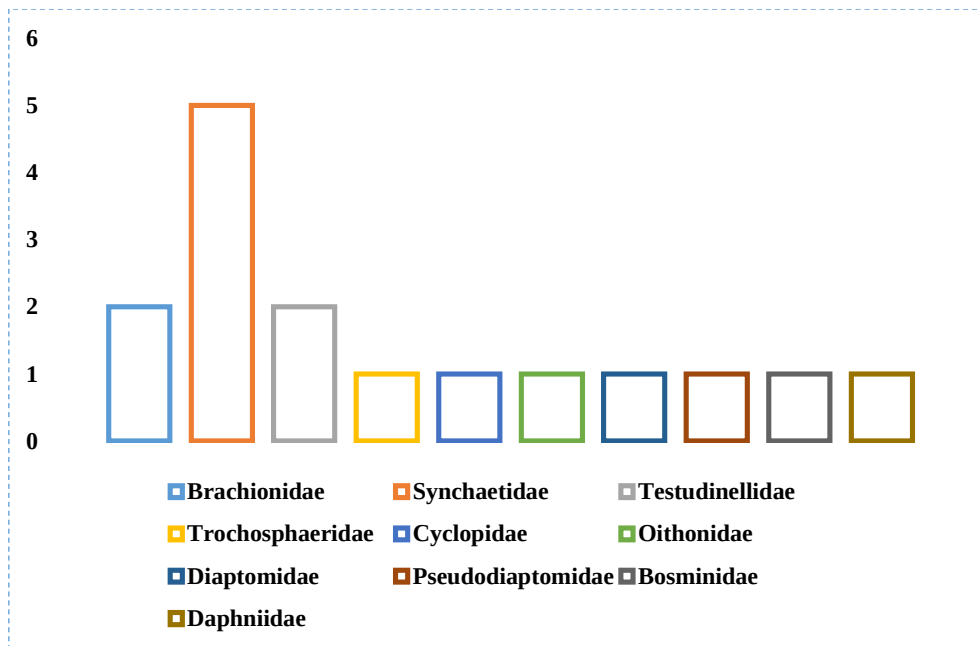
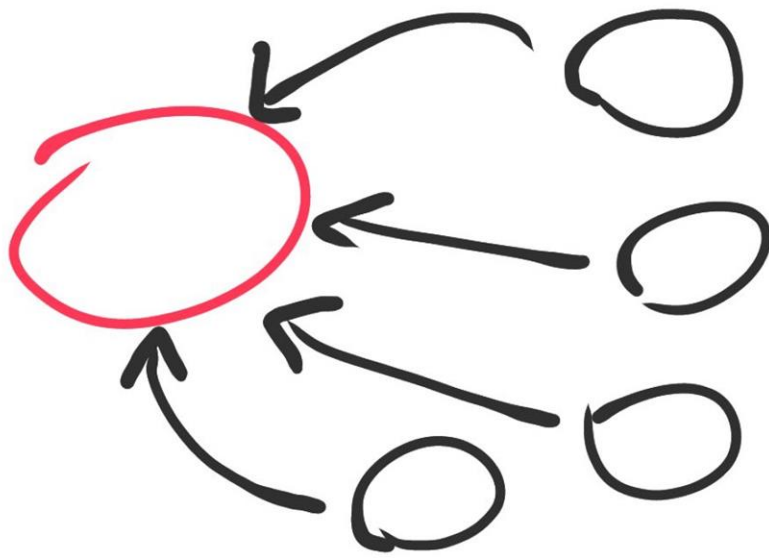


Figure 57 : Représentation graphique de la richesse des familles en genres.

Cette distribution démontre une prédominance significative de la famille des Synchaetidae, tandis que les autres familles montrent une représentation beaucoup plus restreinte en termes de richesse en genres. Les familles Brachionidae et Testudinellidae suivent avec 2 genres chacune, tandis que les autres familles sont chacune représentées par un seul genre.

« Conclusion »



Notre étude a été réalisée dans le barrage de Beni-Haroun et s'est focalisée sur les analyses physiques et chimiques ainsi que leur influence sur la structure du plancton. Les résultats obtenus ont permis de dégager plusieurs conclusions majeures :

- Les analyses physiques des différents sites du barrage montrent une variation notable des paramètres tels que la conductivité, le pH, la salinité, la turbidité, les solides dissous totaux (TDS), l'oxygène dissous (OD) et la température. Ces variations influencent directement la composition et la distribution des communautés planctoniques. Par exemple, des niveaux élevés de turbidité et de TDS ont été observés à S5, ce qui peut indiquer une plus forte charge de matière en suspension et de nutriments dans cette zone.
- Les analyses chimiques ont révélé des concentrations variables de phosphates (PO_4), ammonium (NH_4), nitrites (NO_2), nitrates (NO_3), silicates (Si(OH)_4), sulfates (SO_4), chlorures (Cl) et sodium (Na). Ces éléments nutritifs sont essentiels pour la croissance et la diversité du phytoplancton et du zooplancton. Les différences observées entre les sites indiquent une hétérogénéité dans la disponibilité des nutriments, influençant ainsi la richesse et la composition des communautés planctoniques.
- L'analyse taxonomique des communautés phytoplanctoniques a montré une dominance des Chromista, particulièrement les Bacillariophyceae (diatomées), qui représentent la classe la plus riche en genres. Cette dominance pourrait être attribuée à des conditions environnementales favorables telles que la lumière et la disponibilité en nutriments.
- Les Chlorophyta et les Heterokontophyta sont également bien représentés, indiquant une diversité biologique significative dans le barrage. La présence moindre de Protozoa et de Bacteria suggère des conditions moins favorables ou une moindre efficacité des méthodes de détection pour ces groupes.
- Pour les communautés zooplanctoniques, une parité entre les embranchements Rotifera et Arthropoda a été observée. Cependant, la classe des Monogononta parmi les Rotifera est la plus diversifiée en termes de genres, suivie par les classes Maxillopoda et Branchiopoda des Arthropoda.
- Les ordres Ploima, Cyclopoida et Calanoida montrent une plus grande richesse en genres, tandis que les familles Synchaetidae et Brachionidae sont particulièrement dominantes. Cette distribution indique des niches écologiques variées et des adaptations spécifiques aux conditions environnementales du barrage.

« *Références bibliographiques* »



Références bibliographiques

A

- A.N.B., 2007, Agence nationale des barrages.
- Abdennadher, M., 2014. Étude Taxonomique & Écophysiologique des dinoflagellés toxiques du Golfe de Gabès : *Alexandrium minutum*, *Prorocentrum lima*, *Coolia* spp. & *Ostreopsis ovata*. Sciences Biologiques, SFAX. Thèse de doctorat. 328p.
- Adjagodo, A., Kelomè Net Vissin, E., 2017. Pollution Physique Et Bactériologique De L'eau Du Fleuve Dans La Basse Vallée De L'ouémé Pendant Les Périodes De Basses Et Hautes Eaux Au Bénin. Européen Scientific Journal, ESJ. 2017;13. 35.
- Aissaoui, A., 2013. Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage Hammam Grouz de la région Oued Athmania (wilaya de Mila) par les activités agricoles. Thèse de Magister Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. 302p.
- Alonso, M., 1996. Crustacea Branchiopoda. fauna Iberica. Madrid, 486p.
- Aminot, A., Chaussied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395 p.
- Amoros, C., 1984. Introduction pratique à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Crustacés Cladocères. Bulletin de la Société Linnéenne de Lyon 53(3):72-107 et 53(4):120-14p.
- Ancil, F., Rousselle, J., Lauzon, N., 2013. Hydrologie : cheminements de l'eau. 2ème édition, Ed. Presses internationales polytechnique Canada. 2-3p.
- ANDI., 2013. Agence Nationale de Développement de l'Investissement.
- Anglaret, X., Mortier, E., 2002. Maladies infectieuses, Edition, Med-Lin. 40-43p.
- Anneville, O., Souissi, S., Gammeter, S., Straile, D., 2008. Seasonal and inter-annual scales of variability in phytoplankton assemblages: comparison of phytoplankton dynamics in three peri-alpine lakes over a period of 28 years. Freshwater Biology, 53(2), 272-2904
- Aouissi, A., 2010. Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie). Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en : Hydro-écologie Option: Santé, Eau et Environnement. Université du 08 Mai 1945 de Guelma.164.
- Atmania, D., 2010. Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-Gonflement dans le bassin de Mila (Nord constantinois). Thèse de doctorat. Université Mentouri, Constantine. 172p.

Références bibliographiques

B

- Bagnouls, F., Gaussen, H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. In Annales de géographie. Armand Colin, vol 66 n° 355. 193-220 p.
- Baziz. M., 2008. Thèse de Magister Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé cas de la ville de Batna, Université Colonel Elhadj Lakhdar Batna (Algérie). 144p.
- Beaudry., J.P., et Tardat-Henry., M., 1992. Chimie des eaux, Les éditions Le Griffon d'argile, Canada, 537p.
- Beker, B., 1983. Removal of heavy metals by microalgae. In Algae biomass. Elsevier. 623p.
- Belala, Z., 2006. Étude et traitement de l'eau de barrage Djorf Eltorba de la wilaya de Bechar par filtration sur sable .mémoire de magister en eau et environnement université Hassiba Benbouaali de Chlef. 16p.
- Belattar, H., 2007. Diversité dans la végétation cultivée de la région de Mila: inventaire et caractéristiques biologiques. Thèse de magistère en Biologie végétale. Université Mentouri, Constantine. 99p.
- Benabdellouahad, S., 2006. Structure, dynamique et typologies physico-chimiques et phytoplanctoniques de l'estuaire du BOU REGREG (côte atlantique marocaine). Hydrobiologie et biodiversité aquatique, Université MOHAMMED V – AGDAL faculté des sciences Rabat. Thèse de doctorat. 252p.
- Benkaddour, N., 2015. Contribution à l'étude de l'efficacité de la graine de Moringa oleifera dans la dépollution des eaux d'Oued Safsaf. Mémoire de magistère en Sciences de l'Environnement. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- Bernard, D., 1966. Limnologie- Etude des eaux continentales, Edition Gauthier Villars, Paris.
- Boschet, A.F., 2002. Ressources en eau et sante en Europe-Journal Européen d'Hydrologie, 33, 1. 33-39p.
- Boualem, R., 2009. Contribution à l'étude de la qualité des eaux des Barrages, Article de recherche. 20-33p.
- Bougis, P., 1974. Ecologie du plancton marin I. Le phytoplancton. Edition Masson, Paris, 38, 61, 81, 84, 200p.
- Bourrelly, P., 1985. Les algues bleues ou Cyanophycées, 5ème partie. Edition Boubée Paris. 297p.

Références bibliographiques

- Boutin C., Héduit A et Michel J., 2009. Technologie d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées. Office national de l'eau et des milieux aquatiques .16p.
- Bouziani, M., 2000. L'eau de La pénurie a la maladie, Edition Ebeanthaldoun. 84p.
- Bremond, R., Vuichard, R., 1973. Paramètres de la qualité des eaux, Edition OSPEPE, Paris.
- Briere, G., 2000. Distribution et collecte des eaux, 2ème édition, Ecole polytechnique de Montréal. 3-19p.

C

- C.I.Eau, 2023. Ressource en eau potable, eau usée. (Disponible sur www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/quels-traitements-sophistiques-pour-rendre-leau-potable).
- Cadier, M., 2016. Diversité des communautés phytoplanctoniques en relation avec les facteurs environnementaux en mer d'Iroise : approche par la modélisation 3D, Bretagne occidentale. Thèse de Doctorat. 338p.
- Calman, T., 1909. Crustacea. Third fascicle, Part VII in: Lankester, treatise of zoology A. and C. Black, London. 56p.
- Canter-Lund, H., et Lund, J.W.G., 1995. Freshwater Algae : Their microscopic world explored. Biopres Limited, Bristol.
- Cavalla, M., (2000). Les algues et les micro-algues <http://mcavalla.free.fr>.
- CF., 2018. Conservation des forêts de Mila.
- Chaâlal, O.M., 2012. La wilaya de Mila .Edition, Albayazin. Alger. Compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et Béni-Haroun. 209p.
- Chambord, S., Maris, T., Colas, F., Van Engeland, T., Sossou, A.C., Azémar, F., Le Coz, M., Cox, T., Buisson, L., Souissi, S., Meire, P., & Tackx, M., 2016. Mesozooplankton affinities in a recovering freshwater estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science 177: 47-59.
- Coute, A., Chauveau, O., 1994. Algae. Encyclopedia Biospeologica. I éd. Société de Biopédologic. ISSN 0398 7973, 3ème trimestre: 371-380.

D

- Debieche, T.H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : application à la basse plaine

Références bibliographiques

de la Seybouse Nord-Est algérien. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre. Hydrogéologie et environnement. Université de Franche-Comté.

- Degremont, D., 1989. Mémento technique de l'eau, Tome 1 & 2, Collection Degremont, ISBN 2-9503984-0-5. 1459p.
- Djilani, C., 2006. Analyse et traitement des eaux de rejets de l'unité VCM du complexe pétrochimique de Skikda, Mémoire de Magister. Université de Skikda. 20p.
- Domaizon, I., Viboud, S., et Fontvieille, D., 2003. Taxon-specific and seasonal variations in flagellates grazing on heterotrophic bacteria in the oligotrophic Lake Annecy - importance of mixotrophy. FEMS Microbiology Ecology. 46:317-329.
- Dore, M., 1989. Chimie des oxydants et traitement des eaux, Edition Lavoisier.
- Druex, P., 1980. Précis d'écologie. Presse université. France. Paris. p 231, 229, 1260.
- Druart, J.C., & Rimet, F., 2008. Protocoles d'analyse du phytoplancton de l'INRA: prélèvement, dénombrement et biovolumes. INRA-Thonon, RapportSHL Dunod. 283, 96, 237p.
- Ducklow, H.W., 1983. Production and fate of bacteria in the oceans. BioScience 33: 494-501.
- Dumon, A., 2021. Chimie nouvelle, n° 138.
- Dumont, M., 2008. Apports de la modélisation des interactions pour une compréhension fonctionnement d'un écosystème. Thèse doctorat, université Montpellier II. 228p.
- Dussart, B., 1966. Limnologie : l'étude des continentales. Ed Gauthier Villars, Paris. 667p.
- Dussart, B., 1969. Les copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale, Tome II : Cyclopoïdes et Biologie. Edition Boubée et Cie, Paris, 264p.
- Dussart, B., 1992. Limnologie : l'étude des eaux continentales. Collection « Faune et flore actuelles », Edition N.Boubée et Cie, Paris, 680p.

E

- Ergashev, A.E., & Tajiev, S., 1986. Seasonal variations of phytoplankton in a series of waste treatment lagoons (Chimkent, Central Asia). I. Artificial inoculation and role of algae. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 14(6), 613-625. 6
- Ezziane, Z., (2007). Information Technology Literacy: Implications on Teaching and Learning. Educational Technology & Society, 10 (3), 175-191.

Références bibliographiques

F

- Festy, B., Hartemann, P., Ledrans, M., Levallois, P., Payment, P., et tricar, d., 2003. Qualité de l'eau ; in « Environnement et santé publique – Fondements et pratiques », pp. 333-368. Ed. Tec & Doc, Acton Vale, Paris.
- Findley, D.L., et Klingh, H.J., 1994. protocole de la mesure de la biodiversité : le phytoplancton d'eau douce. Ministère des pêches et océans institut des Eaux douces .université Crescent Winnipeg(Manitoba) R3T2N6.
- Finkel, Z.V., Irwin, A.J., Schofield, O., 2004. Ressourcelimntation alter the $\frac{3}{4}$ size scaling of metabolic rates of phytoplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser., 273: 269-279
- Fremy, J.M., et Lassus, P., 2001. Toxine d'algues dans l'alimentation. Ed. Quae, France. 553p.
- Fryer, G., 1987. A new classification of the branchiopod Crustacea. Zool. J. Linn. Soc, 91-383p.

G

- Gailhard, I., 2003. Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le «Réseau de surveillance du Phytoplancton et des phycotoxines» (REPHY). Thèse de Doctorat. Université de la Méditerranée (Aix–Marseille II). 14p.
- Gantzer C., Lucena F., Schwartzbrod, L., et Jofre J., 1998. Indicateurs de contamination virale du milieu hydrique : mythe ou réalité, Virologie 2. 117-120p.
- Gaujons, G., 1995. La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2ème édition londres. Lavoisier, Paris. 217p.
- Genin, B., Chaurin, Ch., Ménard, F., 2003. Cours d'eau et indice biologiques. Pollution-méthodes-IBGB, 2ème édition Educagri. 221p.
- Germain, H., 1981. Flore des diatomées : eaux douces et saumâtres. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris.
- Grieve, M., 1994. The marine fauna of Newzel and: Pelagic Calanoid Copepoda: Megacalanidae, Calanidae, Paracalanidae, Mecynoceridae, Eucalanid ae, Spinocalanie, Clausocalanidae. New Zealand Oceanographic Institute Memoir.70p.
- Grog, N., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire), Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse Université de Toulouse. 35, 38, 89, 93, 180p.

Références bibliographiques

- Grosclaude, G.C., 1999. L'eau, Tome II, usage et polluants, Institut national de la recherche agronomique. Paris, France. 210 p.
- Guerd, H., Mesghouni, A., 2007. Mémoire de fin d'étude, Performance de la station de dessalement des eaux dans la région d'El-Oued, Université Kasdi Merbah-Ouagla, 67p.

H

- Habila, S., 2008. Etude de l'impact du barrage béni Haroun sur l'environnement : effets ecotoxicologiques. Thèse de magister en biologie ; option écotoxicologie, Université de Jijel, 180p.
- Håkanson, L., 2005. The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology: an introduction with examples. *International Review of Hydrobiology*, 90(4), 325-348.
- Hamilton, D.P., Schladow, S.G., 1997. Prediction of water quality in lakes and reservoirs. Part I-Model description. *Ecological Modeling*, 96, (1-3), 91-110.
- Hansen, G., Turquet, J., Quod, J.P., Ten-Hage, L., Lugomela, C., Kyewalyanga, M., Hurbungs, M., Wawiye, P., Ogongo, B., Tunje, S. & Rakotoarinjanahary, H., 2001. Potentially Harmful Microalgae of the Western Indian Ocean. *Manuals and Guides* 41. p5, 79.
- Hassan Omer, N., 2019. Water Quality - Science, Assessments and Policy, *intechopen*, p. 6 -13 doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89657>.
- Hébert, S., et Légaré, S., 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Québec : Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, *envirodoq* no ENV-2001-0141.

I

- Ivanowsky, A., 2016. Ouvrages d'assainissement des eaux et qualité du milieu récepteur en zone urbaine. Cas de rejets dans la Marque à Villeneuve d'Ascq. Thèse de Doctorat. Université de Lille 1 (France), 229 p.

J

- Joel, G., 2003. La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris, Novembre(2003). 167p.
- Jones, R.I., 1998. Phytoplankton, Primary Production and Nutrient Cycling. In: Hessen, D.O., Tranvik, L.J. (eds) *Aquatic Humic Substances. Ecological Studies*, vol 133. Springer, Berlin, Heidelberg.

Références bibliographiques

- JUERY, J., 2002. Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau. Direction de l'Espace Rural et de la Forêt : France.

K

- Kankou, M., 2004. Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégalien Mauritanie : étude en laboratoire du comportement de deux pesticides, Thèse de doctorat, Université de Limoges. 159p.
- Kara, K., 2019, pollution de l'environnement, la pollution des eaux. Cour 2 Chapitre 4 la pollution des eaux Université Mentouri Constantine, (Algerie). 2p.
- Kerdoud, S., 2006. Les bassines versent de Béni-Haroun eau et pollution. Présenté pour l'obtention du Diplôme de magister. Université Mentouri-Constantine, 7-31 p.
- Khammar, H., 2018. Polycopie de cours Hydrochimie et qualité des eaux.
- Khattabi, H., 2002. Intérêts de l'étude des parametres hydrogéologiques et Hydro - biologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures menageres d'Etueffont (Belfort, France).Thèse de doctorat 3émé cycle. 66-67p.
- Khoubache, I., Laouar, N., 2006. Etude de la pollution organique des eaux de l'Oued Kebir (W.Jijel). Univ de Jijel. Diplôme d'ingénieur d'état. Fac des Sciences. 61p.
- Kofoed, C.A., 1909. On Peridinium steinii Jörgensen, with a note on the nomenclature of the skeleton of the Peridinidae. Archiv für Protistenkunde. 16 : 25-47.
- Kornprobst, J.M., 2005. Substances naturelles d'origine marine : chimiodiversité, pharmacodiversité, biotechnologies. Éditions Tec & Doc - Lavoisier, Paris, France, 1800p.
- Kristiansen, J., 2005. Golden algae. A biology of chrysophytes. Liechtenstein: A. R. G. Gantner Verlag, distributed by Koeltz Scientific Books. 167p.
- Kruk, C., Van-Donk, E.H., Ringelberg, J.P.H., Hessen, D.O., & Scheffer, M., 2002. The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. Hydrobiology, 491(1-3), 221-234.
- Kugrens, P., et Clay, B.L., 2003. Cryptomonads. Dans : Freshwater Algae of North America : Ecology and Classification. Wehr, J.D. et Sheath, R.G. (eds). Academic Press, Paris.

Références bibliographiques

L

- Lahard, C., 2014. Etude de la dynamique, de la composition biochimique et de la variabilité génétique des Copépodes et des Artemia d'un écosystème extrême : la saline de Sfax .Thèse de Doctorat. Université de Sfax, Tunisie. 245p.
- Lampert, W., Fleckner, W., Rai, H., Taylor, B.E., 1986. Phytoplankton control by grazing zooplankton: A study on the spring clear water phase. Limnol. Oceanog. 31. 478-490.
- Lecoq, R., 1965. Manuel d'analyse alimentaire et d'expertises usuelles, Tome2 1er édition, Dion-Deron et C'a, Paris. 910p.
- Leveque, C., 2001. Ecologie de l'écosystème à la biosphère. Dunod. Paris, 502p.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T. P., & Stephens, C., 2005. Warming of the world ocean, 1955-2003. Geophysical Research Letters, 32(2), L02604.
- Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. Limnology and Oceanography, 12(2), 343-346.
- Loup, J., 1974. Les eaux terrestres, Edition Masson et Cie, Paris.

M

- M.E.F., 1994. Guide de conception des réseaux de surveillance de la qualité des eaux de surface. Québec : Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- McQueen, D.J., Post, J.R., & Mills, E.L., 1986. Trophic Relationships in Freshwater Pelagic Ecosystems. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 43, 1571-1581.
- McQueen, D.J., Post, J.R., et E.L., Mills, 1986. Bottom-Up and Top-Down Impacts on Freshwater Pelagic Community Structure. Ecological Monographs, 56(1). 289-3092p.
- Mebarki, A., 1982. Le bassin du kébir-Rhumel (Algérie) : hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau.
- Mebarki, A., 2005. Hydrologie des Bassins de l'Est Algérien: Ressources en eau, aménagement et environnement Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri de Constantine.
- Mekhalif, F., 2009. Réutilisation Des Eaux Résiduaire Industrielle Épurée Comme Eau D'appoint Dans Un Circuit De Refroidissement, Mémoire de Magister en Chimie

Références bibliographiques

Option : Pollution Chimique et Environnement, Université du 20 Août 1955, SKIKDA
Faculté des Sciences Département des Sciences Fondamentales. 3-23 p.

- Melghit, M., 2009. Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau /Sédiments de l’oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et benharoun Université Mentouri de Constantine. Mémoire de Magistère en Ecologie. 141p.
- Merghadi, A., Abderrahmane, B., et Tien Bui, D., 2018. Landslide susceptibility assessment at Mila Basin (Algeria): a comparative assessment of prediction capability of advanced machine learning methods. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7(7), 268.
- Metahri, M.S., 2012. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat. Université de Tizi-Ouzou (Algérie). 172 p.
- Micha, J.C.L., 1988. L’impact de l’homme sur l’écosystème Meuse. Ed. Presse Universitaire de Namur, Belgique, 140p.
- Mizi, A., 2006. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba. 27p.
- Mollo, p., 2013. Le Manuel du plancton. Edition Charles Léopold Mayer, Paris, 96 p.
- Mollo, P., et Noury, A., 2013. Le manuel du plancton, Éditions Charles Léopold Mayer, Essai N° 195, France, 198p.
- Mouelhi, S., Balvay, G., Kraiem, M., 2000. Branchiopodes (Cténopodes et Anomopodes) et Copépodes des eaux continentales d’Afrique du Nord : inventaire et biodiversité. Zoosystema 22(4), 748p.

N

- N’diaye, 2008. Thèse Diplôme d’Etat (Docteur en Pharmacie) Etude bactériologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre communes d’Abidjan, Université de Bamako Faculté de Médecine, de Pharmacie et d’Odonto-Stomatologie (Mali). 188p.
- Nalco., 1983 Manuel de l’eau, TEC- DOC – Lavoisier, Paris.
- Nave, C.R., 2020. Electrical conductivity. Hyperphysics. Georgia state university Atlanta, Georgia. (Disponible sur [http : // hyperphysics. phyastr. gsu. Edu / hbase / electric / conduc. Html.](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/conduc.html)).

Références bibliographiques

O

- Office National de la Météorologie (ONM). 2021. Direction régionale Est. Station météorologique d'Ain Tin. Mila. Phénomène enregistré pour la wilaya de Mila.
- OMS., 2012. Prévention et lutte contre l'hépatite virale. 32p.
- Onema, P., 2015. L'état des eaux de surface et des eaux souterraines, évaluer l'état des eaux pour agir, Service public d'information sur l'eau.
- ONM., 2017. Office national de météorologie de Constantine, station d'Ain El Bay, 2017.

P

- Parson, S.D., Bierman, J.R.V.J., Silliman, S.E., 1989. An evaluation of methods for the estimation of tributary mass loads. Water Resour. Res, 25(6): 1379-1389.
- Pearson, H.W., Mara, D.D., Mills, S.W., & Smallman, D.J. 1987. Factors determining algal populations in waste stabilization ponds and the influence of algae on pond performance. Water Science and Technology, 19(12), 131-140. 3
- Philippe, S., 2014. Propriétés physiques de l'eau. Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la Mer, France.
- Plantaz, Dominique, 2005. Méningites infectieuses de l'enfant (96).docteur Cécile. Article. BOST-BRU. 7p.
- Potellon, J., 1998. « Le guide des analyses de l'eau potable ». Edition de la terre du cadre territoriale. 117p.
- Pourriot, R., 1982. Ecologie du plancton des eaux continentales Massons. Paris. 198 p.
- Preul, H.C., 2000. La lutte contre la pollution de l'eau. In J-M. Stellman. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Ed. International Labour Organization. Vol. 1. Genève, Suisse. 4838 p.

R

- Ramade, F., 1981. Ecologie des ressources naturelles, Edition Masson., France. 136-142p.
- Ramade, P., 2005. Eléments d'écologie : Ecologie appliquée. Edit Dunod. 6 édition. Paris. 863p.
- Raven, P.H., Berg, L.R., Hassanzahl, D., 2009. Américaine par marie pascale la ceannehancock Guy lempriere, 6 édition, 97-98 p.

Références bibliographiques

- Reynolds, C.S., 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. 384 p.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-flores, L., et Melo, S. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*. 24 417-428.
- Roche, D.A., Miquel, J., Gaume, E., 2012. Hydrologie quantitative : processus, modèles et aide à la décision. Ed. Springer-Verlag France. 7p.
- Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer, 7ème édition, Dulod, Paris.
- Rodier, J., 1996. L'analyse de L'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, 8ème Edition, Dunod, Paris, 13-35p.
- Rodier, J., 2009. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9ème édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
- Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H., & Rodi, L., 1996. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Dunod. Paris. 1383p.
- Rose, M., 1933. Copépodes pélagiques. Faune de France(26). 374p.
- Rossi, N., 2008. Ecologie des communautés planctoniques méditerranéennes et étude des métaux lourds (Cuivre, Plomb, Cadmium) dans différents compartiments de deux écosystèmes cotiers (Toulon, France). Biologie de l'environnement, des populations, écologie l'Université du Sud Toulon-Var. thèse de doctorat. 223p.
- Rouamba, J., Nikiema, E., Rouamba, S., 2016. Accès à l'eau potable et risques sanitaires en zone périphérique d'Ouagadougou, Burkina Faso. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*. 2016;64:S211.
- Roux-Jean Claude., 1995 ; Les secret de la terres ; l'eau : source de vie ; Edition BRGM. 63p.

S

- Sanders, R.W., Porter, K.G., et Caron, D.A., 1990. Relationship between phototrophy and phagotrophy in the mixotrophic chrysophyte *Poterioochromonas malhamensis*. *Microbial Ecology*. 19: 97-109.
- Saoudi, A., 2008. Isolement, culture et évaluation de la toxicité des efflorescences à *Microcystis* sp., du barrage Mexa (El-Tarf). Département de biochimie Badji Mokhtar-Annaba. Magister en Diversité microbienne. 149p.

Références bibliographiques

- Schuddeboom, J., 1993. Nitrates et Nitrites dans les denrées alimentaires. Éditions du Conseil de l'Europe, Strasbourg, 11p.
- Schwartzbrod, J., Capizzi-Banas, S., 2003. Parasite contamination of liquid sludge from urban waste water treatment plants, *Water Science and Technology* 47. 163- 166p.
- Sommer, U., Gliwicz, Z.M., Lampert, W., & Duncan, A., 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*, 106, 433-471.
- Starmach, K., 1974. Cryptophyceae, Dinophyceae, Raphidophyceae. *Flora Slodkowodna Polski*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Stumm, W., & Morgan, J.J., 1996. *Aquatic Chemistry: Chemical equilibrium and rates in natural waters*. Wiley. Inter. Science. Publication. Third edition. 1024p.

T

- Talita SILVA, Bruno J., LEMAIRE et Brigitte VINCON-LETTE., 2011. Suivi du phytoplancton dans les lacs urbains à l'aide d'une bouée instrumentée : le cas du lac d'Enghien- les-Bains ; Université Paris- Est, LEESU, Ecole des ponts Paris Tech, 6 et 8 avenue Blaise Pascal, Cité Des cartes, 77455 Marne la Vallée Cedex 2, 2011. 2 p.
- Tardat-Henry, M., 1992 : *Chimie des eaux*, 2ème Edition, Les éditions du Griffon d'Argile. 213- 215p.
- Thomas, O., 1995. *Métrie des eaux résiduaires*, Edition Cebe Dospol.
- Tlili, S., Ovaert, J., Souissi, A., Ouddane, B., & Souissi, S., 2016. Acute toxicity, uptake and accumulation kinetics of nickel in an invasive copepod species: *Pseudodiaptomus marinus*.
- Touahria, T., 1999. Etude de la biomasse, de la composition et de la structure des peuplements phytoplanctoniques de la mer d'Alboran Est. Thèse de Magister, FSB-USTHB, 200p.

V

- VILLERS J., 2005. *Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface*, Edition Squilbin M., Yourassowsky C, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.

W

- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd Edition. Academic Press, London.

Références bibliographiques

Y

- Yon, V., 2004. Mesure en continu de l'oxygène dissous dans le lac du BOURGET (SAVOIE), relation avec la production phytoplanctonique DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie Université Pierre et Marie Curie, Université Paris-Sud, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts thèse de doctorat. 147p.
- Zgheib, S., 2009. Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire .Hydrologie . Ecole des ponts. Paris. 20p.
- Zubkov, M.V., et Tarran, G. A., 2008. High bacterivory by the smallest phytoplankton in the North Atlantic Ocean. Nature. 455: 224.

Site webe

- [Site web 1] : https://khaymasvt.ma /utilisation_matières_6/
- [Site web 2] : <https://www.biologiemarine.com /00001/cyanophyce/index.html>.
- [Site web 3] : https://superrask.xyz/product_details/47469197.html .
- [Site web 4] : <https://www.sciencedirect.com / topics / agricultural - and biologicalsciences / xanthophyceae>.
- [Site web 5] : http://rea. Deccllic . qc . ca / dec _ virtuel / Biologie / 101NYA05 / Cellule _et _evolution/3. Evolutio _et _ecologie/Ecosysteme/diatome/cddiatomes.htm.
- [Site web 6] : <https://www.aquaportail.com / dictionnaire / definition / 13353 / phytoflagelles.html>.
- [Site web 7] : https://www.researchgate.net /figure/Euglenophytes-documented-in-samples-from Graniczna-Woda-stream-A-Phacus-indicus-B_fig2_275038517.
- [Site web 8] : <https://www.revue-ein.com/ article / le-phytoplancton-en-potabilisation-focus-sur-le-traitement-des-algues-par-l-actiflo>
- [Site web 9] : <https://recifaliste.fr/le-zooplancton-pour-recifal-copepodes/>
- [Site web 10] : https://www.persee.fr /doc/linly_0366-1326_1984_num_53_3_10627
- [Site web 11] : <https://www.reef-guardian.com /news-article-1535.html>