

N°Ref :.....



Centre Universitaire
Abd Elhafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

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 :

**Contribution à l'étude de la qualité physicochimique des eaux
du bassin d'Oued Kebir-Rhumel (Nord-Est Algérie)**

❖ Présenté par :

- Khelifi Madjida

❖ Devant le jury composé de :

Mr. REBBAH Abderraouf Chouaib

Mr. LAALA Ahmed

Mr. BOUCHAREB Noureddine

Maitre de conférences -B

Maitre de conférences - A

Maitre de conférences - A

Président

Examinateur

Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023



وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ

كُلِّ شَيْءٍ حَيٍّ

سورة الأنبياء 30



REMERCIEMENTS

«...Nous tenons à remercier tous d'abord ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et le courage pour réaliser notre mémoire,

Dieu soit loué, qui nous a permis d'apprécier cette étape de notre cheminement académique avec ce mémoire,

Fruit d'efforts et de réussite,

Ensuite nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail

En particulier a :

Le Docteur BOUCHAREB Noureddine, notre encadreur, pour son aide efficace, ses conseils judicieux qui ont amélioré la réalisation de ce mémoire, et pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire de fin d'étude.

Merci profondément pour votre encouragement continu, Votre amabilité, votre sérieux, votre compréhension et compétence et surtout vos qualités humaines nous ont beaucoup marqués.

Mr. REBBAH Abderraouf Chouaib

Président, pour nous avoir fait l'honneur et le plaisir de présider ce jury.

Mr. LAALA Ahmed

D'avoir accepté de faire partie du jury et de donner de son temps pour examiner ce travail

Nous sommes très honorés de leur présence dans ce jury

Tous les enseignants, les professeurs et les assistants de centre universitaire Abdelhafid Boussouf Mila durant le cycle d'étude

Un grand merci à tous...»



DEDICACES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail à...

Mes très chers parents

Salim et Nouara que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leurs encouragements continus en témoin

de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

A ma mère...

Qui m'a donnée la vie la tendresse et le courage pour réussir. Tous ce que je peux t'offrir ne pourrais exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte je te remercie pour tes sacrifices et pour l'affection dont tu m'a toujours entourée.

A mon père...

L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et mon respect, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie

A mes chères sœurs...

(Meriem ; Soumia ; Nabila ; Houda) et mon frère ***Nacer El-din***

Pour leur grand amour et leur soutien qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

*Et toute ma famille ; mes proches sur tout mon amie **Rahmi Meriem.** qui m'ont toujours encouragé dans les moments difficiles.*

A Dina Djihane qui m'a vraiment aidé pour finir ce travail.

*Et toute la famille **Khelifi***

Merci à tous

Madjida ♥

Résumé

Résumé

L'étude de la qualité physicochimique des eaux est d'une importance cruciale pour la préservation de l'environnement et la santé humaine. Dans ce contexte, cette recherche se concentre sur l'évaluation de la qualité des eaux du bassin d'Oued Kebir-Rhumel, situé dans le nord-est de l'Algérie. L'objectif principal de cette étude était de déterminer les paramètres physicochimiques clés et d'analyser leur impact sur la qualité des eaux de ce bassin. Pour atteindre cet objectif, des échantillons d'eau ont été prélevés durant le mois de février 2023 à différents points au long d'Oued Kebir-Rhumel (Amont Barrage : Oued Endja, Oued Radjas, Oued El-Kotonne et Oued Rhumel ; Aval Barrage et Embouchure), puis analysés en laboratoire. Les paramètres physicochimiques étudiés comprenaient le pH, la conductivité électrique (CE), total des sels dissous (TDS), la salinité (Sal), les nutriments tels que les nitrates (NO_3), les nitrites (NO_2), l'ammonium (NH_4), les phosphates (PO_4) et silicium (SiO_4). Les résultats de l'analyse ont révélé une variation significative des paramètres étudiés. En ce qui concerne l'azote et le phosphore, les branches de l'Oued Rhumel et de l'Oued Radjas présentent des concentrations élevées en NH_4 et PO_4 , ce qui indique une pollution potentielle d'origine agricole et domestique. En aval du barrage, on observe une diminution remarquable des concentrations en nutriments (NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 et SiO_4) en raison de l'effet du barrage (activité biologique). Les teneurs en silicium dans l'ensemble des stations varient entre 10.63mg/l et 424.89mg/l. La conductivité électrique est généralement plus élevée dans les branches de l'Oued Radja et de l'Oued Rhumel. Les régions rurales et urbaines étudiées ont toutes connu des apports atmosphériques d'azote, de phosphore et de silicium pendant la période humide de 2022-2023. Les sources de ces éléments varient en fonction de l'environnement local, avec une influence agricole faiblement marquée dans les zones rurales et une influence urbaine plus prédominante dans les zones urbaines. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la mise en place de stratégies de protection et de gestion efficaces visant à prévenir la dégradation de la qualité de l'eau dans cette région et à garantir un approvisionnement en eau sûr et durable pour les populations locales.

Mots clé : nutriment, barrage, eau de pluie, activités anthropique et rivières.

Abstract

Abstract

The study of the physicochemical quality of water is of crucial importance for the preservation of the environment and human health. In this context, this research focuses on assessing the water quality of the Oued Kebir-Rhumel basin, located in Northeastern Algeria. The main objective of this study was to determine physicochemical parameters and analyze their impact on the water quality of this basin. To achieve this objective, water samples were collected during the month of February 2023 at various points along Oued Kebir-Rhumel river (Upstream of the dam: Oued Endja river, Oued Radjas river, Oued El-Kotonne river, and Oued Rhumel river; Downstream of the dam and Kebir-Rhumel mouth river), and then analyzed in the laboratory. The physicochemical parameters studied included pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), salinity (Sal), and nutrients such as nitrates (NO_3), nitrites (NO_2), ammonium (NH_4), phosphates (PO_4), and silicates (SiO_4). The analysis results revealed a significant variation in the studied parameters. Regarding nitrogen and phosphorus, the branches of Oued Rhumel river and Oued Radjas river showed high concentrations of NH_4 and PO_4 , indicating potential pollution from agricultural and domestic sources. Downstream of the dam, there was a remarkable decrease in nutrient concentrations (NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , and SiO_4) due to the dam's effect (biological activity). Silicates concentrations in all stations ranged from 6.20 mg/l to 20.62 mg/l. Electrical conductivity was generally higher in the branches of Oued Radja River and Oued Rhumel River. The rural and urban regions studied all experienced atmospheric inputs of nitrogen, phosphorus, and silicates during the wet period of 2022-2023. The sources of these elements vary depending on the local environment, with a low pronounced agricultural influence in rural areas and a more predominant urban influence in urban areas. The obtained results can serve as a basis for the implementation of effective protection and management strategies aimed at preventing water quality degradation in this region and ensuring a safe and sustainable water supply for the local populations.

Keywords: nutrient, dam, rainwater, anthropogenic activities, and rivers.

تعتبر دراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه ذات أهمية حاسمة للحفاظ على البيئة وصحة الإنسان. في هذا السياق، يركز هذا البحث على تقييم جودة مياه حوض وادي كبير الرمال، الواقع في شمال شرق الجزائر. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحديد المعلومات الفيزيائية والكيميائية الرئيسية وتحليل تأثيرها على جودة المياه في هذا الحوض. ولتحقيق هذا الهدف، تم أخذ عينات من المياه خلال شهر فبراير 2023 في محطات مختلفة على طول وادي كبير الرمال (مدخل سد بني هارون: وادي النجاء، وادي رجاص، وادي القطن ووادي الرمال؛ مخرج سد بني هارون وعند المصب في البحر)، ثم تحليلها في المختبر. تضمنت المؤشرات الفيزيائية والكيميائية التي تمت دراستها: درجة الحموضة (pH)، الناقلية (CE)، أجمالي الأملاح المذابة (TDS)، الملوحة (Sal)، الأملاح المغذية كالنترات (NO₃)، النتريت (NO₂)، الأمونيوم (NH₄)، الفوسفور (PO₄) والسليسيوم (SiO₄). وقد كشفت نتائج التحليل عن تباين كبير في المؤشرات المدروسة. وفيما يتعلق بالنيتروجين والفوسفور، فإن فرعي وادي الرمال ووادي رجاص يحتويان على مستويات عالية من NH₄ و PO₄، مما يشير إلى تلوث محتمل من مصادر زراعية ومنزلية. عند مخرج السد، هناك انخفاض ملحوظ في مستويات المغذيات (NH₄ و NO₃ و NO₂ و PO₄ و SiO₄) وهذا راجع لتأثير السد (النشاط البيولوجي داخل السد). يتراوح محتوى السليسيوم في جميع المحطات المدروسة من 6.20 ملغ / لتر إلى 20.62 ملغ / لتر. تكون الناقلية أعلى بشكل عام في فروع وادي النجاء و الرمال. من جهة أخرى عرفت المناطق الريفية والحضرية المدروسة تعرض لتساقطات جوية متفاوتة من النيتروجين والفوسفور والسليسيوم خلال الفترة الرطبة 2022-2023 وتختلف مصادر هذه العناصر باختلاف البيئة المحلية، مع تأثير زراعي متوسط في المناطق الريفية وتأثير حضري أكثر انتشارا في المناطق الحضرية. يمكن أن تكون النتائج التي تم الحصول عليها بمثابة أساس لاستراتيجيات الحماية والإدارة الفعالة لمنع تدهور نوعية المياه في هذه المنطقة ولضمان إمدادات مياه آمنة ومستدامة للسكان المحليين.

الكلمات المفتاحية: المغذيات، سد، مياه الأمطار، الأنشطة البشرية والأنهار.

SOMMAIRE



Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract الملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

Partie 01 : Généralités sur l'eau

1.1. Définition de l'eau 03

1.2. Composition de la molécule d'eau 03

1.3. Cycle de l'eau 03

1.4. Différents états de l'eau 05

1.4.1. États de l'eau 05

1.4.1.1. L'eau sous forme solide 05

1.4.1.2. L'eau sous forme liquide 05

1.4.1.3. L'eau sous forme de gaz 06

1.5. Propriétés de l'eau 06

1.5.1. Propriétés chimiques de l'eau 06

1.5.2. Propriétés physique 06

1.5.3. Propriétés électriques 07

1.5.4. Propriétés optiques 07

1.6. Les sources des eaux 07

1.6.1. Les eaux de pluie..... 07

1.6.2. Les eaux souterraines 07

Sommaire

1.6.3. Les eaux superficielles	07
1.7. Importance de l'eau	07
1.8. L'eau et la Santé	08
1.9. Ressources hydriques en Algérie	08
Partie 02 : pollution de l'eau	
2. Définition	09
2.1. Pollution des eaux de surface	10
2.1.1. Différents types d'eau pour la consommation humaine	10
2.1.1.1. Les eaux naturelles	10
2.1.1.2. Les eaux souterraines	10
2.1.1.3. Les eaux de surface	11
2.1.1.4. Eau de mer	11
2.2. Principaux éléments présents dans l'eau en liaison avec l'action anthropique	11
2.2.1. Sodium	11
2.2.2. Potassium	11
2.2.3. Chlorures	12
2.2.4. Sulfate	12
2.2.5. Eléments traces métalliques	12
2.3. Les principales origines des pollutions	12
2.3.1. Origine domestique	12
2.3.2. Origine industrielle	13
2.3.3. Origine agricole	13
2.3.4. Origine urbaine et routière	13
2.4. Les types de pollution	14
2.4.1. Pollution naturelle	14
2.4.2. Pollution physique	14

Sommaire

2.4.3. Pollution mécanique	14
2.4.4. Pollution chimique	15
2.4.5. Pollution biologique	15
2.4.6. Pollution agricoles	15
2.4.7. Pollution industrielle	16
2.4.8. Les polluants bactériologiques	17
2.5. Conséquences de la pollution de l'eau	18
Partie 03 : surveillance de la qualité de l'eau	
3. Evaluation de la qualité de l'eau	19
3.1. Evaluation de la qualité organoleptique	19
3.1.1. Couleur	19
3.1.2. Odeur	20
3.1.3. Goût et saveur	20
3.1.4. Turbidité	20
3.2. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau	20
3.2.1. Température	20
3.2.2. Potentiel d'hydrogène	21
3.2.3. Oxygène dissous	21
3.2.4. Matières en suspension	21
3.2.5. La conductivité électrique	21
3.2.6. Total des solides dissous	22
3.2.7. Chlorures	22
3.2.8. Sulfates	22
3.3. Les nutriments	22
3.3.1. Formes azotées	23
3.3.2. Phosphore (PO ₄ ³⁻)	24

Sommaire

3.3.3. Silicium (SiO ₄)	25
3.4. Paramètres relatives à la pollution	26
3.4.1. Demande Chimique en Oxygène	26
3.4.2. Demande Biologique en Oxygène	27
3.4.3. La biodégradabilité	27
3.5. Les paramètres bactériologiques	27
3.5.1. Critères bactériologiques de l'eau	27
3.5.2. Les micro-organismes recherchés dans l'eau	27
3.5.2.1. Les coliformes	27

Partie 04 : Maladies à transmission hydrique

4.1. Généralités	28
4.2. Mode de transmission.....	29
4.3. Mécanisme des infections d'origine hydrique	29
4.4. Les maladies à transmission hydrique	30
4.4.1. Les maladies d'origine bactérienne	30
4.4.2. Les maladies d'origine virale	31
4.4.3. Les maladies d'origine parasitaire	31

CHAPITRE II : Matériel et Méthode

Partie 01 : Présentation de la zone d'étude

1.1. Localisation et présentation de la Wilaya de Mila	32
1.1.1. Situation géographique et administrative	32
1.1.2. Situation édaphique	32
1.1.2.1. Pédologie	32
1.1.2.2. Géologie	33
1.1.2.3. Relief	33
1.2. Situation climatique	34
1.2.1. Température	34
1.2.2. Précipitations	35

Sommaire

1.2.3. Diagramme Pluiothermique ou Ombrothermique	36
1.2.4. Humidité	37
1.2.5. Vent	38
1.3. Situation hydrologique	39
1.3.1. Eaux souterraines	39
1.3.2. Eaux de surface	39
1.4. Cadre biotique	40
1.4.1. Flore	40
1.4.2. Faune	40
2. Localisation et présentation de la zone d'étude	41
2.1. Présentation du bassin versant de Kébir-Rhumel	41
2.1 Situation géographique	41
2.2. Réseau hydrographique	42
2.3. Situation climatique	43
2.3.1. Pluviométrie	43
2.3.2. Le vent	44
Partie 02 : méthodes de prélèvements et d'analyses	
3.1. Méthodes de prélèvements hydrologiques et choix des sites	44
3.1.1. Prélèvement hydrologique	44
3.1.2. Méthode d'analyse physico-chimique	46
3.1.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal (NH ₄)	47
3.1.2.2. Dosage du Nitrates (NO ₃ ⁻)	48
3.1.2.3. Dosage du Nitrites (NO ₂ ⁻)	49
3.1.2.4. Dosage d phosphore (PO ₄ ⁻)	51
3.1.2.5. Dosage des silicates Si(OH) ₄ ou SiO ₄	51

CHAPITRE III : Résultats et Discussion

1. Evaluation des paramètres physiques des eaux en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	53
1.1. Potentiel d'hydrogène	53
1.2. Conductivité électrique	53
1.3. Taux des sels dessous	53

Sommaire

1.4. Débit	54
2. Distribution de N, P et Si en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	54
2. Evaluation des paramètres physiques des eaux de pluies dans la région rurale et la région urbaine au cours de la période humide 2022-2023	59
2.1. Potentiel d'hydrogène	59
2.2. Conductivité électrique	59
2.3. Taux des sels dessous	59
5. Apports atmosphériques de l'azote, du phosphore et du silicium dans la région rurale et la région urbaine durant la période humide 2022-2023	60
Conclusion	63

Liste des références

Liste des Tableaux

Tableaux n°	Titre	Page
01	Température d'ébullition de quelques composés	06
02	Masse volumique de l'eau à la température	06
03	Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique	17
04	Risques de la pollution de l'eau	19
05	Principales maladies d'origine bactériennes	30
06	Principales maladies d'origine virale.	31
07	Principales maladies d'origine parasitaire.	31
08	Paramètre de température durant la période (2010-2020) de la région d'étude	34
09	Précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020)	35
10	Variation de précipitation et température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	36
11	Moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	37
12	Variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2020) de la région d'étude	38
13	Résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques et biochimiques	46
14	Variations des paramètres physiques en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun et à l'embouchure pendant le mois de février 2023.	54
15	Les paramètres physiques des eaux de pluie dans les régions rurales de Terrai Bainen et Minar Zarza, ainsi que dans les régions urbaines de Sidi-Maroune, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua, au cours de la période humide de 2022-2023.	60
16	Variations des concentrations en nutriments (mg/l^{-1}) et des rapports stœchiométriques de Redfield ($\text{mg/l}^{-1} / \text{mg/l}^{-1}$) dans les eaux de pluie des régions rurales et urbaines pendant la période humide de 2022-2023.	62

Liste des figures

Figure n°	Titre	Page
01	Structure chimique de la molécule d'eau	03
02	Cycle de l'eau	04
03	Répartition de l'eau sur terre	05
04	Principales causes de pollution	14
05	Grandes étapes de l'eutrophisation	18
06	Cycle de l'azote; les flèches noires représentent les processus déduction et les flèches grises, les processus d'oxydation	24
07	Cycle du phosphore dans le sol et l'eau	25
08	Cycle biogéochimique global du silicium	26
09	Situation géographique et administrative de la Wilaya de Mila	32
10	Carte des reliefs de la Wilaya de Mila	33
11	Précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	36
12	Diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2020)	37
13	Variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020)	38
14	Variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020)	39
15	Type d'occupation des forêts de la Wilaya de Mila	40
16	Diversité faunistique de la région de Mila	40
17	Situation du bassin versant de Kébir-Rhumel	42
18	Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kébir-Rhumel	43
19	Stations pluviométriques du bassin versant Kébir-Rhumel	44
20	Station embouchure et amont Barrage (branche oued Rhumel)	45
21	Stations d'échantillonnage dans le bassin de Kébir-Rhumel dans le mois de février 2023.	45
22	Filtrages des eaux prélevées	46
23	Dosage des nitrates (NO ₃)	49
24	Dosage des nitrites (NO ₂)	50
25	Dosage des phosphates (PO ₄)	51
26	Dosage des ortho-silicates Si(OH) ₄ ou SiO ₄	52
27	Variations des teneurs de l'azote inorganique dissous (NH ₄ ; NO ₃ et NO ₂) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun	57
28	Variations des teneurs en nutriments (NID, PO ₄ et SiO ₄) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun au cours du mois de février 2023.	58

Liste des abréviations

ABH : Agence de bassins hydrauliques.
ABH, C.S.M : Agence de bassins hydrauliques constantinois-seybousse-mellegue.
Al : Aluminium.
ANDI : Agence nationale de développement de l'investissement.
Avr : Avril.
Ca²⁺ : L'ion calcium.
Cd : Cadmium.
CE : Commission Européenne
CE : Conductivité électrique.
CF : Conservation des forêts.
CH₄ : Méthane.
Cl : Chlorure.
Cm : Centimètres.
CO : Monoxyde de carbone.
CO₂ : Dioxyde de carbone.
DBO₅ : Demande biochimique en oxygène.
DCO : Demande chimique en oxygène.
Déc : Décembre.
EAA : Eau Hygiène et Assainissement pour l'Afrique
E-coli : Eschirichia coli
erg/cm : Erg par centimètre.
etc : Et cetera.
Fév : Février.
fig : Figure.
g : Gramme.
g/cm³ : Gramme par centimètre cube.
HCl : Chlorure d'hydrogène.
h : Heure.
H⁺ : L'ion d'hydrogène.
H₂O : Monoxyde de dihydrogène.
H₂S : Thiosulfate.
H₂SO₄ : L'acide sulfurique.
HCO₃⁻ : L'ion bicarbonate.
Hg : Mercure.
Hm : Hectomètre.
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/s¹: Mètre cube par seconde.
Mar : Mars.
Max : Maximum.
MES : Matières en suspension.
mg : Milligramme.
mg/l : Milligramme par litre.
Mg²⁺ : L'ion magnésium.
Min : Minute
Mini : Minimum.
ml : Millilitre.
mm : Millimètre.
Moy : Moyenne.
MTH : Maladies à transmission hydrique.
N² : Diazote.
Na⁺ : L'ion sodium.
NH³ : L'ammoniac.
NH₄⁺ : L'ion ammonium.
NID : Azote inorganique dissous.
nm : Nanomètre.
NO : Monoxyde d'azote.
NO₂ : Dioxyde d'azote.
NO₃ : Nitrates.
NOD : Azote organique dissous.
Nov : Novembre.
O₂ : Dioxygène.
Oct : Octobre.
OD : Oxygène dissous.
OMS : Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson
ONM : Office national de la météorologie.
ONU : Protection des ressources en eau douce et de leur qualité
Pb: Plomb.
PCB : Polychlorobiphényle.
pH : Potentiel hydrogène.
PNUE : Pollution des eaux douces
PO₄ : Ortho-phosphates.
PP : Précipitation.
Sep : Septembre.
Si(OH)₄ : Acide ortho-silicique.
SiO₄ : Silicate.
SO₂ : Dioxyde de soufre.

Liste des abréviations

SO₄²⁻ : L'ion sulfate.

T° : Température.

tab : Tableau.

TDS : Total des solides dissouts.

WHO : World health organization.

µm : Micromètre.

% : Pourcentage.

λ : Longueur d'onde.

°C : Degré Celsius.

µs/m : Microsiemens par mètre.

µM : Micromole.



Introduction

L'eau joue un rôle essentiel dans le soutien des activités humaines productives telles que l'agriculture, l'énergie, l'industrie, l'assainissement, les services de transport, la pêche et le tourisme (UNEP, 2009). Cependant, ces différentes activités entraînent une altération de la qualité de l'eau, causée par une surcharge en matière organique, des substances toxiques provenant des activités agricoles, ainsi que par des effluents industriels et domestiques rejetés dans le milieu récepteur sans traitement. Les milieux aquatiques, étant des milieux chimiques merveilleux dotés de propriétés uniques en termes de dissolution et de mise en suspension de divers produits chimiques, sont donc facilement contaminables (Spellman et al., 1999).

La qualité de l'eau est influencée par un large éventail de phénomènes naturels et anthropiques. Différents processus naturels, tels que les processus hydrologiques, physiques, chimiques et biologiques, peuvent nuire aux caractéristiques des éléments et composés chimiques présents dans l'eau douce. De plus, plusieurs activités humaines, telles que l'activité industrielle, l'usage agricole ou les chantiers d'ingénierie fluviale, peuvent dégrader la qualité de l'eau (Chapman, 1996).

Les principales sources de pollution des eaux de surface sont liées à l'utilisation intensive des pesticides et des engrais, à la mauvaise gestion des décharges d'ordures, aux rejets d'eaux usées non traitées provenant des industries, des hôpitaux et des ménages, ainsi qu'à l'intensification des activités industrielles et agricoles, ainsi qu'à la croissance rapide de la population (McKinney, 2002; Lamizana Diallo et al., 2008).

Les déchets liquides et solides provenant des activités domestiques constituent une source importante de pollution des eaux de surface. En Afrique, seulement 3% des ménages évacuent correctement leurs eaux usées domestiques. Les eaux usées sont directement déversées dans les rues, les cours et les caniveaux, ce qui entraîne la stagnation d'eau de douches ou d'eau ménagère entre les habitations (EAA, 2012).

La pollution agricole est principalement due à l'utilisation intensive et abusive d'engrais (chimiques et organiques) et de pesticides. La pollution causée par les pesticides tels que les herbicides, insecticides et fongicides a été récemment mise en évidence (Carluer et al., 1996).

Les activités industrielles peuvent également entraîner une dégradation de la qualité des écosystèmes. Cette pollution industrielle est causée par les effluents industriels et les différents produits toxiques utilisés. Les effluents, qu'ils soient traités ou non, sont déversés dans la mer, les rivières ou les sols (Bawa et al., 2005). Ces effluents polluent les eaux de surface en transférant des polluants tels que les métaux lourds et les colorants (Voegborio et al., 2011).

Les changements climatiques survenus au cours des dernières décennies ont entraîné un stress hydrique qui a eu des répercussions négatives non seulement sur la végétation, mais aussi

sur le niveau des barrages et des retenues collinaires. À cette situation s'ajoute la dégradation de la qualité de l'eau due à de multiples facteurs de pollution, tant domestiques qu'industriels ([Ammimer, 2015](#)).

L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en termes de ressources hydriques. En 1962, la disponibilité annuelle en eau par habitant était de 1500 m³, mais elle est passée à 720 m³ en 1990, à 680 m³ en 1995 et à 630 m³ en 1998. Actuellement, la disponibilité annuelle en eau par habitant est de 500 m³. En raison de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m³ par habitant en 2020 ([Zerouali, 2012](#)).

Quelle sont les principales sources de pollution et les facteurs influençant la qualité physicochimiques des eaux dans le bassin d' Oued Kebir-Rhumel en Algérie ?

Le manuscrit est structuré en trois chapitres essentiels :

- Le premier chapitre présente des informations générales sur la pollution des eaux, les paramètres d'évaluation de la qualité des eaux de surface et les caractéristiques biogéochimiques des éléments étudiés tels que l'azote, le phosphore et le silicium.
- Le deuxième chapitre se concentre sur les caractéristiques géographiques du bassin Kébir-Rhumel et du barrage de Béni-Haroun, la stratégie d'échantillonnage, ainsi que les méthodes d'analyses biogéochimiques.
- Le troisième chapitre présente les principaux résultats obtenus et les discussions correspondantes.



Chapitre I

Synthèse bibliographique

Partie 01 : Généralités sur l'eau

1. Généralité sur l'eau

1.1. Définition de l'eau

L'eau liquide (H_2O) est souvent perçue comme une substance assez ordinaire car elle est transparente, inodore, insipide et se présente sur terre en grande quantité (Graini, 2011). Il est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à toute forme de vie, l'eau est une richesse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques (Baziz, 2008).

1.2. Composition de la molécule d'eau

L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécule de H_2O , elle est un très bon solvant, et dissout un grand nombre de corps ioniques, comme les sels en donnant des ions, ainsi que certaines substances chimiques toxiques ou non formées de molécules polaires (Metahri, 2012). En effet, l'eau se charge en composé solides ou gazeux tout au long de son cycle, suivant le milieu (rivières, roches, atmosphère) dans laquelle elle circule (Saidi, 2014).

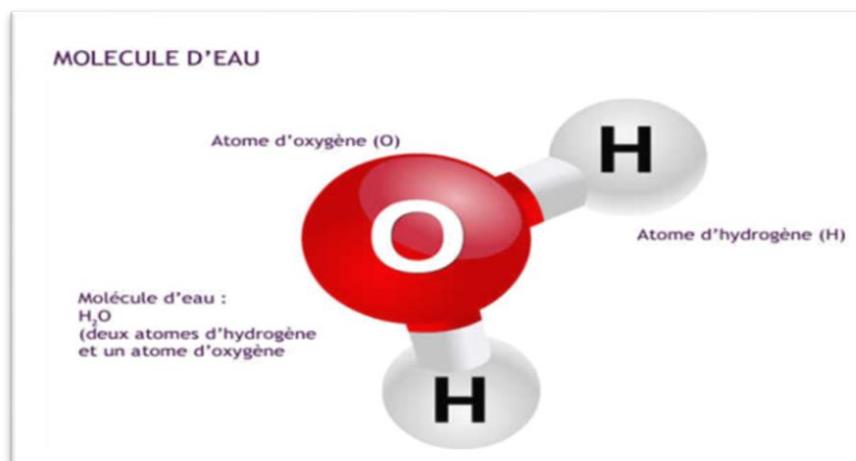


Figure1 : structure chimique de la molécule d'eau

Source : <https://www.infirmiers.com/fondamentale-les-molecules-du-vivant-partie-1.html>.

1. 3. Cycle de l'eau

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle, de sa dynamique dans la nature et sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère (Ayad W, 2016).

Sous l'action du soleil, l'eau des océans, rivières, lacs s'évapore et gagne l'atmosphère. Au contact des couches d'air froid, la vapeur d'eau se condense en gouttelettes et forme des nuages. L'eau retombe ensuite lors des précipitations (sous forme de pluie, de neige ou grêle) directement dans les océans ou sur les continents. Sur terre, l'eau ruisselle alors jusqu'aux rivières ou s'infiltrate dans les sols pour alimenter les nappes souterraines (Chouteau, 2004). L'eau qui ruisselle pénètre dans le sol où elle s'infiltrate et va remplir les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et va abandonner dans son cheminement la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée (Bouziyani, 2000).

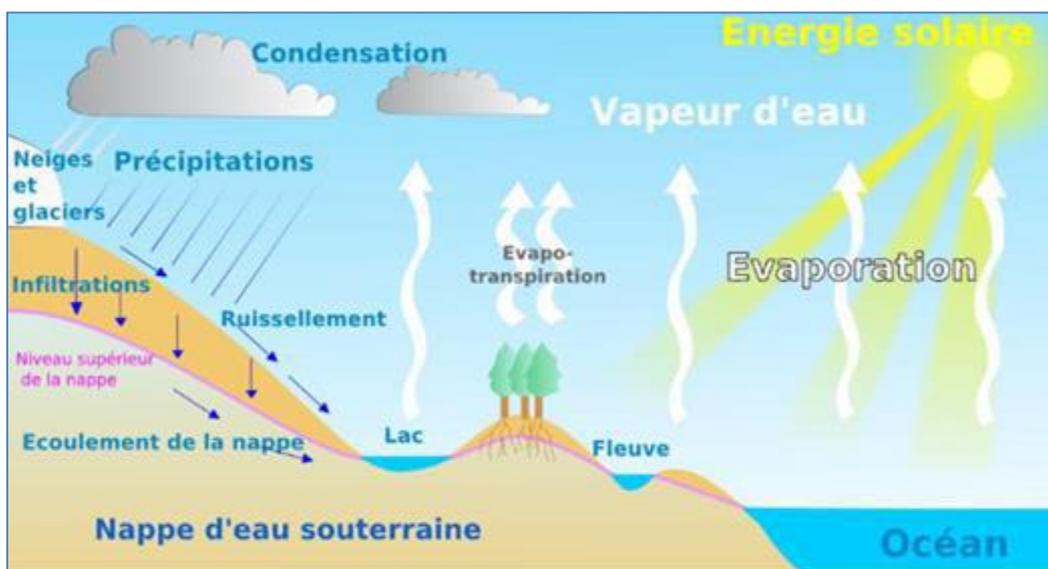


Figure 2 : Cycle de l'eau (Sari, 2014).

Les éléments qui composent le cycle de l'eau sont respectivement comme suite:

- **Les précipitations** : eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et/ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).
- **L'évaporation** : passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique.
- **L'évapotranspiration** : englobe les processus d'évaporation et de transpiration de la végétation.
- **L'interception** : processus selon lequel la pluie (ou dans certains cas la neige) est retenue par la végétation, puis redistribuée en une partie qui parvient au sol et une autre qui s'évapore.
- **Le ruissellement ou écoulement de surface**: mouvement de l'eau sur ou dans les premiers horizons du sol (écoulement de surface), consécutif à une précipitation.

- **Le stockage dans les dépressions** : processus au cours duquel l'eau est retenue dans les creux et les dépressions du sol pendant une averse.
- **L'infiltration** : mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol.
- **La percolation** : mouvement de l'eau en profondeur dans les sols faisant suite à l'infiltration.

1.4. Différents états de l'eau

1.4.1. États de l'eau

L'eau est un constituant fondamental de notre environnement. Elle se présente sous différents états sous forme solide, liquide et gazeuse (Musy *et al.*, 2004).

1.4.1.1. L'eau sous forme solide

L'eau est solide quand la température est inférieure à 0 °C. C'est la glace de la banquise au niveau des pôles, celle des glaciers alpins, la neige sur laquelle nous pouvons skier, le givre qui se forme par temps froid sur les arbres en hiver.

1.4.1.2. L'eau sous forme liquide

Les plus grands réservoirs d'eau liquide sont les océans et les mers constituées d'eau salée ; ils représentent 97,2 % de l'eau de la Terre. Les autres réservoirs d'eau liquide sont les lacs, les rivières et les eaux souterraines. Ils sont constitués d'eau douce. Les lacs et les rivières correspondent à 0,01 % de l'eau présente sur Terre et les eaux souterraines à 0,06 % de cette eau (Lazhar, 2011).

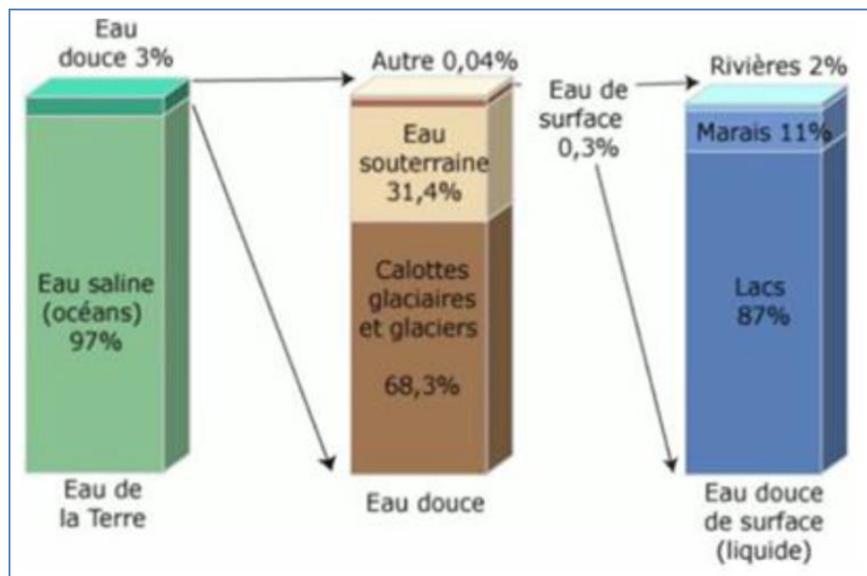


Figure 3 : La répartition de l'eau sur terre (Vasco, 2017).

1.4.1.3. L'eau sous forme de gaz

Dans l'atmosphère, l'eau existe sous forme de gaz. C'est la vapeur d'eau présente dans l'air humide. Elle ne correspond qu'à 0,001 % de l'eau de la Terre (Merouani *et al*, 2013).

1.5. Propriétés de l'eau

1.5.1. Propriétés chimiques de l'eau

La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau et aussi un grand nombre de gaz et de produits organiques. La solvatation (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une destruction complète ou partielle des divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre pour les remplacer par de nouveaux liens avec les molécules d'eau et former ainsi des nouvelles structures (Boglin, 2001). Les molécules d'eau peuvent former avec ses voisins des liaisons les extrémités proches de l'atome d'Oxygène développent des charges négatives ; les extrémités proches des atomes d'Hydrogène développent des charges positives (Bliefert, 2008 ; Marsily, 1995).

1.5.2. Propriétés physique

- **Température d'ébullition** : Elle est anormalement plus élevée que celle des composés hydrogénés de masses moléculaires du même ordre. Cette particularité est due à l'existence de liaisons hydrogène intermoléculaires dans la phase liquide (Rodier, 1984).

Tableau 1 : température d'ébullition de quelques composés (Rodier, 1984).

Corps	Masse Moléculaire	Température d'ébullition (°C)
CH ₄	16	-161
NH ₃	17	-33
H ₂ O	18	+100
H ₂ S	34	62
HCl	35	85

- **Masse volumique** : La masse volumique de l'eau est modifiée avec la température, la pression et aussi avec la teneur en sels dissous. L'eau a une masse volumique de 1 g/cm³ (Boglin, 2001).

Tableau 2 : masse volumique de l'eau à la température (Rodier, 1984).

T °C	4 °C	15 °C	20 °C
Masse volumique (g/cm ³)	1,000000	0,999 160	0,998 259
Volume massique (cm ³ /g)	1,000 000	1,000 841	1,001 744

• Tensions superficielle

Elle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface. Elle est extrêmement élevée ; égale à 73 erg/cm à 18 °C (Bliefert *et al*, 2008).

1.5.3. Propriétés électriques

- Constante diélectrique = 80 fard par mètre ;
- Pouvoir ionisant très important ;
- Conductivité électrique : $CE = 4,2 \cdot 10^{-6} \mu\text{s/m}$ à 20 °C. Cette propriété est utilisée pour le contrôle de la qualité de l'eau (Rodier *et al*, 2009).

1.5.4. Propriétés optiques

La transparence de l'eau est fonction de la longueur d'onde de la radiation qui la traverse. Les propriétés optiques sont très utilisées dans le contrôle de l'efficacité de traitements d'épuration et pour mesurer certaines formes de pollution (Rodier *et al*, 2009).

1.6. Les sources des eaux

L'eau existe dans la nature sous plusieurs formes et sa répartition sur le globe est inégale, cela est dû au climat et la structure du sol (Vilaginés, 2000).

1.6.1. Les eaux de pluie

L'eau de pluie peut être considérée comme l'eau naturelle la plus pure, tout au moins loin des Centre sur bains et des sources de pollution atmosphérique.

1.6.2. Les eaux souterraines

Ce sont les plus potables, souvent de meilleure qualité du moins celles provenant de puits profonds. Cependant, les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines se chargent De matière organique en traversant les couches supérieures des sols et s'enrichissent en sels minéraux provenant de terrains rencontrés sur leurs parcours (Vilaginés, 2000).

1.6.3. Les eaux superficielles

Elles sont constituées par les eaux des ruisseaux, mers, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaciers. On ne doit pas oublier qu'elles se trouvent en contact étroit Avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté (Vilaginés, 2000).

1.7. Importance de l'eau

L'eau est essentielle à la vie: il s'agit d'une ressource vitale pour l'humanité et le reste du monde vivant. Nos rivières, lacs, eaux côtières et marines, ainsi que nos eaux souterraines, sont de précieuses ressources que nous devons protéger (Ciffqe, 2011), La pollution et la rareté de l'eau menacent la santé et la qualité de vie de l'homme. Or, des préoccupations écologiques

plus larges entrent également en ligne de compte. Le libre écoulement des eaux, inaltéré par la pollution, est important pour soutenir les écosystèmes dépendant de l'eau (Brasilia, 2013). Une pénurie d'eau de qualité nuit aux environnements aquatiques, terrestres et à ceux des zones humides en exerçant une pression supplémentaire sur la faune et la flore, qui subissent déjà les conséquences de l'urbanisation et du changement climatique (CE, 2011).

1.8. L'eau et la Santé

Une bonne eau est nécessaire à la santé, indispensable à notre organisme. Elle est une composante majeure du sang, elle contribue au maintien de la tension artérielle, au transport des substances nutritives, intervient dans le bon fonctionnement de notre organisme, des hormones, elle assure le maintien de la température corporelle; elle permet la digestion des aliments, l'absorption des substances nutritives et l'élimination des déchets; également alliée d'une bonne hygiène. Donc l'eau est un collaborateur de santé par excellence (Bouhy *et al*, 2007).

Parallèlement l'eau constitue un facteur principal contribuant au développement des maladies à transmission hydrique provoquant des fléaux sanitaires dans le monde en développement. Les services de santé identifient cinq catégories de maladies d'origine hydrique) maladies transmises par l'eau (typhoïde, choléra, dysenterie, gastroentérite et hépatite infectieuse, infections de la peau et des yeux (trachome, gale, pian, lèpre, conjonctivite et ulcères parasitoses (bilharziose et dracunculose); iv) maladies dues à des insectes vecteurs comme les moustiques et les mouches ; enfin v) infections dues au manque d'hygiène (ONU, 1992 ; Rogers, 1992).

On estime que 25 000 personnes meurent chaque jour du fait de ces maladies (PNUE, 1991). Près d'un milliard de personnes dans le monde ne disposent pas d'eau potable de qualité. Or, améliorer l'accès à l'eau potable, c'est amélioré sensiblement la situation sanitaire. L'hygiène personnelle progresse lorsque les disponibilités en eau dépassent les 50 litres par jour. On estime aussi que 1,7 milliard de personnes doivent s'accommoder d'installations sanitaires et l'absence de réseaux d'égout et de traitement des eaux usées est une source majeure de pollution des eaux superficielles et souterraines (Postel, 1992)

1.9. Ressources hydriques en Algérie

L'Algérie est un pays dont le climat a une dominance aride en été et tempéré humide en hiver. La tranche pluviométrique varie entre 200 à 400 mm/an selon les régions. C'est le Nord du pays qui dispose de la presque totalité des ressources en eaux superficielles et souterraines renouvelables (Taleb, 2006).

Outre leur faible quantité, les ressources hydriques superficielles sont soumises à des contraintes liées à la nature des terrains et à la fréquence des précipitations. Durant les périodes de pluies, les Oueds qui drainent généralement des régions de collines et de montagnes, s'emplissent d'eaux superficielles qui charrient sur leur passage de grande quantité de boues (Taleb, 2006).

Les eaux souterraines constituent un capital essentiel pour l'alimentation en eau potable. Par ailleurs, la plupart des nappes souterraines en Algérie sont largement mobilisées et souvent surexploitées ; dans certaines régions à vocation agricole, les nappes ont atteint un seuil critique de pollution chimique. Au Sud du pays, l'essentiel des ressources souterraines est constitué par le système hydrogéologique des eaux fossiles qui sont des eaux non renouvelables. Leur quantité a été évaluée à plus 4900 milliards de m³ (Benlala, 1995).

En Algérie, une grande proportion des ressources en eau sont polluées par les activités humaines. La dégradation de la qualité des milieux aquatiques, l'explosion démographique et l'urbanisation anarchique, ont favorisé depuis les années 1980, l'écllosion de multiples foyers de maladies à transmission hydrique qui déterminent souvent d'importantes flambées épidémiques estivo-automnales. L'épidémie de choléra qu'a connue l'Algérie en 1986 a causée la mort de 475 personnes. La répercussion financière de cette épidémie est estimée à 01 milliard de Dinars Algérien. Parmi les infections à transmission hydrique retrouvée en Algérie: la fièvre typhoïde, le choléra, les hépatites infectieuses, les dysenteries, la poliomyélite...etc. (Direction du service de santé, 1998)

Partie 02 : pollution de l'eau

2. Définition

Le mot pollution existe depuis très longtemps, elle est définie comme toute introduction ou la présence d'un altéragène dans un milieu déterminé et le résultat de son action. Le mot altéragène présente lui-même une large signification, ou tous facteurs provoquant une altération de l'environnement. Ce peut être l'introduction de certaine substance chimique néfaste à certaines espèces ou à toutes les espèces, la modification de certains paramètres physique telle que la température, ou l'introduction de vibrations, de rayonnements de virus, de bactérie (Pérès, 1976).

La contamination et la pollution se rapportent toute les deux à la présence des produits chimiques dans l'environnement. La contamination se réfère à la présence d'un ou plusieurs produits chimiques à des concentrations plus hautes que la normale, mais non assez pour causer des dégâts biologiques ou écologiques (Freedman, 2003).

2.1. Pollution des eaux de surface

2.1.1. Différents types d'eau pour la consommation humaine

2.1.1.1. Les eaux naturelles

Les eaux destinées à la consommation humaine sont les eaux de distribution publique (eau du robinet), eaux conditionnées (les eaux de source, les eaux minérales naturelles et les eaux rendues potables par traitement) et les eaux de puits privés utilisées pour la boisson. L'eau prélevée des milieux naturels, n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine. Elle doit subir des traitements selon les exigences réglementaires de qualité en tous points du réseau, pour pouvoir être consommée sans danger par l'ensemble de la population. Toutes les eaux de consommation n'ont pas la même composition chimique, puisqu'elles ne contiennent pas toutes les mêmes substances minérales considérées comme des paramètres spatio-temporels. Avec l'accroissement de la population mondiale et le développement économique de la planète, la consommation d'eau a presque doublé au cours de ces cinquante dernières années ([Rabiet, 2006](#)).

2.1.1.2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux de sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Les eaux souterraines sont en interaction avec les autres types de masses d'eau, d'une part les eaux douces continentales (cours d'eau, zones humides, lacs...) et d'autre part avec les eaux marines en bordure littorale. Le sens de ces transferts peut varier au cours de l'année en fonction des conditions hydrologiques. Elles assurent souvent le débit de base des systèmes d'eaux continentales superficielles et de ce fait influencent leur qualité. En d'autres termes, les effets de l'activité humaine sur la qualité des eaux souterraines et les débits des nappes peuvent se répercuter sur la pérennité et la qualité écologique des écosystèmes aquatiques associés et des écosystèmes terrestres directement dépendants ([Kaid Rassou, 2009](#)).

Les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car elles sont plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface ([Guergazi et al, 2005](#)).

La protection des eaux souterraines est devenue un objectif majeur dès les années 1970 ([Bohy, 2003](#)).

2.1.1.3. Les eaux de surface

Les eaux de surface sont l'eau qui coulent ou qui stagnent à la surface du sol (rivières, lacs, étangs, barrages,...). Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Leur composition chimique dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours (Bohy, 2003). Ces eaux sont le siège, dans la plus part des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans (à l'intérieur) et de l'importante surface de contact avec l'extérieur. Les ressources en eau douce sont essentielles pour l'homme qui les sollicite fortement, notamment dans le cadre de ses activités agricoles (Thiollet, 2004).

Aujourd'hui, il y a une contamination non seulement des eaux de surface, mais aussi des eaux souterraines, qui sont sensibles à la lixiviation des décharges de déchets, les résidus miniers et les sites de production industrielle (Daniel *et al*, 1998).

2.1.1.4. Eau de mer

Les mers sont les grandes masses d'eau salée qui recouvrent les deux-tiers de la surface du globe terrestre et elles représentent près de 97,4 % de la capacité des grands réservoirs d'eau à la surface de la terre (Dinnat, 2003).

2.2. Principaux éléments présents dans l'eau en liaison avec l'action anthropique

2.2.1. Sodium (Na^+)

Le sodium est présent dans de nombreux minéraux constitutifs des roches volcaniques. Les feldspaths sodiques $\text{Na}[\text{Si}_3\text{AlO}_8]$ sont parmi les plus abondants. Dans les eaux souterraines, le sodium est présent sous la forme ionique Na^+ . Il est soumis aux mêmes types de phénomènes d'adsorption/désorption que le calcium et le magnésium. Sa mise en solution présente donc une complexité comparable. En l'absence d'affleurement de roches évaporitiques, les fonds géochimiques couramment rencontrés en contexte volcanique et de socles en métropole montrent des teneurs comprises entre quelques mg/l et quelques dizaines de mg/l (BRGM, 2007).

2.2.2. Potassium (K^+)

Le potassium est un élément principalement présent dans les roches ignées (dans les roches volcaniques) et les argiles. Dans les roches silicatées, on le trouve essentiellement sous forme d'orthose $[\text{KAlSi}_3\text{O}_8]$, de micas et de feldspathoïdes (la leucite $[\text{KAlSi}_2\text{O}_6]$). D'une manière générale, les eaux souterraines présentent rarement des teneurs en potassium supérieures à 10 mg/l (BRGM, 2007).

2.2.3. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

- Une origine atmosphérique (aérosols contenus dans l'eau de pluie) : il a été démontré une relation forte entre la distance à la mer et les concentrations en chlorures mesurés dans les eaux de pluie ;
- Les interactions eau/roches : de nombreuses roches ignées et volcaniques contiennent des minéraux riches en chlorures (la sodalite [Na₈ [Cl₂(AlSiO₄)⁶]]), il est également admis de possibles apports de chlorures par les inclusions fluides de certains minéraux rencontrés en contexte volcaniques ;
- Une origine marine (le biseau salé) ;
- Une origine anthropique (engrais) (BRGM, 2007).

2.2.4. Sulfate (SO₄²⁻)

L'ion sulfate SO₄²⁻ est la forme prédominante des sulfates dans les eaux souterraines. Sa présence peut avoir plusieurs origines : L'oxydation des minéraux riches en sulfate (la pyrite (FeS₂)), les teneurs mesurées dans les eaux souterraines s'échelonnent alors de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l, Le lessivage de formations évaporitiques (le gypse (CaSO₄, 2H₂O)), les teneurs en sulfates des eaux souterraines peuvent alors atteindre quelques centaines, voire quelques milliers de mg/l, L'oxydation de sulfures dans les précipitations atmosphériques (phénomène des pluies acides) (BRGM, 2007).

2.2.5. Eléments traces métalliques

Les éléments traces sont des constituants de la croûte terrestre, au nombre de 68, dont la concentration est pour chacun d'eux inférieure à 0,1%, et ne représentent que 0,6% du total des éléments. Parmi ces éléments, on peut citer le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le cadmium (Cd), en raison de leur toxicité potentielle dans l'environnement et/ou de leur capacité à contraindre les sources naturelles ou anthropiques. Comme tous les composants chimiques de la croûte terrestre, les éléments traces participent aux grands cycles biogéochimiques. Ces cycles comprennent de grands réservoirs: l'Atmosphère, l'Océan, les Continents. Au sein des réservoirs terrestres on les retrouve notamment dans les roches mères, les sédiments et les volcans (Belkhir, 2011).

2.3. Les principales origines des pollutions

2.3.1. Origine domestique

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel défectueux, des substances Indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques,

microorganisme...). Comme c'est le cas des puits perdus, ou l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol est mal conçu ou mal dimensionné (Gaujous, 1995). Provenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique caractérise par (Gaujous, 1995).

- Des germes fécaux
- Des fortes teneurs en matières organiques ;
- Des sels minéraux (azote, phosphore) ;
- Des détergents

2.3.2. Origine industrielle

Les industries exercent des activités susceptibles d'engendrer une dégradation de la qualité des écosystèmes. Cette pollution industrielle est générée par les effluents industriels et les divers produits toxiques utilisés. Les effluents, avec ou sans traitement, sont déversés dans la mer, dans les rivières ou sur les sols (Bawa et al, 2005). Ces effluents polluent l'eau de surface par le transfert des polluants, tels que les métaux lourds et colorants (Voegborio et al, 2011).

2.3.3. Origine agricole

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines. Le transfert des engrais et des pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, par rejet dans des puits perdus, des gouffres et des bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockée en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais (Seghir, 2008).

2.3.4. Origine urbaine et routière

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routières puis à leur exploitation (salage en hiver, hydrocarbures, métaux lourds libérés par accident, etc.) en villes on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées (raccordement incomplet ou défectueux, mauvais état des réseaux, surcharge ou mauvais fonctionnement des stations d'épuration, en particulier absence de traitement), par les fuites de

cuves de carburant (essence, fioule), par les cimetières, l'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toits) produit une forte quantité d'eau de ruissellement chargée en produits polluants divers (hydrocarbures, déjections d'animaux, etc.). Ces eaux pluviales polluées ne doivent en aucun cas être transférées à la nappe (Seghir, 2008).

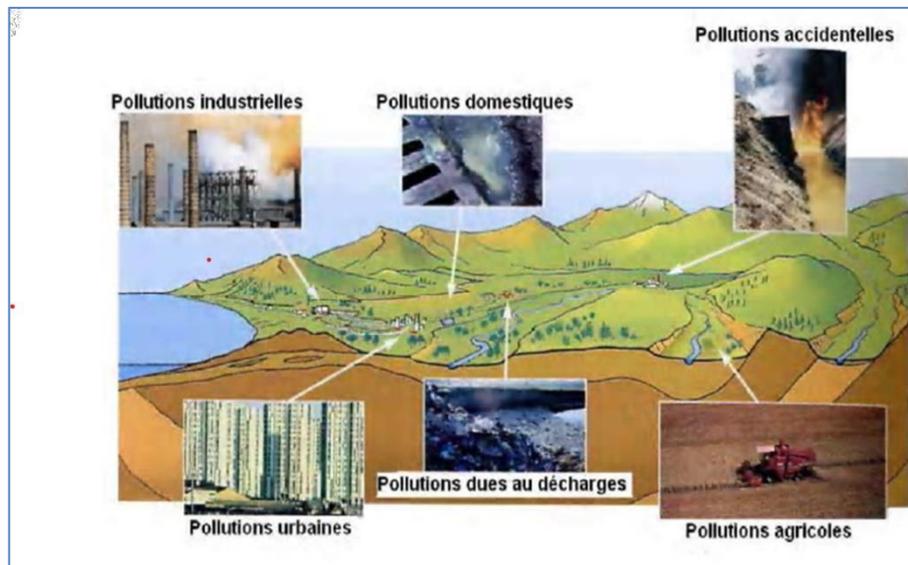


Figure 4 : Principales causes de pollution (SEGHIR, 2008).

2.4. Les types de pollution

2.4.1. Pollution naturelle

Divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution, par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbure, le contact avec des filons géologiques (métaux et arsenic), une source thermo-minéral,...etc. (Gaujous D, 1995).

2.4.2. Pollution physique

IL s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau) (Bouziani, 2000).

La pollution physique désigne l'autre type de pollution, telle que la pollution thermique due aux températures élevées, qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution radioactive (Boudeal *et al*, 2003).

2.4.3. Pollution mécanique

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable (Galaf, 2003).

- **Pollution thermique** : Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries, etc.). L'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous, elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes (Galaf, 2003).
- **Pollution radioactive** : C'est celle qui est occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs) (Mekhalif, 2009).
- **Matières en suspension (MES)** : Les matières en suspension sont des particules fines d'origine minérale ou organique biodégradables ou non (Emsalem, 1986). Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes et de produits de dégradation animaux ou végétaux (Chocat, 1997). Elles déterminent la turbidité de l'eau, limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissout et nuisent au développement de la vie aquatique (Delarras, 2003). La diminution des phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau. Elles donnent par ailleurs aux cours d'eau un aspect sal et trouble (Emsalem, 1986).

2.4.4. Pollution chimique

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements polluants organiques et des sels de métaux lourds par les unités industrielles. (Aroua, 1994) L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines (Aroua, 1994). Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse. Les polluants chimiques sont classés en cinq catégories (Boudeal et al, 2003).

2.4.5. Pollution biologique

Un grand nombre de microorganismes peut proliférer dans l'eau qui sert d'habitat naturel ou comme un simple moyen de transport pour ces microorganismes Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons. On parle ainsi de pollution bactérienne, virale ou parasitaire (Thomas, 1995).

2.4.6. Pollution agricoles

Elle est due à l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des produits de traitement des végétaux (Raissi, 2014). La pollution agricole s'est augmentée depuis que l'agriculture est entrée dans un stade de motorisation. La pollution d'origine agricole peut se

présenter sous deux formes diffuse lorsque elle concerne de grandes surfaces et ponctuelle lorsqu'elle est accidentelle ou chronique sur un espace plus réduit (Grosclaude, 1999).

Les principaux contaminants sont :

- **Fertilisants** : Les engrais chimiques sont propagés dans les sols afin de développer les rendements des végétaux cultivés. Parmi les éléments principaux aux développements des plantes, nous avons l'azote, le phosphate, le potassium et dans une moindre mesure le soufre, le calcium, le magnésium et d'autres oligoéléments. L'usage continu de ces produits contamine donc les eaux superficielles et même les nappes phréatiques (Conrad et al, 1999).
- **Engrais azotés** : Parmi les engrais chimiques les plus utilisés nous citons le nitrate d'ammonium, le nitrate de calcium, le sulfate d'ammonium et l'urée. Les nitrates proviennent essentiellement de la minéralisation des matières organiques du sol et des apports d'engrais minéraux azotés (Conrad et al, 1999). Les dégagements d'ammoniac (NH_3) sont issus principalement de l'élevage. Maintenant, environ 40 % de l'azote ingéré par les animaux sont perdus et rapidement transformés en ions (NH_4^+) surtout lors du stockage et l'épandage des déjections animales (Danish, 1999).
- **Phosphates** : Les phosphates sont surtout propagés sous forme de superphosphates (ortho-phosphates solubles). La majorité du phosphore utilisé comme engrais chimiques est fixé dans les sols à cause de leur richesse en azote, en aluminium et en fer qui fixent ces éléments (Danish, 1999).
- **Pesticides** : L'usage des pesticides connaît une extension considérable, non seulement dans le pays développés et sur les cultures tropicales de commerce, mais aussi dans l'ensemble des pays du tiers monde où la « révolution verte » a augmenté les exigences en traitements antiparasitaires car elle a reproduit des variétés moins résistantes aux divers nuisibles des cultures que les souches indigènes cultivées. Cependant ces pesticides s'accumulent dans les sols et les nappes phréatiques (Lemercier, 2003).

2.4.7. Pollution industrielle

Les établissements industriels ont des productions très diverses (aliments, vêtements pâte à papier, produits chimiques,.. etc.) et rejettent plusieurs types d'eaux usées, dont le volume et le degré de contamination sont très variables. On distingue les eaux de procédé, qui sont le plus souvent contaminées puisqu'elles entrent dans le processus de fabrication même les eaux de refroidissement, plus ou moins contaminées, les eaux sanitaires et dans certains cas les eaux pluviales (Hébert et al, 2000).

Les caractéristiques des rejets varient selon le type industriel, en plus de matières organiques et azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques des solvants, des métaux lourds et des micros polluants organiques des hydrocarbures. Certaines, d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, elles sont mêlées aux eaux domestiques que l'on qu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution (Paul, 1998).

2.4.8. Les polluants bactériologiques

La pollution microbiologique est une autre forme de pollution organique. Les déchets organiques, en particulier les excréments, contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau. Ces germes peuvent provoquer des maladies aussi graves que le choléra, la typhoïde, la dysenterie... Ils ont été jadis responsables d'épidémies dramatiques dans nos pays. Aujourd'hui, cette pollution des eaux continentales a fortement diminué dans les pays industrialisés grâce à la mise en service de stations d'épuration qui assurent le traitement des eaux usées avant leur rejet dans la nature. Mais cela n'est pas le cas des pays en développement où elle provoque encore des morts innombrables.

Tableau 3 : Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (source : les [Dossiers scientifiques du CNRS : l'eau, Chouteau, 2004](#))

type de pollution	Nature	Origine
Physique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques, nucléaires
	M.E.S. (matières en suspension)	Rejets urbains, érosion des sols
Chimique	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires.
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Hg, Al, As...)	Industrie, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, Fongicides)	Industrie, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industries
	Composés organiques de synthèse	Industries
	Détergents	Effluents domestiques
Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports	

Biologique

Bactérie, virus, champignons...

Effluents urbains, agricoles

2.5. Conséquences de la pollution de l'eau

Les conséquences d'une pollution peuvent être classées en plusieurs catégories principales :

- L'eutrophisation est le phénomène lent d'asphyxie des écosystèmes aquatiques résultant de la prolifération des plantes aquatiques, qui consomment l'oxygène indispensable à la survie de l'écosystème (Fig. 5). Il résulte d'un apport trop riche de substances nutritives et a plutôt lieu dans des milieux aquatiques où l'eau est stagnante comme les rivières ou lacs, mais aussi certaines rivières (ou sections de rivière) à écoulement lentique. Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource. Tous les facteurs qui participent à l'augmentation de la quantité d'éléments nutritifs dans un cours d'eau peuvent influencer la vitesse d'eutrophisation.

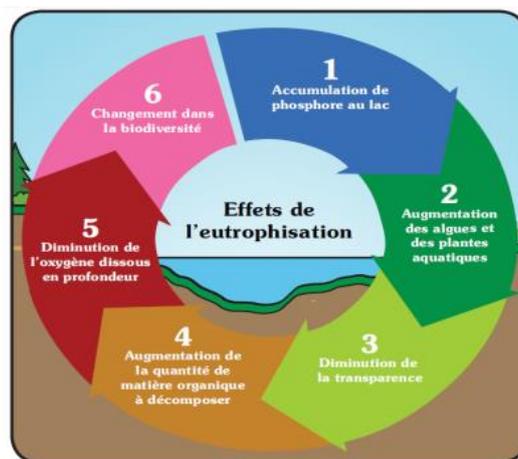


Figure 5 : grandes étapes de l'eutrophisation (EcoInfo, 2013).

Ces facteurs peuvent être naturels (ruissellement dans le bassin versant, barrages de castor, etc.) ou anthropiques, comme par exemple :

- Épandage d'engrais à des fins agricoles et horticoles (chimiques ou naturels).
- Utilisation de produits domestiques contenant des phosphates.
- Rejets d'eaux usées industriels, urbaines et domestiques.

- Comme autres conséquences on peut citer :

- Empoisonnement et dégradation de la flore et de la faune par des composés toxiques (ex : par les hydrocarbures (Kim et al, 2013) en plus des nitrates et des phosphates).

Tableau 4 : risques de la pollution de l'eau (Vilagines, 2003).

<p>Risque pour la santé de l'homme</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Maladies hydriques par : <ul style="list-style-type: none"> - Contamination bactérienne : salmonelloses, leptospirose. - Contamination virale : poliomyélites, hépatite A. - Protozoaires : dysenterie amibienne, giardiases. - Helminthes : vers parasites intestinaux. ❖ Maladies liées à la présence d'éléments toxiques pour l'homme : <ul style="list-style-type: none"> - Par micropolluants organiques (détergents, pesticides, composés cycliques d'huiles lourds ou goudron). - Par substances minérales de types métaux lourds (plomb, mercure et le chrome).
<p>Risques pour les êtres vivants dans le biotope (milieu de rejet).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Maladies par contamination virales et bactériennes. ❖ Atteint par effet toxique d'éléments agissants seuls ou en synergie (micropolluants organiques, minéraux, substances radio-actives)
<p>Risque de dégradation des Ecosystèmes aquatiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ces risques sont liés à la modification de certains paramètres : <ul style="list-style-type: none"> - Physiques tel températures, turbidités... - Physico-chimiques tels nutriments (azotes et phosphores) facteurs d'eutrophisation.
<p>Risque d'accroissement des difficultés des coûts pour la correction des eaux prélevées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ces difficultés peuvent être rencontrées pour corriger les eaux lorsque les contraintes économiques ne permettent pas d'instaurer les développements des techniques d'installation, on peut si l'on ne parvient pas à réduire les flux rejetés, retrouver les risques pour la santé de l'homme.

3. Evaluation de la qualité de l'eau

3.1. Evaluation de la qualité organoleptique

3.1.1. Couleur

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colore. La couleur dans les systèmes publics

d'approvisionnement d'eau est esthétiquement indésirable. Il est important de la mesurer, étant donné qu'une couleur élevée provoque son rejet par le consommateur et l'amène à chercher d'autres sources de suppressions parfois beaucoup moins sûres (Brasilia, 2013).

3.1.2. Odeur

Signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition (WHO, 2011), l'odeur est un paramètre important qui permet de porter un jugement bref sur la qualité de l'eau. Elle est définie selon (Rodier et al, 2009).

3.1.3. Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lors de la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier et al, 2005). Des nombreuses substances minérales peuvent donner une saveur désagréable à des concentrations beaucoup plus faibles que celles qui provoqueraient des effets toxiques (Graindorge, 2015).

3.1.4. Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique, limons...), elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour la sécurité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU (Jean claude, 1992).

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

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

- Suivant leur nature chimique : organique ou minérale.
- Suivant leur état physique : matières dissoutes, colloïdes ou en suspension.

Ces distinctions sont arbitraires dans la mesure où d'une part une substance peut se trouver soit à l'état dissous soit en suspension selon les conditions du milieu et d'autre part l'eau est le siège de phénomènes de dégradation biologique qui peuvent transformer des substances organiques en substances minérales (Merzoug, 2009).

3.2.1. Température (T °C)

La température est un facteur écologique important pour les milieux aqueux. Elle est lié d'une part, aux variations saisonnières et journalières de la température ambiante et d'autre part, aux rejets des activités anthropiques (eaux de refroidissement). Sa perturbation peut influencer

la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans les processus bactériens comme la nitrification et la dénitrification (Leynaud G, 1998).

3.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'une eau est une mesure de son acidité ou de son alcalinité. C'est une mesure de l'activité de l'atome d'hydrogène (H^+), qui donne une bonne représentation de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau. Pour l'eau potable, les directives de l'OMS fixent le pH entre 6,5 et 8,5 (OMS, 2008). ce paramètre joue un rôle très important dans le développement de la vie aquatique. De plus, le pH influe sur le comportement de certains éléments comme les métaux dont il peut diminuer ou augmenter la mise en solution et donc la toxicité en rendant les métaux bio disponibles. Généralement, les valeurs de pH des eaux naturelles sont comprises entre 6 et 8,5 (Derwich E *et al*, 2010).

3.2.3. Oxygène dissous (OD)

C'est une grandeur importante de l'écologie des milieux étudiés. Elle est essentielle pour la respiration des organismes vivants hétérotrophes. La concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans l'eau est exprimée en mg/l. Le dioxygène dissous provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (maximum 9 mg /l à 20°C) (Dufour P *et al*, 1975). Par rapport au maximum possible d'oxygène soluble compte tenu la température et de la pression atmosphérique et de la salinité. Cette saturation est souvent influencée par les phénomènes de photosynthèse des végétaux aquatiques (Sebihi, 2015).

Un excès d'oxygène provoque des troubles et même la mort chez les organismes. De même, les faibles teneurs en oxygène engendrent des effets néfastes qui peuvent se traduire par des migrations, des adaptations ou par des mortalités massives des organismes (Sebihi, 2015).

3.2.4. Matières en suspension (MES)

Dans les eaux superficielles non polluées, les matières en suspension ont surtout pour origine le bassin versant sous l'effet de l'érosion naturelle, les détritiques d'origine organique (débris végétaux...etc.) et le plancton. La nature de MES est donc souvent minérale et leur taux relativement bas sauf en périodes de crues des cours d'eau. Les eaux naturelles ne sont jamais dégagées de matière en suspension et on admet une teneur inférieure à 30 mg/l (Afri-Mehannaoui, 1998).

3.2.5. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique augmente avec la minéralisation et elle est dominée par les ions majeurs, tel que le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les chlorures, les sulfates,

les nitrates ... Toutefois, la détermination de la teneur de ces ions dans l'eau directement à partir de la conductivité semble complexe vu la forte variation de la teneur en ces ions. La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (Rodier, 2009).

3.2.6. Total des solides dissous (TDS)

La détermination des solides dissoutes ou total des solides dissous (TDS) dans l'eau potable n'a pas de base fondée sur la santé. Leur présence dans l'eau favorise la corrosion. À teneur élevée, ils sont répréhensibles pour les consommateurs car ils entraînent un goût désagréable à l'eau. Se référant à ce paramètre, une eau est réputée bonne quand sa teneur en TDS est inférieure à 600 mg/l (WHO, 2011).

3.2.7. Chlorures (Cl^-)

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations variables ils peuvent avoir plusieurs origines : Percolation à travers des terrains salés. Infiltration d'eaux marines dans les nappes phréatiques Activités humaines et industrielles Les normes algériennes préconisent pour les chlorures une concentration maximale acceptable de 200mg/l et une concentration maximale admissible de 500mg/l une présence excessive des chlorures dans l'eau d'alimentation, la rend corrosive pour les réseaux de distribution et nocive pour les plantes. Une forte fluctuation des chlorures dans le temps peut être considérée comme indice de pollution (Berne, 1972).

3.2.8. Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates (Rodier, 1984).

3.3. Les nutriments

Les orthophosphates (PO_4^{3-}), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+) sont les sels nutritifs les plus utilisés en agriculture moderne et en industrie alimentaire. Présentes souvent en excès dans la nature, ces substances provoquent de sérieux problèmes environnementaux. Le besoin en détecteurs sensibles et sélectifs de ces composés est d'une importance cruciale. Ce besoin qu'entraîne la croissante sévérité des normes dans tous les domaines de chimie et biochimie (environnement, alimentation,

pharmacie, sécurité domestique et industrielle...) a incité les scientifiques à développer des techniques chimiques et électrochimiques d'analyse de ces substances de plus en plus performantes (Idrissi, 2006). L'utilisation intensive des fertilisants artificiels en agriculture (engrais, minéraux, lisiers) ainsi que l'accroissement des rejets urbains ont augmenté notablement les apports terrigènes d'éléments nutritifs en milieu aquatique. Ces apports ont conduit, entre autres, à un enrichissement en nitrates (issu principalement du lessivage des terres agricoles), en ammonium et en phosphate (très abondants dans les rejets urbains), ce qui a causé un déséquilibre du milieu aquatique, appelé eutrophisation (Idrissi, 2006).

3.3.1. Formes azotées

- **Nitrate (NO_3^-)**

Les nitrates sont les formes d'azote les plus solubles dans l'eau. Par conséquent, leurs concentrations varient selon les événements hydrologiques atteignant ou dépassant parfois leurs critères respectifs de qualité pour l'eau brute d'alimentation humaine (Bchitou, 2001). La présence de ces ions dans une eau est un indicateur de la pollution. Ces ions proviennent soit naturellement du sol, soit de la pollution par l'industrie chimique, des décharges électriques ou des engrais azotés. Les eaux naturelles contiennent normalement des nitrates à des doses variant selon les saisons. Les concentrations de ces ions d'origine naturelle dans les eaux de surface et souterraines sont généralement de quelques milligrammes par litre. Dans de nombreuses eaux souterraines et de surfaces, on observe aujourd'hui une augmentation de la concentration de ces ions. La valeur maximale admissible en cet ion, d'après les normes mondiales de santé relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine, est de 40 mg/l (OMS, 2008).

- **Nitrites (NO_2^-)**

Les nitrites ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable. C'est un passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. Les nitrites sont ré pondus dans le sol, les eaux et dans les plantes mais en quantités relativement faibles. Dans les eaux de surface leurs teneurs excèdent rarement 0.1mg/l, il est toutefois important de signaler que les eaux de contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites indépendants de toute souillure (Rondeau, 2005).

- **Ammonium (NH_4^+)**

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue l'un des maillons du cycle de l'azote. L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains soit aux rejets industriels. L'azote ammoniacal des eaux

superficielles peut avoir pour origine naturelle, la décomposition des déchets végétaux et animaux. Sa teneur dans les eaux de surface est normalement faible (inférieure à 0,2 mg/l). La présence de l'ammonium dans les eaux peut engendrer divers inconvénients comme la corrosion des conduites, la diminution de l'efficacité du traitement de désinfection au chlorure et le développement de microorganismes responsables de saveurs et d'odeurs désagréables. Elle peut donc révéler l'existence d'une décomposition de matières organiques dans le milieu, ce qui constitue un indice de pollution des nappes phréatiques (Idrissi, 2006).

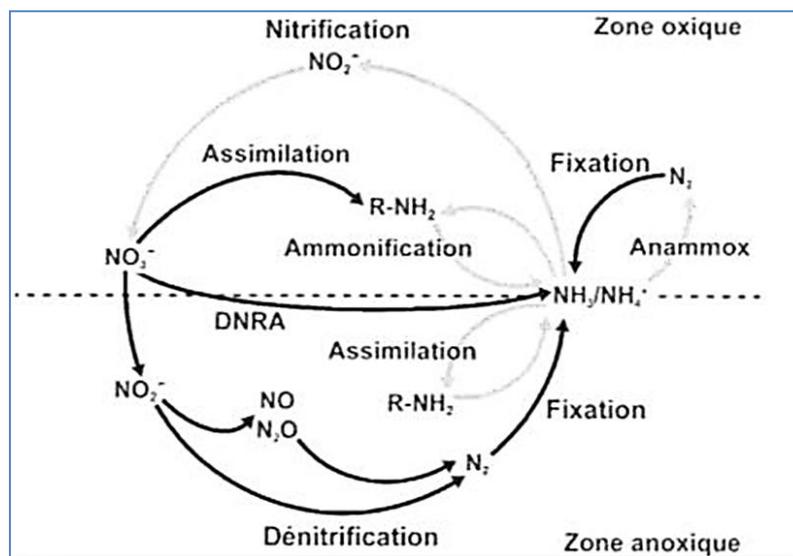


Figure 6 : cycle de l'azote; les flèches noires représentent les processus Réduction et les flèches grises, les processus d'oxydation (Madigan *et al*, 2002).

3.3.2. Phosphore (PO_4^{3-})

Le phosphore est naturellement présent dans les eaux superficielles en faible quantité, il est déterminant pour la productivité des écosystèmes aquatiques (Rousseau *et al*, 2004). Cet élément joue un rôle très important dans le développement des algues ; il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs où elles contribuent à l'eutrophisation. Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans l'eau est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0.5 mg/l doivent constituer un indice de pollution (Sarkar *et al*, 2007).

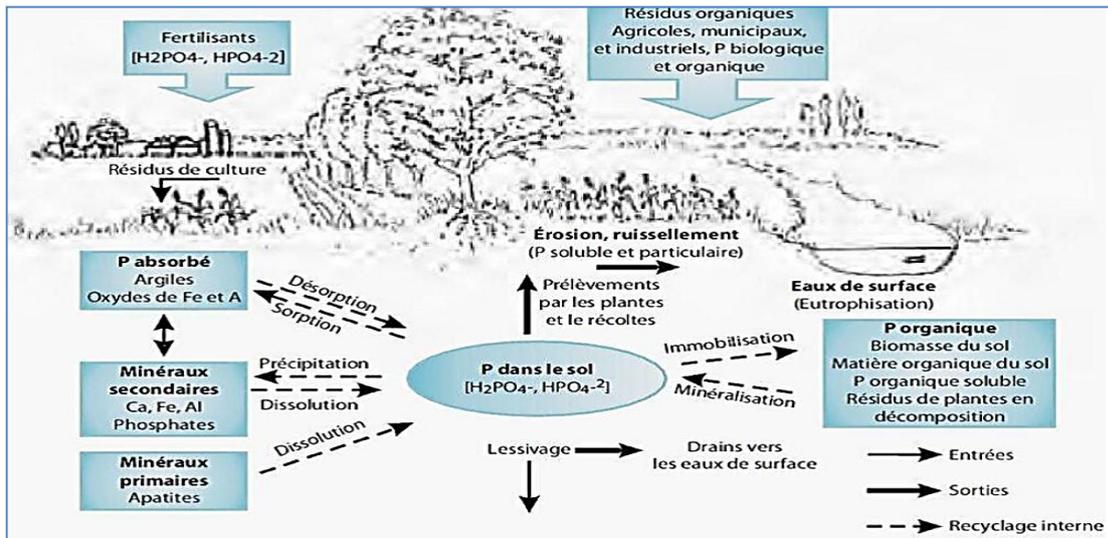


Figure 7 : cycle du phosphore dans le sol et l'eau (Ghanimi, 2014).

3.3.3. Silicium (SiO_4)

Le silicium n'est pas un composant de la matière vivante proprement dite mais il constitue l'essentiel des squelettes de divers organismes marins comme les algues siliceuses, certains radiolaires, les diatomées. Bien que cet élément soit l'un des plus abondants de l'écorce terrestre, sa concentration dans l'eau de mer peut devenir insuffisante par suite de sa très faible solubilité dans l'eau. Au pH habituel de l'eau de mer ($\approx 8,2$), le silicium dissous se trouve à 95% sous la forme d'acide ortho-silicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ et 5% sous forme ionisée $\text{Si}(\text{OH})_3^-$. En plus du silicium à l'état dissous, les eaux de mer contiennent du silicium à l'état particulaire de nature biogénique (frustules de diatomées), terrigène ou cosmique. Mais ce silicium n'est pas directement assimilable par les organismes vivants; il ne constitue pas un élément nutritif et n'entre pas en compte dans les études. Les concentrations en silicium dissous varient en fonction de l'origine et la nature des eaux. La silice pure est un minéral dur. Elle existe sous des formes variées dans la nature :

- Principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27 % de la croûte terrestre ;
- Fréquente dans les roches métamorphiques ;
- Fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisée ou amorphe dans les roches volcaniques.

La silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO_4 liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre (Chifflet *et al.*, 2004).

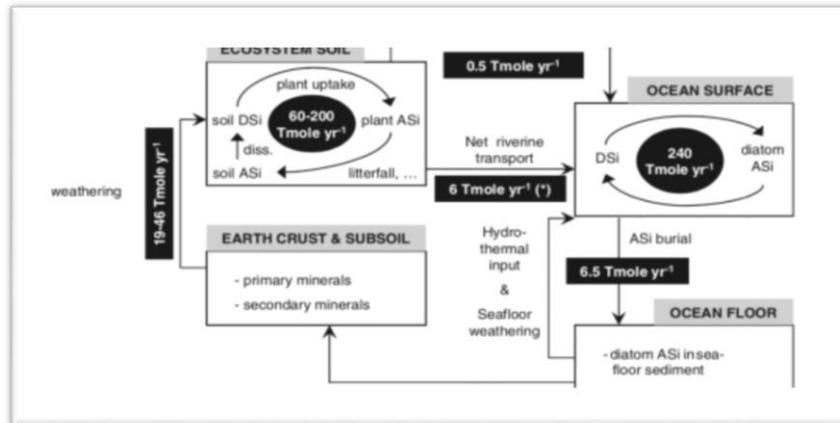


Figure 8: cycle biogéochimique global du silicium (De Struyf *et al.*, 2009).

3.4. Paramètres relatives à la pollution

3.4.1. Demande Chimique en Oxygène(DCO)

Ce paramètre permet de quantifier la matière oxydable contenue dans l'eau par la mesure du taux d'oxygène nécessaire pour la dégrader. La DCO est exprimée en $\text{mg d'O}_2/\text{l}$. Les valeurs élevées de la DCO indiquent la présence d'une forte contamination liée à la présence de polluants réfractaires d'origine organique et minérale issus des activités anthropiques ou naturelles (Diab, 2016).

3.4.2. Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) est la quantité, exprimée en mg/l , d'oxygène consommée par l'activité bactérienne pour dégrader les matières organiques biodégradables pendant 5 jours (à 20 °C et dans l'obscurité). La DBO₅ constitue une fraction de la DCO. Selon l'OMS, les eaux superficielles destinées à la production de l'eau alimentaire doivent avoir des limites raisonnables de 3-5 mg/l . Cependant, la valeur maximale admissible en cet ion, d'après les normes algériennes relatives à la qualité des eaux d'alimentation humaine, est de 7 mg/l . La DBO₅ peut être plutôt favorable à la vie aquatique et il est admis qu'une DBO₅ inférieure à 1 mg/l peut être considérée comme normale, entre 1 et 3 mg/l acceptable et au-delà de 7 mg/l comme douteuse ou anormale (Rousseau *et al.*, 2004).

3.4.3. La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent. Selon (Bougherira et al, 2017) on convient généralement des limites suivantes:

- ✓ **DCO/DBO₅ < 2**: l'effluent est facilement biodégradable ;
- ✓ **2 < DCO/DBO₅ < 3** : l'effluent est biodégradable ;
- ✓ **DCO/DBO₅ > 3** : l'effluent n'est pas ou très peu biodégradable.

3.5. Les paramètres bactériologiques

La qualité biologique d'une l'eau, c'est l'oxygène qu'elle contient, puisque non seulement l'oxygène est indispensable à toute vie animale ou végétale mais aussi parce que grâce à l'oxygène l'eau est capable de s'auto-épurer (Rodier et al, 1996).

3.5.1. Critères bactériologiques de l'eau

L'eau doit présenter également une potabilité du point de vue bactériologique, en effet celle-ci étant destinée à la consommation humaine, une eau potable doit satisfaire les conditions bactériologiques suivantes :

Ne pas contenir dans le cas d'une eau traitée des coliformes totaux ni de Clostridium sulfitoréducteur, qui constituent des indicateurs de pollution par les matières fécales.

3.5.2. Les micro-organismes recherchés dans l'eau

L'analyse bactériologique des eaux potables consiste en la recherche d'un certain nombre de germes tests, car il est très difficile d'identifier tous les germes dangereux dite de contamination fécale la recherche et la numération portent sur :

- Les coliformes totaux.
- Les coliformes fécaux.
- Escherichia coli (E-coli)
- Les streptocoques fécaux

3.5.2.1. Les coliformes

A. Les coliformes totaux

Les coliformes regroupent un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Entrobacteriaceae qui sont aérobies et anaérobies facultatives à gram négatif,

en forme de bâtonne et produisant des colonies foncées à reflets vert métallique en moins de 24 heures, à 37°C sur un milieu Endon contenant du lactose (RODIER, 2006).

B. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux ou <coliformes thermo tolérants> correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à 44°C. Elles se définissent également comme étant des bactéries aérobies et anaérobies facultatives à gram négatif, en forme bâtonne et sont des indicateurs d'une contamination d'origine fécale récente (RODIER, 2006).

C. Escherichia coli

Le terme E. coli présumée correspond à des coliformes thermo tolérants qui produisent de l'indole à partir de tryptophane à 44°C. Elle fait partie du groupe des coliformes totaux, sa présence dans l'eau indique non seulement une contamination mais aussi la présence possible des bactéries ou des virus.

D. Les streptocoques

Sous la dénomination générale de (streptocoques fécaux), il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant la substance antigénique, il s'agit de cocci à gram positif de forme sphérique ou ovoïde 'se présentant en chaînette plus ou moins longues 'non sporulés' aéro-anaérobies facultatif ne possèdent ni catalase ni oxydase (Rodier *et al*, 1996).

Partie 04 : Maladies à transmission hydrique

4.1. Généralités

Les Maladies hydriques sont celles contractées par ingestion, par contact direct ou encore les maladies pour lesquelles l'eau est le milieu de vie d'hôtes de larves ou de parasites (Quatunau, 1998).

Le mot MTH recouvre un large spectre de pathologie d'origine bactérienne parasitaire ou virale dont l'élément commun est le mode de contamination : l'eau. Ce sont des maladies du péril fécal à allure épidémique, dont la symptomatologie est la plus souvent digestive (diarrhée, vomissements...etc.) qui restent encore très répandues et constituent toujours une menace dans les pays pauvres et dont la mortalité est très élevée surtout pour les enfants en bas âge (Ashbolt, 2004).

Les maladies hydriques peuvent être classées selon cinq catégories différentes (Quatunau, 1998) :

- Maladies transmises par l'eau ;
- Infections de la peau et des yeux (gale, trachome), dues au manque d'eau ;
- Maladies causées par un organisme aquatique invertébré ;

- Maladies causées par un insecte fourmillant à proximité de l'eau ;
- Infections causées par des mauvaises conditions sanitaires.

Les principaux facteurs générateurs de MTH sont (Ashbolt, 2004) :

- Une urbanisation rapide, un contexte démographique et géographique favorable ;
- Une absence de conformité du réseau d'AEP favorisée par l'insuffisance des contrôles techniques des services de l'hydrauliques;
- Approvisionnement en eau potable insuffisant ;
- un traitement et une surveillance de l'eau destinée à la consommation humaine peu ou mal connus.

4.2. Mode de transmission

Les maladies hydriques sont transmises par plusieurs voies dont les principales (Quatunau, 1998) :

- La voie digestive : par absorption d'eau contaminée (ou aliment) par des déchets humains (ou animaux) contenant différents types d'agents pathogènes,
- La voie respiratoire : par inhalation des aérosols contaminés exemple : les pommes de douches peuvent disperser dans l'atmosphère des pathogènes (*Legionella*...);
- La voie cutané-muqueuse : concerne surtout les pathologies de baignade. Cette voie inclut aussi la voie oto-rhino-laryngologique.

4.3. Mécanisme des infections d'origine hydrique

La majorité des MTH sont des infections intestinales où le micro-organisme (bactérie, virus ou protozoaire) doit coloniser un des étages du tube digestif, superficiellement (bordure de brosse), ou après pénétration (entérocyte, ganglions mésentériques). Ce processus de colonisation peut être prédominant et suffisant pour provoquer des altérations cellulaires ou tissulaires objectivées par des troubles et des signes cliniques (Prescott *et al*, 1999).

- Infections bactériennes
- Infections virales
- Infections parasitaire

4.4. Les maladies à transmission hydrique

4.4.1. Les maladies d'origine bactérienne

Les maladies d'origine bactérienne sont résumées dans le tableau

Tableau 5 : Principales maladies d'origine bactériennes

Maladies	Agents responsables	Manifestation	Contamination	Références
Choléra	Vibrio cholerae	-Diarrhée ; -vomissement -déshydratation ; -anurie -crampes musculaires.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales.	Villaginès R, 2003
Fièvre typhoïde et paratyphoïde	Salmonella typhi et salmonella paratyphi A	-Fièvre, céphalées -diarrhées -douleurs abdominales -hémorragies intestinales -collapsus cardiovasculaire -atteintes hépatiques respiratoires et neurologiques.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales	Villaginès R, 2003
La légionellose	Legionella	-pneumonie aiguë -toux avec fièvre modérée -myalgies -anorexie -céphalées.	L'installation qui favorise la multiplication des légionelles dans l'eau avec une T° avoisinant 37 °C suivie d'une aérosolisation.	Villaginès R, 2010

4.4.2. Les maladies d'origine virale

Parmi les maladies d'origine virale deux exemples sont résumés dans le tableau.

Tableau 6 : principales maladies d'origine virale.

Maladies	Agents infectieux	Manifestation	Contamination	Références
Hépatite Infectieuse	Virus de l'hépatite A	-fièvre -sensation de malaise -perte d'appétit ; -diarrhée -urines foncées.	Voie digestive	OMS, 2008
Gastro-entérites Virales	Rotavirus Virus de Norwalk Astrovirus	-nausées ; -vomissement -douleurs abdominales -diarrhée -fièvre	Voie digestive	Schwartzbrod , 2000

4.4.3. Les maladies d'origine parasitaire

Les maladies d'origine parasitaire sont résumées dans le tableau 8.

Tableau 7 : principales maladies d'origine parasitaire.

Maladies	Agents infectieux	Manifestation	Contamination	Références
Giardiase	Giardia intestinalis anciennement Giardia Lamblia	-crampes d'estomac -ballonnement ; -flatulences ; -perte de poids ; -fatigue.	Ingestion des kystes	Villaginès R, 2003.
Dysenterie Amibienne	Entamoeba Histolytica	-crampes ; Diarrhée hémorragique ; Douleurs abdominales.	Ingestion des kystes	Aubry P, 2016.



Chapitre II
Matériels et Méthodes

Partie 01 : Présentation de la région Mila

1.1. Localisation et présentation de la Wilaya de Mila

1.1.1. Situation géographique et administrative

La Wilaya de Mila est située au Nord-Est de l'Algérie à 464 km d'altitude et à 400 km de la capitale Alger (ANDI, 2013). Elle occupe une superficie totale de 3480,54 km² soit 0,14 % de la superficie total du pays, elle est issue du découpage administratif en 1984 et constituée de 32 communes (Chaâlal, 2012). Sa population s'élève à 1017924 personnes en 2021 (DPSB, 2021).

La Wilaya de Mila est limitée par 6 wilayas (Fig. 9) :

- Au Nord-Ouest par la Wilaya de Jijel ;
- Au Nord-Est par la Wilaya de Skikda ;
- A l'Est par la Wilaya de Constantine ;
- A l'Ouest par la Wilaya de Sétif ;
- Au Sud-Est par la Wilaya d'Oum-El Bouaghi et Batna (ANDI, 2013).

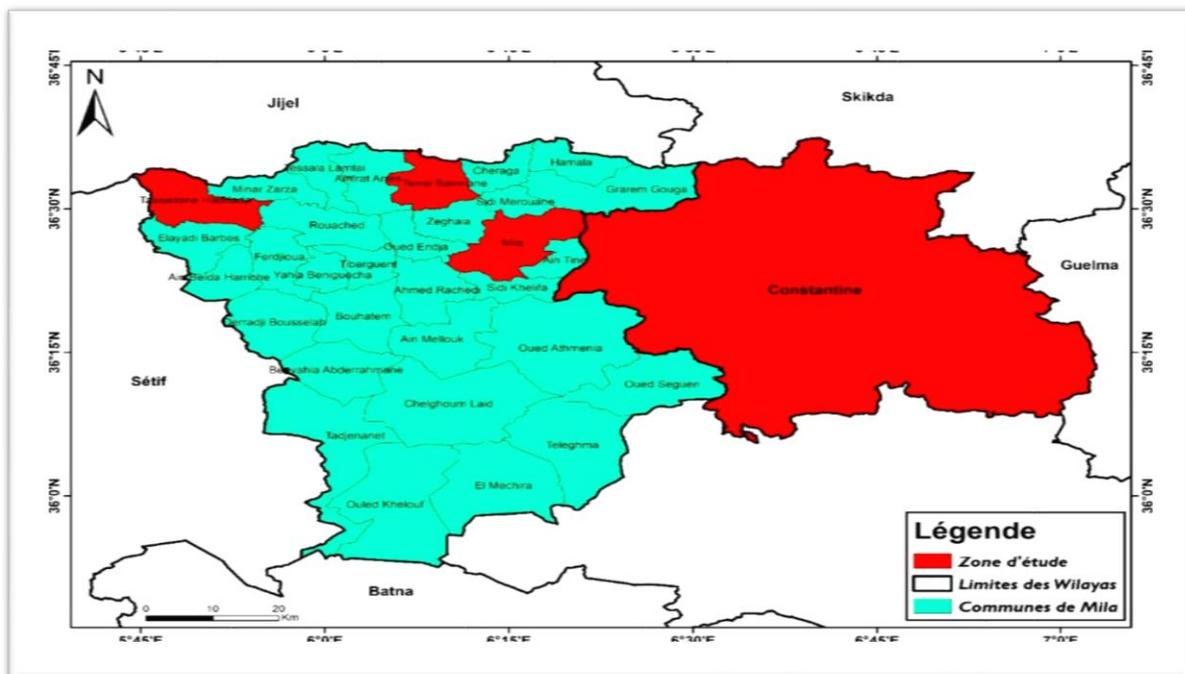


Figure 9 : situation géographique et administrative de la Wilaya de Mila.

1.1.2. Situation édaphique

1.1.2.1. Pédologie

Du point de vue pédologique, la totalité des sols de la Wilaya de Mila sont des sols bruns forestiers (Sols brunifiés), riches en potassium, pauvre en phosphore et se caractérise par la

présence du calcaire en forte teneur. Egalement les caractéristiques spécifiques de ces sols sont :

- Forte rétention en eau avec une capacité maximale.
- Apparition de fentes de retrait en périodes sèches (Belattar, 2007).

1.1.2.2. Géologie

Le bassin de Mila appartient au domaine externe de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale qui est rattachée à la branche sud des maghrébines entre le détroit de Gibraltar à l'ouest et la Sicile et la Calabre à l'est.

La partie nord orientale de cette branche est généralement subdivisée en deux grands domaines qui sont : un domaine interne regroupant le socle kabyle, les formations des flysch et un domaine externe correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays (Atmania, 2010).

1.1.2.3. Relief

La Wilaya de Mila est entièrement entourée de chaînes montagneuses appartenant à différents domaines paléogéographiques (fig. 10):

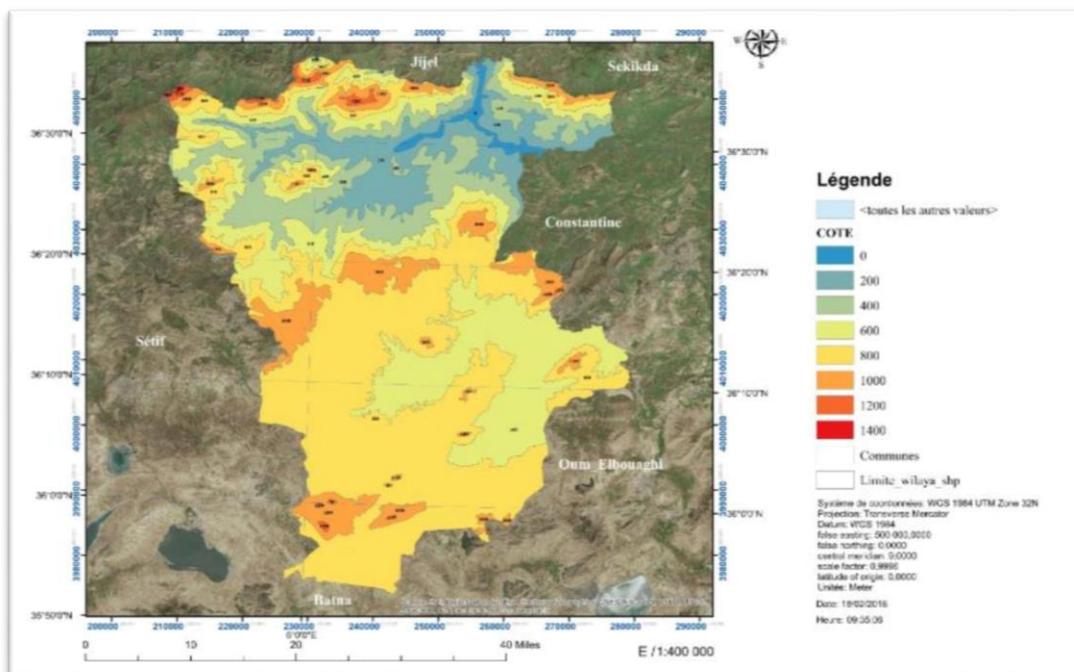


Figure 10 : carte des reliefs de la Wilaya de Mila (CF, 2018).

- Au nord, un ensemble de hautes montagnes, caractérisé par les altitudes très élevées et des pentes excessivement marquées telles que : Djebel M'cid Aicha et Sidi Driss ;
- Au sud, un ensemble de hautes plaines (plaines et collines) telles que : Djebel Osman et Grouz ;

- Au centre, un ensemble associant vallées collines et piémonts voire même quelques hauts versants ;
- Djebel Akhal, Chettaba et Kheneg de l'Est, et Djebel Boucherf et Oukissene par l'Ouest (ANDI, 2013 ; Merghadi *et al*, 2018).

1.2. Situation climatique

La Wilaya de Mila est régie par trois microclimats, calqués sur l'agencement des trois grands ensembles morphologiques.

- Humide : pour les reliefs montagneux du Nord et de la partie médiane qui s'étend de Bouhatem à Aïn Tine ;
- Semi-aride à subhumide : pour la partie médiane de la Wilaya ;
- Semi-aride : pour les hautes plaines (ANDI, 2013).

1.2.1. Température

La température est le degré de la chaleur ou le froid qui règne dans un lieu ou dans l'atmosphère. On mesure la température (en degré Celsius) à l'aide d'un thermomètre enregistreur placé à 1,5 m du sol à l'ombre et à l'abri du vent. La température de l'air varie selon les moments de la journée, l'altitude et les saisons. Elle est l'un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration (Druex, 1980).

Tableau 8 : paramètre de température durant la période (2010-2020) de la région d'étude (ONM, 2021).

paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Mini (°C)	5	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	14.1	30.7	34.8	34.5	29.3	23.9	17.4	13.6
Moy (°C)	8.9	9	11.3	14.5	17.7	23.4	28.6	26.3	22.3	18.7	13.2	9.7

Comme le montre dans le tableau 6, les températures mensuelles de la zone d'étude atteignent leur minimal au mois de février avec une valeur d'ordre de 4,7 °C par contre la valeur maximale marquée au mois de juillet 34.8 °C durant la période (2010-2020).

1.2.2. Précipitations (PP) :

Les précipitations constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères (ONM, 2017).

Tableau 9 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

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

L'analyse des données recueillies auprès de la station météo de Mila, la région d'étude reçoit environ 673 mm de pluie annuellement, Cependant la distribution de cette tranche est irrégulière comme l'indique dans le Tableau 7. Le maximum des pluies est enregistré entre le mois de février et mars. Les mois de juillet et août ne reçoivent que de faibles quantités de pluie (les mois les plus sèches).

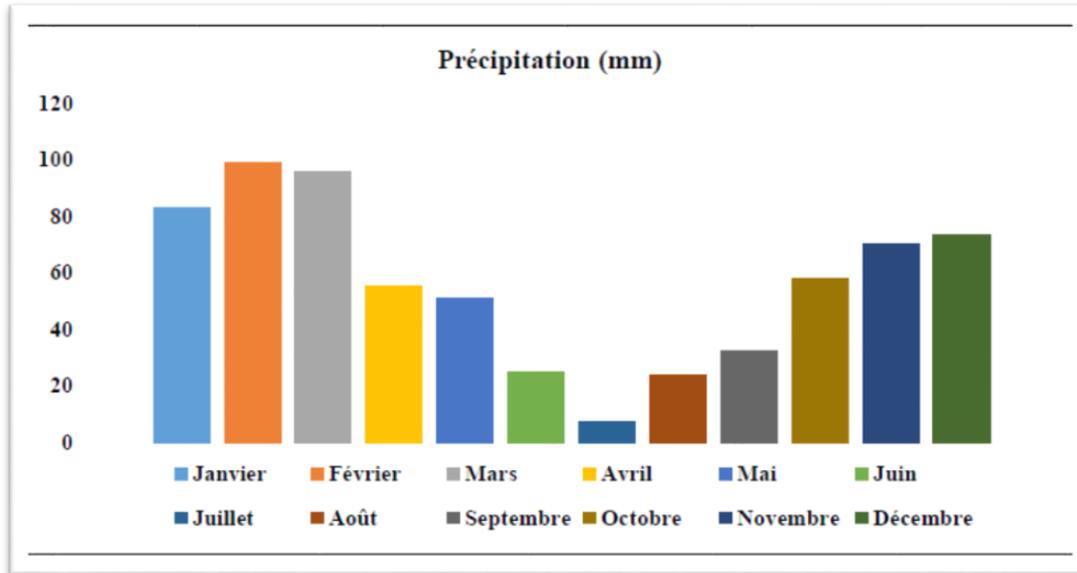


Figure 11 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

1.2.3. Diagramme Pluiothermique ou Ombrothermique

Selon [Bagnouls et Gaussen \(1957\)](#), une période sèche est due au croisement des courbes de température et des précipitations. Cette relation permet d'établir un graphe pluviométrique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations ([Aouissi, 2010](#)).

Tableau 10 : variation de précipitation et température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

paramètres	Jan	Fé	Ma	Av	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
		v	r	r				t				
PP (mm)	83	99	96	55	51	25	7	24	32	58	70	73
2T (°c)	17.8	18	22.6	29	35,4	46.8	57.2	52.6	44.6	37.4	26.4	19.4

D'après le digramme Ombrothermique établi ([Fig. 13](#)) à partir des données de températures et précipitations de la station météorologique d'Ain Tine on peut distinguer deux périodes :

- Une période humide, s'étend depuis le mois d'octobre jusqu'à la fin de mai.
- Une période sèche et chaude, s'étend de la fin de mai jusqu'à la fin de septembre.

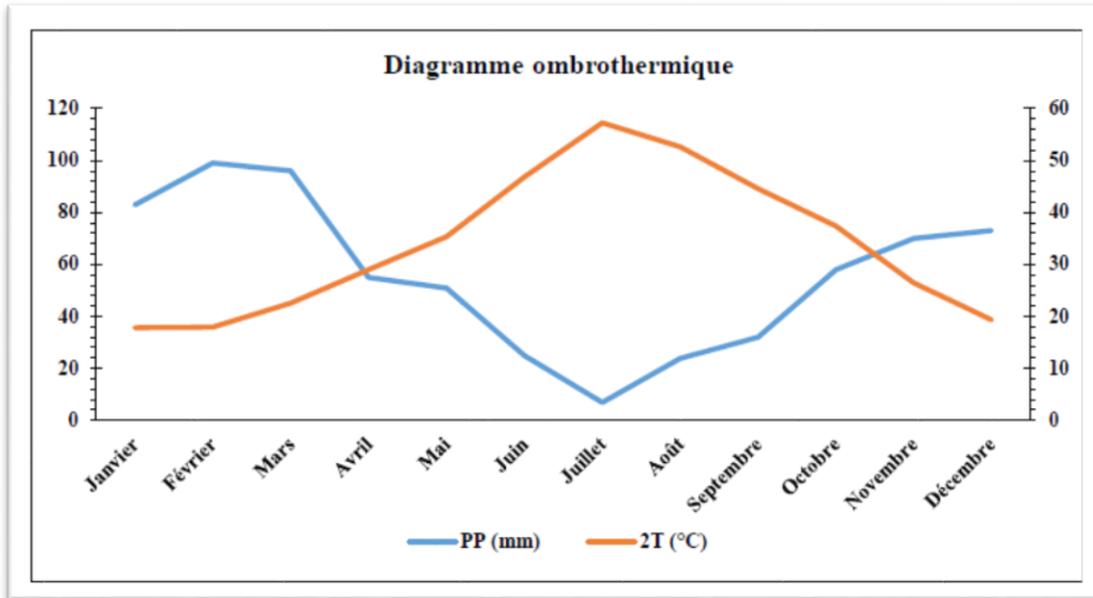


Figure 12 : diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.2.4. Humidité

L'humidité est un paramètre très important pour l'étude des pertes par évaporation dans un barrage (Groga, 2012).

Tableau 11 : taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

paramètre	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	74	76	72	70	63	54	43	49	64	66	73	76

On a observé dans la figure 9 que le taux d'humidité dans la région d'étude peut aller jusqu'à 76 % dans le mois de décembre et février, par contre la valeur minimale est observé au mois de juillet 43 %.

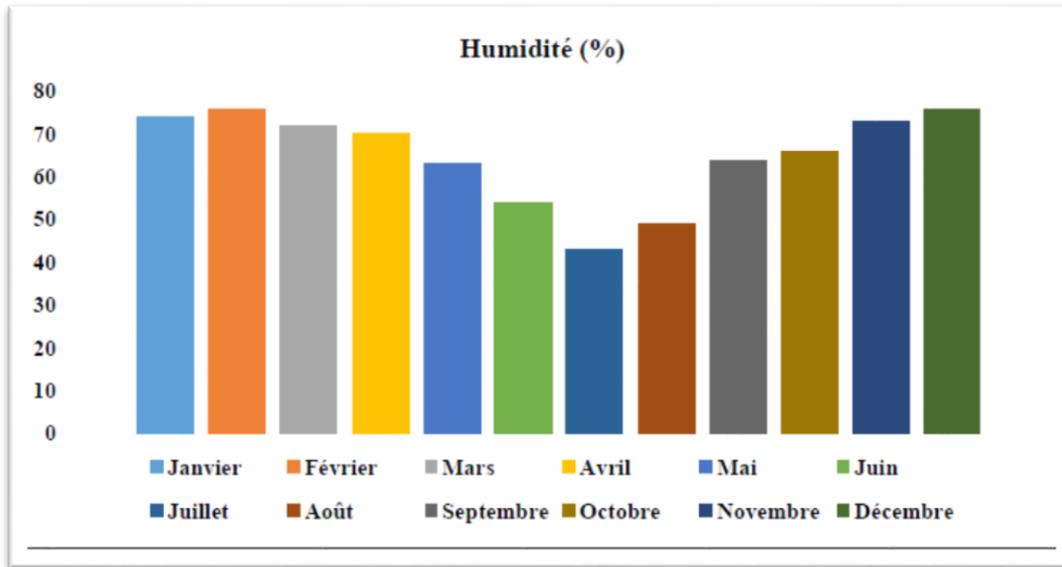


Figure 13 : variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.2.5. Vent

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force (Melghit, 2009).

Tableau 12 : variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2020) de la région d'étude (ONM, 2021).

paramètre	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
vent (m/s)	21	22	18	18	17	16	17	21	22	20	23	20

Les données du vent enregistrées dans la station d'Ain Tine pour la période de 2010 à 2020 (Tab. 12), montrent que la vitesse du vent atteint son maximum en novembre avec 23 m/s et son minimum en juin avec une force de 16 m/s. Toutefois, on a remarqué que les vitesses du vent sont approximativement homogènes pendant les autres mois.

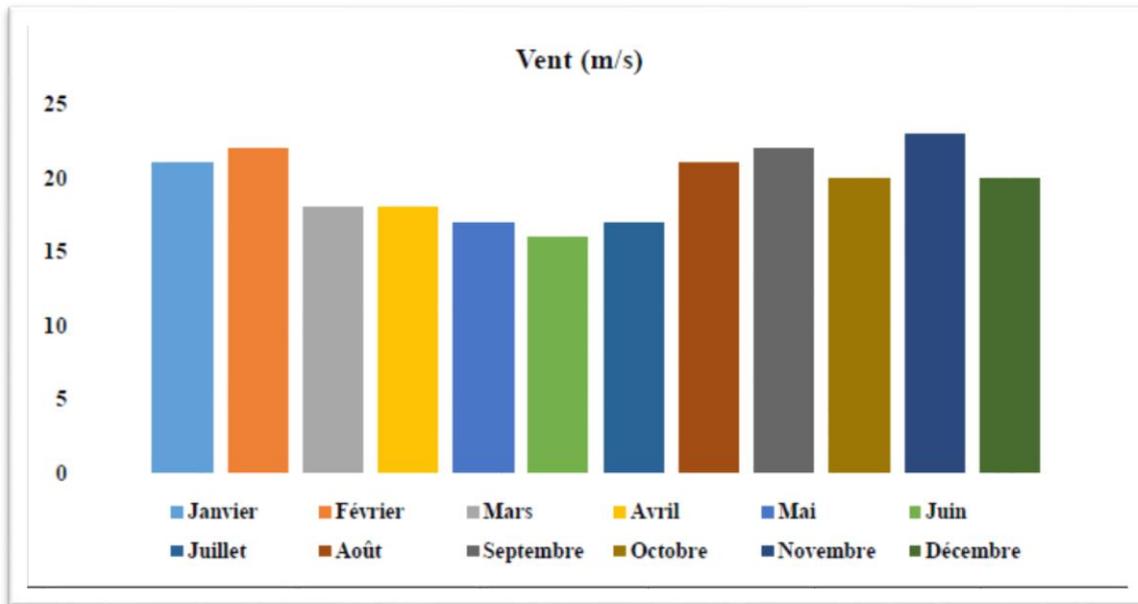


Figure 14 : variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.3. Situation hydrologique

Dans la Wilaya de Mila, les ressources hydriques regroupent les eaux de surfaces et les eaux souterraines. Ces dernières sont en l'absence d'études hydrogéologique récentes et fiables et encore mal connues. Les quelques données existantes qui les concernent indiquent qu'elles sont a priori plus faibles que les premières (ANDI, 2013).

1.3.1. Eaux souterraines

L'eau souterraine se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers et n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (Myrand, 2008). A ce titre la Wilaya de Mila qui constitué des petits cours d'eau alimentant d'importants oueds : oued Radjas, oued El-Kébir et oued El-Rhumel qui traverse la région des hautes plaines (d'Est en Ouest) dispose d'importants affluents : oued Méhari, oued Tajenamet et oued Athmania (Zouaidia, 2006).

1.3.2. Eaux de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une Source par les eaux de ruissèlement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots) (Degremont, 2005). A ce titre, le bassin de barrage Béni-Haroun est parmi les plus grands bassins

hydrographiques importants en Algérie. Cette unité hydrographique cohérente permet d'organiser la gestion ou la restauration de la qualité de l'eau de façon globale (Bioret *et al*, 2010).

1.4. Cadre biotique

Il est nécessaire d'inspecter la richesse vivante de la région d'étude à noter les différents types des espèces animales et végétales.

1.4.1. Flore

La superficie forestière dans la Wilaya de Mila couvre 3870 ha soit 9,7 % de la superficie totale de la Wilaya. Le pin d'Alep se retrouve généralement dans les forêts de Ferdjioua, Ain Beida, Bouhatem, Mila, Chelghoum-Laid, Teleghma et Tadjnannet. Le chêne liège occupe les forêts de Grarem, Sidi-Merouane, Tassadane et Tarai-Bainen.

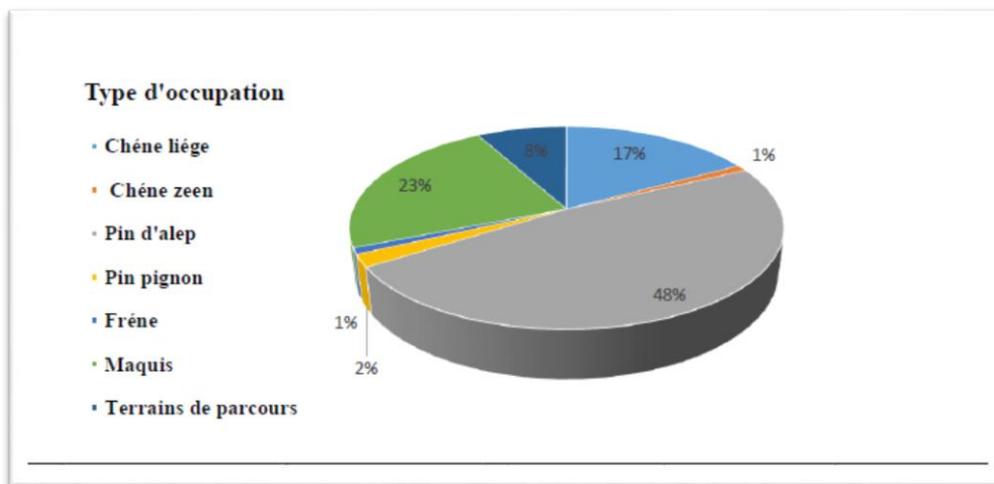


Figure 15 : type d'occupation des forêts de la Wilaya de Mila (CF, 2018).

1.4.2. Faune

D'après la conservation des forêts de la Wilaya de Mila, les mammifères, les reptiles et les poissons qui se trouvent dans cette région sont représentés dans la figure ci-dessous :

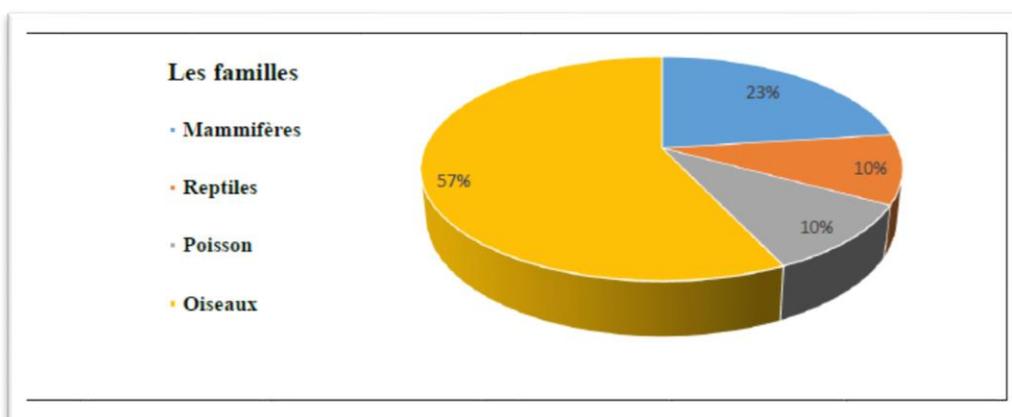


Figure 16 : diversité faunistique de la région de Mila (CF, 2018).

2. Localisation et présentation de la zone d'étude

2.1. Présentation du bassin versant de Kébir-Rhumel

Le bassin de Kebir-Rumel résulte de l'assemblage de deux rivières, les rivières Rummel et Kabir, qui drainent respectivement une superficie de 5 315 km² et 2 160 km² et leur confluence débouche sur la vallée de Kabir-Rumel (Mebarki, 1982).

L'Oued Kébir-Rhumel est un cours d'eau très important dans l'Est algérien. Il a contribué au façonnement du ravin Constantinois qui est célèbre dans toute l'Algérie. L'Oued-Rhumel s'écoule sur une distance d'environ 208 Km et son bassin versant déborde largement les limites géographiques du Constantinois. Il s'étend des marges septentrionales des Hautes Plaines des sebkhas à la mer Méditerranée au Nord. Il est juxtaposé au bassin de la Seybouse à l'Est et au bassin de la Soummam à l'Ouest. Les limites du Kébir-Rhumel sont très pertinentes sur la partie tellienne où les lignes de crêtes vivent rigoureusement. En conséquence, le calcul de la superficie du bassin versant Kébir-Rhumel diffère souvent d'un opérateur à un autre ; elle est de l'ordre de 8795 km², cependant selon les données de l'ABH, (2002) elle est de 8111 km².

2.1 Situation géographique

Le bassin Kébir-Rhumel est situé à l'Est de l'Algérie. Il est bordé au Sud par les hauts plateaux telliens, à l'Ouest par la montagne de la petite Kabylie, au Nord par la frontière de partage des eaux que forme l'Atlas Tellien, et à l'Est par le bassin du Seybouse. Le bassin versant Kébir-Rhumel possède une façade maritime d'environ 7 Km. Il est centré 36° de latitude Nord, de 7° de longitude Est. Il est subdivisé en 7 sous bassins, et se divise en deux parties distinctes :

- ✓ La partie occidentale, constituée par le bassin de l'Oued Endja d'une superficie de 2.169 km², et se caractérise par des précipitations relativement élevées (644 mm/an en moyenne) et une topographie montagnaise. Les cotes atteignent 1.400 m ou davantage.
- ✓ La partie orientale, constituée par le bassin de l'Oued Rhumel, se caractérise par une topographie plus douce et des précipitations modérées (460 mm/an en moyenne). La superficie de ce bassin est de 5.490 Km². dans ce bassin, le terrain s'élève jusqu'à 1.300 m ou davantage (Marouf, 2012).

Le bassin Kébir-Rhumel est limité par:

- Au Nord par les wilayas de : Skikda, Jijel, Bejaia ;
- Al 'Ouest : Bejaia et Bou Arréridj ;
- Au Sud : Batna, Oum El bouaghi.

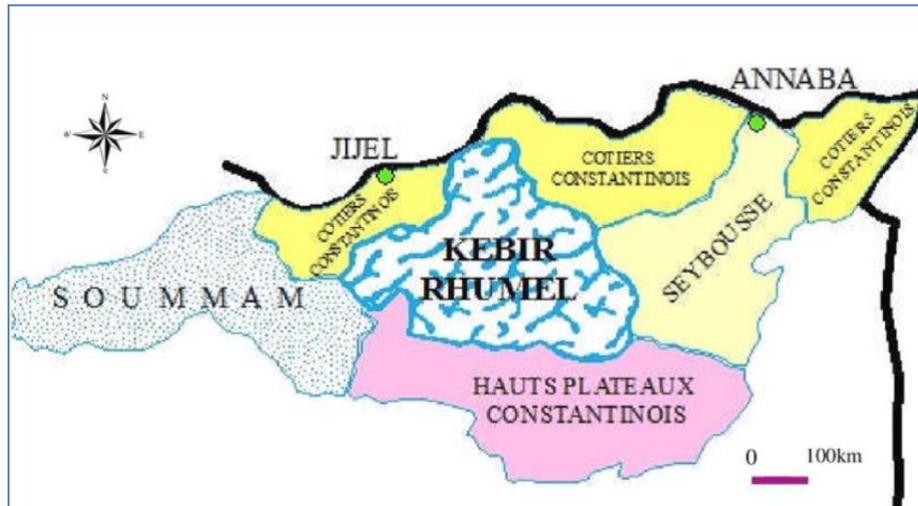


Figure 17 : Situation du bassin versant de Kébir-Rhumel (Atammia, 2010).

2.2. Réseau hydrographique

Le bassin du Kébir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense totalisant plus de 4200 km. Les oueds Rhumel, Endja, El Kebir et Boumerzoug sont les principaux cours d'eau du bassin.

➤ Oued Rhumel

C'est l'oued le plus important du bassin, long de plus de 123 km, Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes (région de Bellaa, Wilaya de Sétif), entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kebir.

➤ Oued Endja

Il prend naissance à la confluence de l'oued Kebir et de l'oued Radjas. Son lit a une forme Morphologique très intéressante du point de vue hydrologique. Il s'étend sur une longueur de 15 Km.

➤ Oued El Kebir

La confluence des oueds, Rhumel et Endja donne l'oued El Kebir, il fait 56 km de long et se déverse dans la mer méditerranée.

➤ Oued Boumerzoug

Il est considéré comme le principal affluent de l'Oued Rhumel, il prend sa source dans la région d'Aïn M'lila dont les eaux sont largement utilisées pour l'irrigation. L'important groupement thermal d'Ain Fesguia est situé vers la tête de la vallée. Il alimente la ville de Constantine en eau potable, bâtie au confluent de Boumerzoug et du Rhumel.

La figure 19 regroupe tout le réseau hydrographique du bassin versant du Kébir-Rhumel.

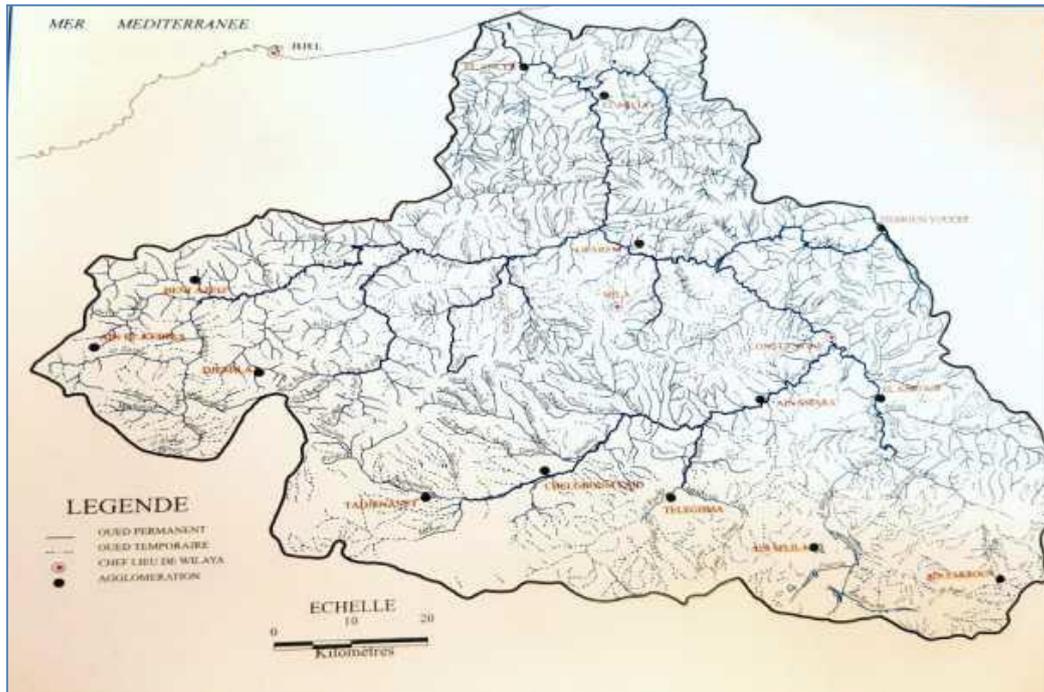


Figure 18 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant Kébir-Rhumel (ABH, 2004).

2.3. Situation climatique

2.3.1. Pluviométrie

Sur le bassin versant du Kébir-Rhumel, la pluviométrie croit du sud au nord avec une moyenne variable de 318 mm au nord. Ces écarts pluviométriques influencent beaucoup les cours d'eau, en outre, leurs débits et les matières en suspension. Pour l'ensemble du bassin, il existe vingt-deux stations de mesures pluviométriques (ABH, 2004).

La figure 20 illustre l'emplacement des 22 stations pluviométriques par sous bassin du grand Bassin Kébir-Rhumel.



Figure 20: station embouchure et amont Barrage (branche oued Rhumel) (photo original).

Les vitesses d'écoulement de l'eau aux points de relevés au moment des prélèvements de la masse d'eau même, la vitesse du courant est approximée en suivant un objet lâché sur un trajet de 10 m.

Le débit (m^3/s^{-1}) a été calculé en multipliant la vitesse de l'eau (m^3/s^{-1}) par la surface totale (m^2) de la section mouillée au point de prélèvement de la station Embouchure. La conductivité électrique (CE) et le total des solides dissous (mg/l^{-1}) ont été relevés à l'aide d'un multi-paramètre de terrain.



Figure 21 : stations d'échantillonnage dans le bassin de Kébir-Rhumel dans le mois de février 2023.

Un litre et demi d'eau prélevée au milieu de la section mouillée ont été collectées pour l'analyse des éléments nutritifs. La filtration des échantillons s'effectue le jour même de prélèvement, les analyses chimiques se font dans les deux jours qui suivent dans laboratoire de recherche des Sciences Naturelles et Matériaux (LSNM) au centre universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila.

Au laboratoire, après filtration des échantillons à travers des filtres en microfibrilles de verre Whitman 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 (Tableau13).



Figure 22 : filtrages des eaux prélevées (photo original).

Notre travail consiste à déterminer la qualité des eaux superficielles du bassin Kebir-Rhumel de l'amont jusqu'à le littoral par le truchement des analyses physico-chimiques, afin de préciser l'affluent ou l'Oued le plus polluant du réseau alimentateur et interpeller ainsi les services concernés pour une intervention visant à réduire le taux de la pollution.

3.1.2. Méthode d'analyse physico-chimique

Tableau 13 : résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques et biochimiques (1 : Parson *et al*, 1989 ; 2 : Aminot et Chaussepied 1983).

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal (NH₃ + NH₄)	Dosage spectrophoto : $\lambda = 630 \text{ nm}$	1
Nitrates (NO₃)	Dosage spectrophoto : $\lambda = 543 \text{ nm}$	1
Nitrites (NO₂)	Réduction des NO ₃ en NO ₂ et dosage spectrophoto. des nitrites :	1

	$\lambda = 543 \text{ nm}$	
Phosphate (PO₄)	Dosage spectrophoto : $\lambda = 885 \text{ nm}$	2
Orthosilicates Si(OH)₄	ou SiO ₄ Dosage spectrophoto : $\lambda = 810 \text{ nm}$	2

3.1.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal (NH₄)

• Principe

En milieu légèrement basique, l'ammonium forme une monochloramine avec l'acide dichloroisocyanurique. Cette dernière réagit avec le phénol pour former un composé de couleur bleu d'indophénol dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ammonium. La réaction est accélérée par le nitroprussiate. Cette technique de mesure a été appliquée pour le dosage des faibles concentrations où l'erreur reste inférieure à 5 %.

• Réactifs

✓ **Réactif 1** : Solution de phénol-nitroprussiate.

Dissoudre à froid : 3,5 g de phénol et 40 mg de nitroprussiate de sodium dans 100 ml d'eau distillé, ce réactif n'est stable qu'après quelques semaines au frais et à l'abri de la lumière.

✓ **Réactif 2** : Solution de dichloroisocyanurate.

Dissoudre à froid : 28 g de citrate tri sodique, 500 mg de dichloroisocyanurate et 1,4 g de soude dans 100 ml d'eau distillée. Ce réactif se conserve au frais pendant 1 à 2 mois.

• Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable puis on ajoute dans une cuve

De spectrophotomètre :

- 2 ml de réactif 1. 100 ml \pm 1 ml d'échantillon ou d'étalon.
- 2 ml de réactif 2.

Après 8h d'attente à l'obscurité, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 630 nm.

Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, ayant pour équation linéaire :

$$DO = aC + b$$

DO est la densité optique ; C la concentration ; a est la pente = 0,0166 ; b l'ordonnée à l'origine = 0,0223 et R^2 (0,9982) le coefficient de détermination mesurant la qualité de l'ajustement de la droite au nuage des couples de points DO et C .

3.1.2.2. Dosage du Nitrates (NO_3^-)

• Principe

L'échantillon, tamponné par une solution de chlorure d'ammonium, passe dans une colonne de cadmium traitée au cuivre qui sert à réduire les nitrates en nitrites. C'est donc la somme des nitrites présents dans l'échantillon plus ceux formés par la réduction des nitrates qui est mesurée à l'aide des mêmes réactifs que ceux indiqués dans le dosage des nitrites. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 10 %.

• Réactifs

✓ Réactif 1 : Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid : 2,5 g de sulfanilamide avec 13 ml de HCl concentré et 250 ml d'eau distillé.

✓ Réactif 2 : Solution de N-Naphtyl-1-éthylène diamine

Dissoudre à froid : autant de milligrammes de N-Naphtyl-Ethylène Diamine que de millilitres d'eau distillée. Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

✓ Réactif 3 : Solution de chlorure d'ammonium

Dissoudre à froid : 10 g de NH_4Cl dans 1 L d'eau distillée.

• Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. L'échantillon ou l'étalon est injecté dans une boucle, préalablement rincée par l'échantillon ou l'étalon, et qui connectée au circuit via un système de valves. L'absorbance est mesurée en continu par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 543 nm.

Les absorbances maximales sont relevées et les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire.

$$DO = aC + b$$

Dont $a= 0,0429$, $b= 0,022$ et $R^2=0,9992$



Figure 23 : dosage des nitrates (NO_3^-) (Photo originale)

3.1.2.3. Dosage du Nitrites (NO_2^-)

• Principe

En milieu acide ($\text{pH} < 2$), les ions nitrites forment de l'acide nitreux HNO_2 qui réagit avec de la sulfanilamide pour former un complexe diazoïque. En présence de N-Naphtyl-Ethylène Diamine, il se forme un complexe rose dont l'intensité est proportionnelle à

La concentration en nitrites. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 5 %.

• Réactifs

✓ **Réactif 1** : Solution de sulfanilamide.

Dissoudre à froid : 2,5 g de sulfanilamide avec 13 ml de HCl concentré et 250 ml d'eau distillé.

✓ **Réactif 2** : Solution de N-Naphtyl-Ethylène Diamine.

Dissoudre à froid : autant de milligrammes de N-Naphtyl-Ethylène Diamine que de millilitres d'eau distillée. Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

• Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. Puis, dans une cuve pour spectrophotomètre, on ajoute :

- 1 ml de réactif 1.
- 50 ml d'échantillon ou d'étalon.
- 8 minutes d'attente.
- 1 ml de réactif 2.

Après 15 minutes d'attente, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 543 nm.

Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire.

$$DO = aC + b$$

Dont $a= 0,0421$, $b= 0,0237$ et $R^2=0,9959$



Figure 24 : dosage des nitrites (NO_2^-) (Photo originale).

3.1.2.4. Dosage des phosphates (PO_4^{3-})

- **Réactifs**

La température des échantillons doit être comprise entre 15 et 30 °C. On procède comme suit :

- Préparer le mélange-réactif (100 ml de solution de molybdate d'ammonium, 250 ml d'acide sulfurique 2,5 mol.l⁻¹, 100 ml d'acide ascorbique et 50 ml de solution d'oxytartarate de potassium et d'antimoine.
- Mesurer 50 ml d'échantillon.
- Ajouter 5 ml de mélange-réactif et homogénéiser aussitôt.
- Attendre 5 min et mesurer l'absorbance à 885 nm en cuves de 3 cm de trajet optique, par apport à l'eau distillée.

Les concentrations des phosphates sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire.

$$DO = aC + b$$

Dont $a = 0,0227$, $b = 0,013$ et $R^2 = 0,9974$



Figure25 : dosage des phosphates (PO_4) (Photo originale).

3.1.2.5. Dosage des silicates Si(OH)_4 ou SiO_4

- **Principe**

La solution d'heptamolybdate forme avec la silice dissoute (acide silicique) un complexe silicomolybdique qui donne, après réduction, une coloration bleue intense. Le pourcentage d'erreur en analyse flux continu est inférieur à 1 %.

- **Réactifs**

- ✓ **Réactif 1:** Solution de molybdate d'ammonium

Dissoudre à chaud (50 C) : 4 g de molybdate d'ammonium $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dans 300 ml d'eau distillé pour 500 ml de réactif.

- Ajouter 12 ml d'acide chlorhydrique concentré ($d=1,18$). Mélanger et compléter à 500 ml avec l'eau distillée.

- A conserver à l'abri de la lumière.

✓ **Réactif 2** : Réducteur (mélange).

- 100 ml de solution de métol-sulfite.

- 60 ml de solution d'acide oxalique.

- 60 ml d'acide sulfurique à 50 %.

- compléter avec l'eau distillée pour obtenir 300 ml de solution.

Dans une éprouvette en polyéthylène de 50 ml. Ajouter 10ml de R1. Ajouter à la pipette 25 ml d'échantillon. Ajouter rapidement R2. Attendre 2 à 3 h et mesurer l'absorbance à 810 nm.

Les concentrations des silicates sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire.

$$DO = aC + b$$

$$\text{Dont } a = 0,0097, b = 0,008 \text{ et } R^2 = 0,9986$$

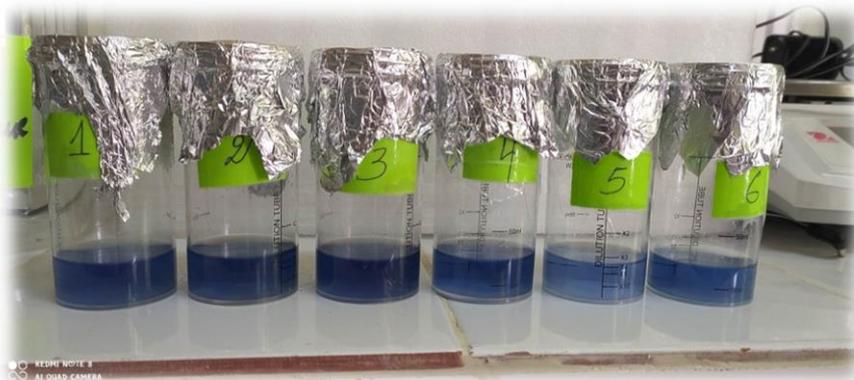


Figure 26 : dosage des ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4 (Photo originale).



Chapitre III

Résultats et Discussion

1. Évaluation des paramètres physiques des eaux des rivières en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun pendant la période d'étude de février 2023.

1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Pendant la période d'étude de février 2023, les valeurs du potentiel d'hydrogène (pH) des eaux dans toutes les stations (Oued Endja, Oued Radjas, Oued El-Koton, Oued Rhumel, Aval Barrage, Embouchure Kébir-Rhumel) ont montré une variation comprise entre 7,19 et 8,12 (tableau 14). La variation du pH dans les eaux superficielles est principalement due à la qualité de l'apport en eau atmosphérique, ainsi qu'à une moindre mesure aux rejets industriels.

1.2. Conductivité électrique (CE)

Les variations de la conductivité électrique d'une station à l'autre sont dues à la présence de charges positives et négatives des ions. Lorsque l'eau contient davantage d'ions tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , sa capacité à conduire un courant électrique est accrue, ce qui se traduit par une conductivité mesurée plus élevée.

Les valeurs de conductivité électrique varient considérablement d'une station à l'autre, allant de 463 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 5460 $\mu\text{s}/\text{cm}$. En amont du barrage de Béni-Haroun, la valeur la plus élevée a été observée à Oued Radjas (5460 $\mu\text{s}/\text{cm}$), tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée à la station d'Oued Endja (833 $\mu\text{s}/\text{cm}$). En aval du barrage de Béni-Haroun, la conductivité électrique atteint 1498 $\mu\text{s}/\text{cm}$. À l'embouchure de Kébir-Rhumel, la conductivité électrique est de 463 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (tableau 14).

Les rejets contaminés augmentent la conductivité de l'eau. L'utilisation de sels déglaçants dans le bassin versant est une cause fréquente d'une conductivité anormalement élevée des eaux de surface.

1.3. Taux des sels dessous (TDS)

La modification de la composition de la teneur en TDS est due à plusieurs facteurs, tels que la nature géologique des terrains lessivés, la charge des eaux de pluie, les eaux d'irrigation chargées en fertilisants et les rejets domestiques.

En ce qui concerne les résultats obtenus en février 2023, on constate une grande variabilité des valeurs de TDS entre les différentes stations. En amont du barrage de Béni-Haroun, la valeur la plus élevée a été observée au niveau de l'oued Radjas (3120 $\mu\text{s}/\text{cm}$), tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée à la station d'oued Endja (431 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Les autres stations, à savoir oued El-koton et oued Rhumel, présentent des valeurs fluctuant respectivement entre 759 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et

971 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La valeur de TDS en aval du barrage de Béni Haroun est de 798 $\mu\text{s}/\text{cm}$, tandis qu'à l'embouchure de Kébir-Rhumel, la valeur de TDS est de 247 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (tableau 14).

Il est important de noter que ces résultats démontrent une grande disparité dans la composition de la teneur en TDS entre les différentes stations, ce qui souligne l'impact des facteurs mentionnés précédemment sur la qualité de l'eau dans la région étudiée.

1.4. Débit

Le débit des cours d'eau introduits au barrage de Béni-Haroun et à l'embouchure n'est pas régulier pendant toute la saison humide. Les précipitations dans tout le bassin versant de l'oued Kebir-Rhumel ont une influence directe sur les débits de nos cours d'eau.

Les résultats présentés dans le tableau 14 indiquent que les débits varient significativement entre les stations en amont du barrage de Béni-Haroun et à l'embouchure, en raison des spécificités de chaque sous-bassin. En amont du barrage, la valeur la plus élevée a été observée à Oued El-Koton (49,9 m^3/s), tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée à la station d'Oued Endja (12,85 m^3/s). Les débits dans les branches (Oued Radjas et Oued Rhumel) varient respectivement entre 21,42 m^3/s et 25 m^3/s . À l'embouchure de l'oued Kebir-Rhumel, le débit est de 21,12 m^3/s (tableau 14).

Tableau 14 : Variations des paramètres physiques en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun et à l'embouchure pendant le mois de février 2023.

Site	PH	CE $\mu\text{s}/\text{cm}$	Sal ms/cm	TDS $\mu\text{s}/\text{cm}$	Débit m^3/s
Oued Endja	7.9	833	0.4	431	12.85
Oued Radjas	7.35	5460	2.8	3120	21.42
Oued El-koton	8.06	1425	0.7	759	49.9
Oued Rhumel	7.9	1768	0.9	971	25
Aval Barrage	7.9	1498	0.7	798	
Embouchure KR	8.12	463	0.2	247	21.12

2. La distribution des éléments N, P et Si en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun pendant le mois de février 2023.

Durant la période d'étude en février 2023, à l'entrée du barrage de Béni-Haroun, les teneurs moyennes en azote inorganique dissous (NID : $\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) dans l'ensemble des stations varient entre 2,05 mg/l^{-1} et 4,71 mg/l^{-1} , avec une moyenne d'environ 3,98 mg/l^{-1} . La branche d'Oued El-Kotonne présente la valeur la plus élevée en azote inorganique dissous (4,71 mg/l^{-1}), tandis que les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les branches d'Oued Endja

(2,05 mg/l⁻¹) et à Oued Radjas la teneur d'azote inorganique dissous égal à 4,56 mg/l⁻¹, ce qui indique que la branche d'Oued El-Kotonne est plus exposée aux activités anthropogéniques par rapport aux autres branches en amont du barrage (Tableau 15).

En aval du barrage de Béni-Haroun, la concentration en azote inorganique dissous est de 2,51 mg/l⁻¹ (tableau 15). La diminution de la teneur en azote inorganique dissous en aval du barrage est attribuable à l'effet du barrage lui-même, notamment à ses activités biologiques internes.

En ce qui concerne l'ammonium (NH₄), les concentrations en amont du barrage de Béni-Haroun varient entre 0,03 mg/l⁻¹ et 1,42 mg/l⁻¹, avec une moyenne d'environ 0,69 mg/l. La valeur la plus basse est enregistrée à la station d'Oued Endja (0,03 mg/l⁻¹). En aval du barrage de Béni-Haroun, la concentration d'ammonium est de 0,05 mg/l⁻¹. De même, à l'embouchure de l'Oued Kebir-Rhumel, la concentration d'ammonium est de 0,03 mg/l⁻¹ (tableau 15).

Les fortes concentrations en amont du barrage s'expliquent par l'apport excessif des rejets domestiques, agricoles et, dans une moindre mesure, industriels, dont les niveaux varient d'un site à l'autre en fonction du degré de l'impact anthropique sur chaque site.

Les concentrations de nitrates (NO₃) dans l'ensemble des stations en amont du barrage sont élevées, variant entre 0,01 mg/l⁻¹ et 3,27 mg/l⁻¹, tandis que la station Oued El-Kotonne présente la plus forte concentration, équivalente à 3,27 mg/l⁻¹, dont l'aval de barrage la concentration en nitrates égal à 2,44 mg/l⁻¹ (tableau 15). De plus, à l'embouchure, la concentration en nitrates est de 0,01 mg/l⁻¹ (figure 28).

La présence de nitrates à des concentrations élevées est principalement due à la nature des terrains drainés par les eaux superficielles, à l'utilisation d'engrais chimiques, à certaines industries et aux zones d'élevage.

Les concentrations en nitrites (NO₂) dans l'ensemble des stations varient entre 0,01 mg/l⁻¹ et 3,14 mg/l⁻¹. En amont du barrage, les teneurs en nitrites fluctuent entre 0,02 mg/l⁻¹ et 3,14 mg/l⁻¹, contre 0,01 mg/l⁻¹ en aval du barrage. La valeur la plus élevée de nitrites est également enregistrée à Oued Radjas, avec une valeur d'environ 3,14 mg/l⁻¹ (figure 28), tandis que dans l'embouchure la concentration en nitrites égal à 0,82 mg/l⁻¹. Les nitrites sont généralement présents à de faibles concentrations dans les eaux et résultent d'une oxydation incomplète de l'ammonium ou d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant ou de la minéralisation.

En ce qui concerne les orthophosphates (PO₄), les eaux introduites en amont du barrage de Béni-Haroun présentent des concentrations plus ou moins importantes, variant entre 0,10

mg/l⁻¹ et 1,77 mg/l⁻¹. La plus forte concentration est enregistrée dans la branche d'Oued Rhumel (1,77 mg/l⁻¹), tandis que la concentration la plus faible est observée dans la branche d'Oued Endja, avec une valeur moyenne d'environ 0,01mg/l⁻¹ (figure 29). En aval du barrage, la concentration de phosphore est de 0,05 mg/l⁻¹, et à l'embouchure, les concentrations moyennes de phosphore peuvent atteindre 0,07 mg/l⁻¹. La branche d'Oued Endja présente la plus faible concentration en PO₄, ce qui suggère une faible activité anthropogénique dans cette zone (tableau 15).

La variation des concentrations en PO₄ dans les eaux entrant dans le barrage de Béni-Haroun est principalement liée à une utilisation intensive des engrais, à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique.

La distribution des orthosilicates Si(OH)₄ en amont du barrage de Béni-Haroun varie entre 11,89 mg/l⁻¹ et 19,48 mg/l⁻¹, avec une moyenne d'environ 14,78 mg/l⁻¹. La valeur maximale est observée dans la branche d'Oued El-Kotonne, atteignant 19,48 mg/l⁻¹ (figure 29). En aval, la concentration en silicium est de 6,58 mg/l⁻¹, tandis que la concentration en silicium à l'embouchure égal à 10,31 mg/l⁻¹ (tableau 15). Les fortes concentrations en Si(OH)₄ sont dues à l'altération des roches et à la nature des terrains drainés par les eaux superficielles.

Les rapports stœchiométriques de Redfield (Si:N:P) dans l'ensemble des stations étudiées présentent des déséquilibres plus ou moins prononcés, indiquant un déséquilibre dans l'apport en nutriments dans les eaux en raison de l'activité humaine (tableau 15).

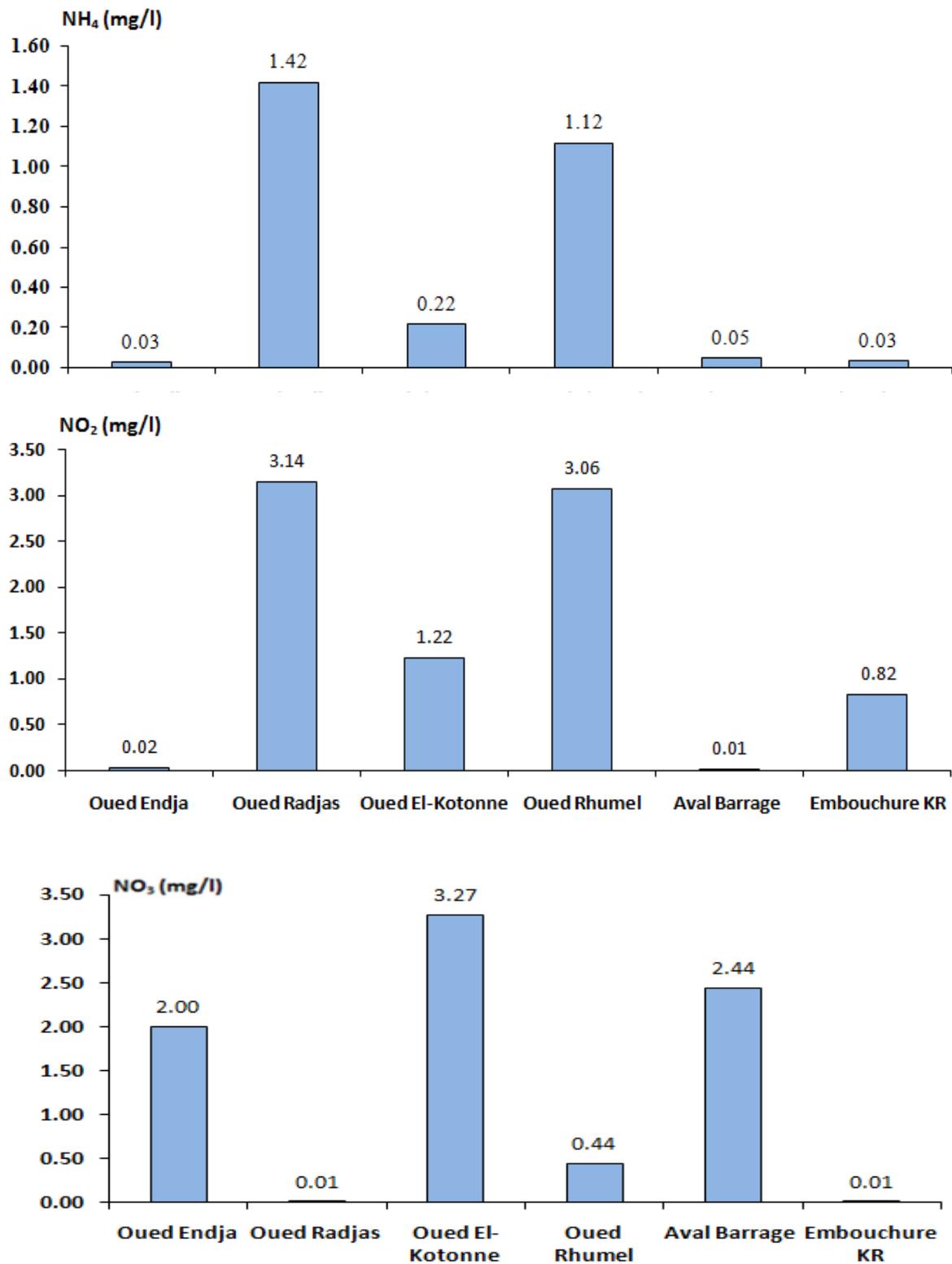


Figure 27: variations des teneurs de l'azote inorganique dissous (NH₄; NO₃ et NO₂) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun et à l'embouchure d'Oued kébir-Rhumel au cours du mois de février 2023.

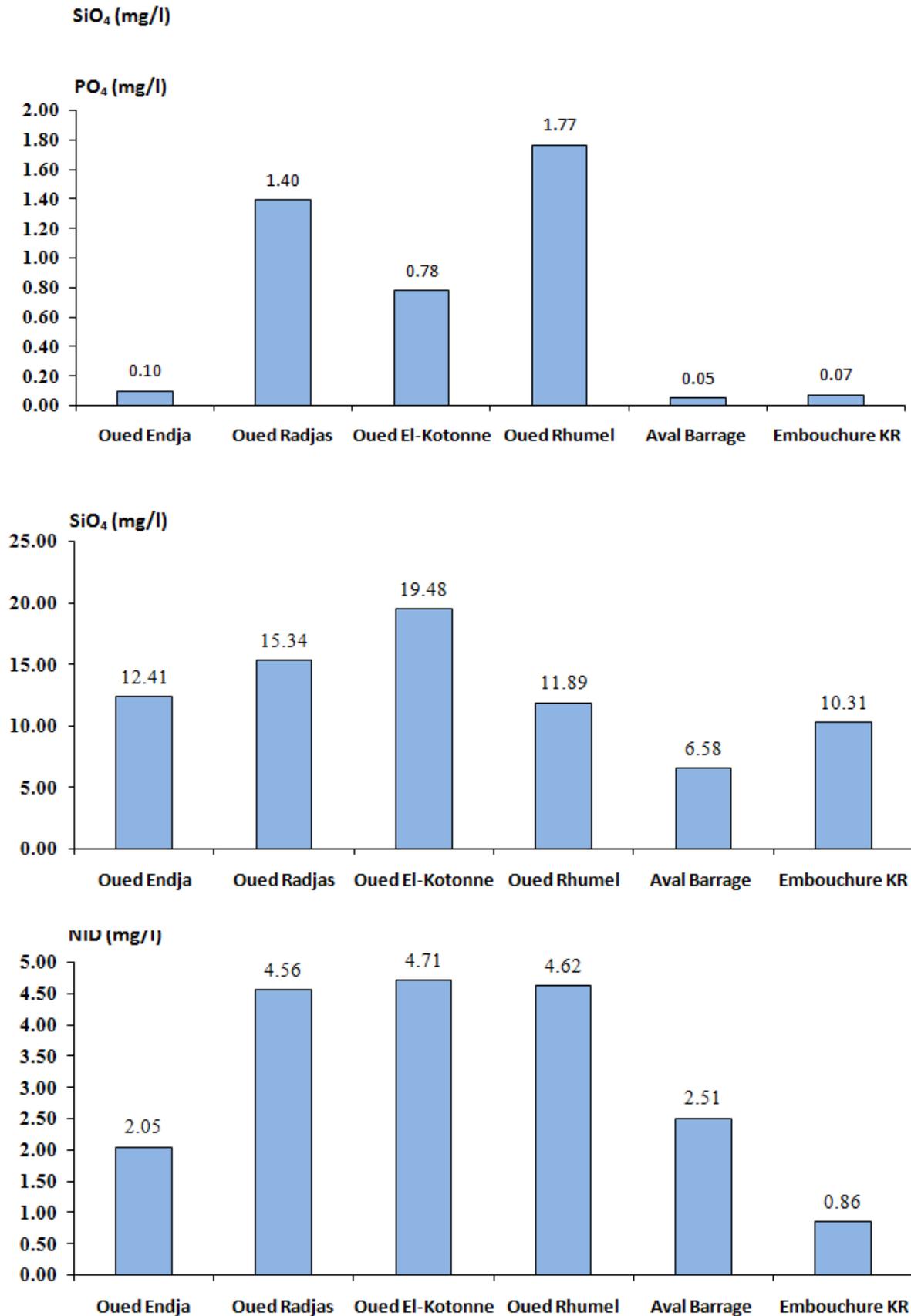


Figure 28 : Variations des teneurs en nutriments (NID, PO₄ et SiO₄) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun et à l'embouchure d'Oued kébir-Rhumel au cours du mois de février 2023.

2. Évaluation des paramètres physicochimiques des eaux pluviales dans les régions rurales (Terrai Bainen et Minar Zarza) et urbaines (Tadjnanet, Oued Athmania, Sidi-Merouane, Ferdjioua) pendant la période humide de 2022-2023.

2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des eaux pluviales dans la zone rurale présente une variabilité significative au cours des mois de notre période d'échantillonnage. La valeur la plus élevée a été observée en janvier dans la région de Terrai Bainen, avec un pH de 8, tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée en mars dans la région de Minar Zarza, avec un pH de 6,6. Dans la zone urbaine, le pH varie entre 6,96 et 7,32 (tableau 16). La variation du pH est principalement liée à la qualité de l'air et aux polluants atmosphériques.

2.2. Conductivité électrique (CE)

Les valeurs de conductivité électrique enregistrées dans le tableau 16 indiquent une variabilité significative entre les différentes régions des zones urbaines (Sidi Merouane, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua). La valeur la plus élevée a été enregistrée en novembre dans la région d'Oued Athmania (585 $\mu\text{s}/\text{cm}$), tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée en janvier dans la région de Ferdjioua (74,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$). De plus, la valeur la plus élevée de CE dans la zone rurale était de 978 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans la région de Terrai Bainen, tandis que la valeur la plus faible de CE a été enregistrée en novembre dans la région de Minar Zarza (68,3 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

2.3. Taux des sels dessous (TDS)

Comme le montre le tableau 16, les valeurs de la salinité varient entre les régions de la zone urbaine. La valeur la plus élevée a été observée en novembre dans la région d'Oued Athmania (305 $\mu\text{s}/\text{cm}$), tandis que la valeur la plus faible a été enregistrée en janvier 2023 dans la région de Ferdjioua (39,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$). De plus, pour la zone rurale, la variabilité est significative, avec des valeurs de TDS variant entre 521 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 35,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans la région de Terrai Bainen en janvier et en novembre dans la région de Manar Zarza respectivement.

Tableau 15 : Les paramètres physiques des eaux de pluie dans les régions rurales de Terrai Bainen et Minar Zarza, ainsi que dans les régions urbaines de Sidi-Maroune, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua, au cours de la période humide de 2022-2023.

Site	Date	PH	CE $\mu\text{s/cm}$	Sal ms/cm	TDS $\mu\text{s/cm}$
Minar Zarza	22-11-2022	6.79	157	0.1	79.5
	28-11-2022	6.65	68.3	0	35.5
	29-11-2022	6.74	92.5	0	49.3
	03-03-2023	6.6	123.7	0.1	62.5
Sidi-Merouane	02/03/2023	7.3	164	0.1	90.2
Tadjnanet	22/02/2023	6.9	149	0.1	83.3
Oued-Athmania	20/11/2022	7.02	585	0.3	305
	29/11/2022	6.69	87.1	0	46.3
Ferdjioua	29/11/2022	7.32	165.5	0.1	87.6
	25/12/2022	7.04	511	0.2	271
	22/01/2023	6.92	74.8	0	39.5
Terrai Bainen	20/11/2022	7.03	173.2	0.1	89.9
	22/11/2022	7.18	201	0.1	105
	29/11/2022	7.11	126.7	0.1	66.7
	17/01/2023	8	978	0.5	521

5. Les apports atmosphériques d'azote, de phosphore et de silicium dans les régions rurales de Minar Zarza et Terrai Bainen, ainsi que dans les régions urbaines de Sidi-Merouane, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua, durant la période humide de 2022-2023.

Durant la période humide 2022-2023, les concentrations en azote inorganique dissous (NID) dans les eaux de pluie de la zone urbaine varient entre $0,33 \text{ mg/l}^{-1}$ et $2,57 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne d'environ $1,45 \text{ mg/l}^{-1}$ observée dans la région d'Oued Athmania. En revanche, la région urbaine de Ferdjioua présente des concentrations comprises entre $0,67 \text{ mg/l}^{-1}$ et $2,43 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne d'environ $1,51 \text{ mg/l}^{-1}$. La région urbaine de Tadjnanet présente une concentration en azote inorganique dissous égale à $1,40 \text{ mg/l}^{-1}$ (tableau 17). De même, la région de Sidi-Merouane présente des concentrations pouvant atteindre $1,25 \text{ mg/l}^{-1}$.

Les eaux de pluie dans la zone rurale de Terrai Bainen et Minar Zarza présentent des apports atmosphériques en azote inorganique dissous (NID) relativement faibles, avec des concentrations fluctuant respectivement entre $0,56 \text{ mg/l}$ et $14,59 \text{ mg/l}^{-1}$, et une moyenne de $4,17 \text{ mg/l}^{-1}$ et entre $0,30 \text{ mg/l}^{-1}$ et $1,56 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $0,71 \text{ mg/l}^{-1}$ (tableau 17). En ce qui concerne l'ammoniac (NH_4) dans les zones urbaines de Sidi-Meroune, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua, les concentrations varient entre $0,55 \text{ mg/l}^{-1}$ et $1,78 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne d'environ $0,92 \text{ mg/l}^{-1}$.

L'apport atmosphérique de NH_4 dans les régions rurales de Terrai Bainen et Minar Zarza est relativement faible, avec des concentrations variant entre $0,53 \text{ mg/l}^{-1}$ et $11,94 \text{ mg/l}^{-1}$, et une moyenne de $3,44 \text{ mg/l}^{-1}$ pour la région de Terrai Bainen, et entre $0,15 \text{ mg/l}^{-1}$ et $0,85 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $0,46 \text{ mg/l}^{-1}$ pour la région de Minar Zarza (tableau 17).

En ce qui concerne les nitrates (NO_3), les concentrations dans les eaux de pluie de la région urbaine varient entre $0,09 \text{ mg/l}$ et $0,25 \text{ mg/l}$, avec une moyenne d'environ $0,17 \text{ mg/l}$ dans la région d'Oued Athmania, et entre $0,04 \text{ mg/l}^{-1}$ et $0,14 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne d'environ $0,1 \text{ mg/l}^{-1}$ dans la région urbaine de Ferdjioua. La teneur en nitrates (NO_3) dans la région urbaine de Tadjnanet est de $0,52 \text{ mg/l}^{-1}$, tandis que dans la région de Sidi Meroune, la concentration est d'environ $0,12 \text{ mg/l}^{-1}$. En revanche, la région rurale de Terrai Bainen et Minar Zarza présente de faibles apports atmosphériques en nitrates, avec des teneurs variant entre $0,03 \text{ mg/l}^{-1}$ et $0,17 \text{ mg/l}^{-1}$, et une moyenne de $0,08 \text{ mg/l}^{-1}$ dans la région de Terrai Bainen, et entre $0,04 \text{ mg/l}^{-1}$ et $0,18 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $0,10 \text{ mg/l}^{-1}$. Pour les nitrites (NO_2), l'apport atmosphérique dans la région urbaine (Sidi Meroune, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua) est plus élevé par rapport à la région rurale (Terrai Bainen et Minar Zarza) (tableau 17).

En ce qui concerne les orthophosphates (PO_4), les eaux de pluie de la région urbaine d'Oued Athmania présentent des concentrations en PO_4 variant entre $0,41 \text{ mg/l}^{-1}$ et $2,85 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $1,63 \text{ mg/l}^{-1}$. Dans la région de Ferdjioua, les concentrations varient entre $0,68 \text{ mg/l}^{-1}$ et $2,31 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $1,37 \text{ mg/l}^{-1}$, et dans la région de Sidi Meroune, la valeur est de $0,80 \text{ mg/l}^{-1}$. De plus, dans la région de Tadjnanet, la valeur de PO_4 est de $1,81 \text{ mg/l}^{-1}$.

D'autre part, les concentrations en PO_4 dans la région rurale fluctuent entre $0,08 \text{ mg/l}^{-1}$ et $0,78 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $0,31 \text{ mg/l}^{-1}$ dans la région de Terrai Bainen, et entre $0,02 \text{ mg/l}^{-1}$ et $0,28 \text{ mg/l}^{-1}$, avec une moyenne de $0,12 \text{ mg/l}^{-1}$ dans la région de Minar Zarza (tableau 17). Les apports atmosphériques de $\text{Si}(\text{OH})_4$ dans la région urbaine (Sidi Meroune, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua) sont importants (respectivement $47,15 \text{ mg/l}^{-1}$, $34,26 \text{ mg/l}^{-1}$, $14,08 \text{ mg/l}^{-1}$ et $23,68 \text{ mg/l}^{-1}$), par rapport à la région rurale de Terrai Bainen et Minar Zarza (respectivement $72,43 \text{ mg/l}^{-1}$ et $2,61 \text{ mg/l}^{-1}$) (tableau 17).

La modification de la concentration des nutriments dans les eaux de pluie de la région urbaine (Sidi Meroune, Tadjnanet, Oued Athmania et Ferdjioua) et rurale (Terrai Bainen et Minar Zarza) est principalement due à l'activité humaine, se traduisant par les activités agricoles et industrielles (pollution atmosphérique).

Tableau 16: Variations des concentrations en nutriments (mg/l^{-1}) et des rapports stœchiométriques de Redfield ($\text{mg/l}^{-1} / \text{mg/l}^{-1}$) dans les eaux de pluie des régions rurales et urbaines pendant la période humide de 2022-2023.

Site	Date P	NID	NH_4	NO_2	NO_3	PO_4	SiO_4	N :P	Si :N
Minar-Zarza	22-11-2022	0.30	0.15	0.031	0.12	0.02	0.47	6.07	3.13
	28-11-2022	0.33	0.26	0.001	0.07	0.08	0.51	3.27	2.01
	29-11-2022	0.66	0.58	0.049	0.04	0.12	1.01	4.91	1.75
	03-03-2023	1.56	0.85	0.524	0.18	0.28	8.47	3.03	9.94
Sidi –merouane	02/03/2023	1.25	0.58	0.557	0.12	0.80	47.15	0.72	81.84
Tadjnanet	22/02/2023	1.40	0.81	0.066	0.52	1.81	34.26	0.45	42.41
Oued –athmania	20/11/2022	2.57	1.78	0.543	0.25	0.41	18.28	4.32	10.27
	29/11/2022	0.33	0.24	0.001	0.09	2.85	9.89	0.08	41.14
Ferdjioua	29/11/2022	1.43	0.90	0.492	0.04	2.31	27.34	0.39	30.36
	25/12/2022	0.67	0.55	0.001	0.12	1.13	25.43	0.48	46.65
	22/01/2023	2.43	1.64	0.649	0.14	0.68	18.28	2.41	11.16
Tarraï –bienen	20/11/2022	0.78	0.61	0.001	0.17	0.78	24.46	0.79	39.86
	22/11/2022	0.56	0.53	0.001	0.03	0.21	79.63	2.49	149.35
	29/11/2022	0.75	0.69	0.001	0.05	0.19	83.54	3.62	120.68
	17/01/2023	14.59	11.94	2.573	0.08	0.08	101.98	154.67	8.45

$$\text{Si} : \text{N} = \text{Si}(\text{OH})_4/\text{NH}_4; \text{N} : \text{P} = \text{NH}_4/\text{PO}_4; \text{Si} : \text{P} = \text{Si}(\text{OH})_4/\text{PO}_4$$



Conclusion

Conclusion

La contribution à l'étude de la qualité physicochimique des eaux du bassin d'Oued Kebir-Rhumel en Algérie est essentielle pour évaluer l'état de la ressource en eau et prendre des mesures appropriées pour sa préservation et sa gestion durable.

Les résultats mettent en évidence des différences notables dans les mesures des paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, la salinité, les TDS et le débit entre les sites étudiés. Ces variations peuvent être expliquées par divers facteurs, tels que la géologie locale, les activités humaines et les conditions environnementales spécifiques à chaque site. De plus, les mesures des nutriments et des composés chimiques révèlent également des variations significatives d'un site à l'autre, ce qui peut être attribué à des facteurs tels que les apports agricoles, les sources de pollution ou les processus biologiques propres à chaque site.

Les résultats de l'étude ont révélé que la qualité physicochimique des eaux du bassin d'Oued Kebir-Rhumel présente certaines préoccupations. Des niveaux élevés de certains paramètres, tels que les nitrates et les phosphates, ont été détectés, indiquant une contamination probable due à des sources agricoles, industrielles ou domestiques.

Les résultats obtenus soulignent l'importance de mettre en œuvre des stratégies de gestion de l'eau efficaces et de sensibiliser la population à l'importance de préserver la qualité de cette ressource précieuse. Des mesures de contrôle et de réduction de la pollution agricole et industrielle doivent être mises en place pour minimiser les impacts négatifs sur les ressources en eau. De plus, des initiatives de sensibilisation et d'éducation peuvent aider à promouvoir des pratiques durables et une utilisation responsable de l'eau.



Références bibliographiques

A

- A.N.B.T, 2013. Agence Nationale des Barrages et Transferts, Rapport technique Barrage de Beni Haroun.
- Afri-Mehnaoui, 1998. Contribution à l'étude physico-chimique et biologique de l'oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Mémoire de magistère en Ecologie. Université Mentouri, Constantine. P 238
- Agence de Bassins hydrographiques Constantinois- Seybousse- Mellegue, (ABH, 2002). Cahiers de l'agence N°7, 32p.
- Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue. 2004. Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°08.
- Aminot, A., Chausspiéd, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395 p.
- Ammimer, S., 2015. Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes du Barrage de Boukerdane et des eaux traitées au niveau de la station de traitement des eaux potables de Sidi Amer, Université Blida -1-
- ANDI, 2013. Agence Nationale de Développement de l'Investissement.
- 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.
- AROUA, A. (1994). L'homme et son milieu. Edition société national. Alger, 73-85p
- Ashbolt (2004). Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicol.* 198(1-3): 229–238
- Atmania, D., 2010. Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-Gonflement dans le bassin de Mila (Nord constantinois). Thèse de doctorat. Université Mentouri, Constantine. P 172
- AUBRY P., 2016 : Amoebose (amibiase). Médecine Tropicale. Paris, France, pp 1-10.
- AYAD-W, 2016, Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-Harrouch (wilaya de Skikda). Thèse P1 9 42 46

B

- Barkat Kenza, 2016, Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Beni Haroun, mémoire de master, université des frères Mentouri Constantine, 1,12-13p.
- Barkat, K., 2016. Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Beni Haroun, mémoire de master, université des frères Mentouri Constantine, 1,12-13p.

Références Bibliographiques

- Bawa ML, Djaneye-Boundjou G, Boukari Y. 2005. Caractérisation de deux effluents industriels au Togo : étude d'impact sur l'environnement. *Afrique Science*, 02 : 57 – 68.
- Baziz N, 2008. Étude sur la qualité de l'eau potable et risque potentiels sur la sante cas de la ville de Batna. Mémoire magister. Université colonel ELHADJ LAKHDAR BATNA, P154.
- Bchitou, R., 2001. Le suivi des métaux lourds dans les eaux et les sédiments du moyen Sebou : Elaboration d'un plan d'expérience afin d'éliminer le chrome. Thèse de doctorat d'Etat, Faculté des Sciences Université Mohammed V-Agdal Rabat.
- 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
- Benlala A. (1995). Mobilisation des ressources en eau- Rapport Santé plus, 25p.
- Berne.-F, 1972, Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière. Édition TECHNIP, P207.
- Bioret, F., Estève, R., Sturbois, A., 2010. Dictionnaire de la protection de la nature. Presses Universitaires de Rennes. 357p.
- Bliefert, Claus., Perraud, Robert., 2008. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. p : 271,290, 291.
- Boglin Jean-claude, 2001. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.
- Bohy, M., 2003. Caractérisation de sources de pollution composées d'un mélange de solvants chlorés en aquifère alluvial, Expérimentations en laboratoire et sur site contrôlé associées à la simulation numérique. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg
- Boudeal., Djouid, H. (2003). Pollution de l'Oued boussellem par les eaux usées urbaines et industrielles et impact de leur utilisation dans l'irrigation. Thèse ing, des écosystèmes universitaires, Setif. 6-13p.
- Bougherira, N., Hani, A., Toumi, F., 2017. Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité des eaux de la plaine de la Meboudja (Algérie). *Hydrological Sciences Journal*.62:1290–1300.
- Bouhy P. et Thierry Denies M. 2007. L'eau du robinet, un partenaire sante incontournable, Union Professionnelle des Diététiciens de Langue Française.
- Bouziani M., (2000). L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p.
- Bouziani, M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies. Edition IBN-Khaldoun Oran. 247p.
- Brasilia, 2013. Manuel pratique d'analyse de l'eau. 4ème édition. 54, 57, 63 p
- Brasilia. (2013). Manuel Pratique D'analyse De L'eau. Fondation Nationale de la Santé, 4ème édition. FUNASA Brésil. p150
- BRGM, (2007). Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, compagnie de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation.

Références Bibliographiques

Brimblecombe. , mary Ann, Cunningham. , William P,Cunningham. , William, Freedman, 1:131-134

C

- Carluer N, Gouy V, Gril JJ. 1996. Contamination des eaux par les produits phytosanitaires: apports de la modélisation, Ingénieries-EAT, n°6, pp 3-15.
- CE. (2011). Commission Européenne. L'eau, une ressource pour la vie, Comment la directive-cadre sur l'eau contribue à protéger les ressources de l'Europe Luxembourg: Office des publications de l'Union européenne p 25
- Chaâlal, O.M., 2012.la wilaya de Mila .Edition, Albayazin. Alger. 209p. compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et Béni-Haroun.
- Chapman-D, (1996), Water Quality Assessments. A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Chapman & Hall, London.
- Chifflet, S., Gerard, P., Fichez, R., 2004. Manuel d'analyses chimiques dans l'eau de mer. Biologie marine .Laboratoire de Chimie Marine, Institut de recherche pour le développement (IRD), Nouméa, Calédonie, 83p.
- Chocat, B., 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement : Edition Tehnique et Documentation, Paris.1136 p
- Chouteau C., 2004. Développement d'un biocapteur conductimétrique bienzymatique à cellules algales. Chimie, Procédés, Environnement. N° d'ordre : 04- ISAL-0066, 179 p.
- Ciffqe. (2011). Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau Qualité de l'eau 101: introduction aux microsystèmes d'approvisionnement en eau potable Manuel version 1.1
- Conrad, J.E., Colvin, C., Sililo, O., Görgens, A., Weaver, J., Reinhardt, C., 1999. Assessment of the Impact of Agricultural Practices on the Quality of Ground water Resources in South Africa. Water Research Commission, Pretoria, South Africa. Report 641/1/99. 86 P

D

- Daniel, T.C., Edward, D.R., Gilmour, J.T., Moore, P.D., Shereve, B.R., and Wood, B.H., 1998. Decreasing Metal Runoff from Poultry Litter with Aluminium Sulfate. J. Env. Qual, 27, 92-99.
- Danish EPA., 1999. DAISY: Soil-Plant-Atmosphere System Model. Danish Research; Program on Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter, Danishepa, Copenhagen, Denmark, ReportA10. 236 p.

Références Bibliographiques

- Degremont G., 1989 : Memento technique de l'eau. Tome 1. 9ème Edition, Cinquantenaire, Paris, 592 p.
- Degremont, G., 2005. Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et Doc. PP: 3-38.
- Delarras,C.,2003.Surveillance Sanitaire et Microbiologique des Eaux : Réglementation. Prélèvement., Analyse 225 p.
- Derwich E, Benaabidate L, Zian A, et al. Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. Larhyss Journal. 2010 Jun;101–112
- Diab, W., 2016. Etude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 214 p.
- Dinnat, E.P., 2003. La détermination de la salinité de surface des océans à partir de mesures radiométriques hyperfréquences en bande L. Thèse de Doctorat. Université Paris VI
- Direction du service de santé. (1998). L'œuvre du service de santé militaire en Algérie. Ed. Charles-Lavauzelles et Cie, Paris
- DPSB, 2021. Direction de la Programmation et suivi budgétaires de la wilaya de Mila.
- Dreux, P., 1980. Précis d'écologie. Presse université. France. Paris. Pp 231, 229, 1260.
- Dufour P, Slepoukha M. l'Oxygène dissous en lagune Ebrié: influences de l'hydroclimat et des pollutions. Documents Scientifiques, Centre de Recherches Océanographiques, Abidjan. 1975;6:75–118.

E

- EAA, 2012. Eau Hygiène et Assainissement pour l'Afrique. Pollution et éducation sanitaire et environnementale. Stage de recyclage intensif, p. 24.
- Emsalem, R., 1986. Climatologie Générale. Edition. I.P.E.N.A.G. Tome 1. 198 p.

F

- Freedman Bill. (2003). Environmental Encyclopedia, Eds. Marci, Bortman., Peter, Brimblecombe. , mary Ann, Cunningham. , William P,Cunningham. , William, Freedman, 1:131-134

G

- Galaf F.(2003). « Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site Websur la pollution du milieu marin ». Mémoire d'ingénieur d'état. Université.
- Gaujous D. (1995). La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2ème édition. *Lavoisier TEC & DOC*, 220 p

Références Bibliographiques

- Graindorge, J., 2015. Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial éditions, paris. 126. 142. 147.162. 165. 183 p
- Graini-L, 2011. Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Mémoire Magister Option : Optique appliquée. UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF. P 2
- Grogas, N., 2012. Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat en écologie fonctionnelle. Université de Toulouse. 35, 38, 89, 93 p
- Grosclaude, G.C., 1999. L'eau, Tome II, usage et polluants, Institut national de la recherche agronomique. Paris, France. 210 p.
- Guergazi, S., et Achour, S., 2005. Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration, Larhyss Journal, 4,119-127.

H

- Hafsi Bilel, 2016, le transport solide et la qualité des eaux du Barrage Beni Haroun et leur impact sur l'environnement, Mémoire de Master en hydraulique, Université Larbi ben M'hidi– Oum el Bouaghi –, 31-32 p.
- Hébert, S., et Légaré, S., 2000. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Ministère de l'environnement rapport n QE- Pp 123, 24, et 3 annexes.

I

- Idrissi, L., 2006, étude et développement de nouvelles méthodes électrochimiques pour la détermination des ions orthophosphate, nitrite, nitrate et ammonium. Thèse de doctorat d'état. Université Mohammed v – agdal.146p.

J

- Jean claude.-B, 1992. Chimie des Eaux. 2ème Edition. Les éditions du griffon d'Argile. P 213-215.

K

- Kaid Rassou, K., 2009. Etude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Semlalia - Marrakech.
- Kim, K.-H., Jahan, S.A., Kabir, E., Brown, R.J.C., 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. Environment International 60, 71–80.

L

Références Bibliographiques

- Lamizana-Diallo M, Kenfach S, Millogo-Rasolodimby J. 2008. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso :Le cas de Massili dans le Kadiogo. *Sud Sciences et Tehnologies*, 16 : 23-28.
- Lazhar G., 2011 : Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique. Mémoire de magister : Université FERHAT ABBAS-SETIF, 106 p
- Lemerrier, B., 2003. La pollution par les matières Phosphorées en Bretagne .Sources, Transfert Et moyennes de lutte. Direction régional de l'environnement Bretagne.85p
- Leynaud G. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique B.T.I. Ministère de l'agriculture. 1968.

M

- Marouf Nadir, 2012, Etude de la qualité des eaux et de transport solide dans le barrage de Beni Haroun (Mila), Son Impact sur l'environnement de la région, Doctorat en sciences hydrauliques, université Mohamed khider Biskra, 44-48 ,61-63p.
- Mc Kinney ML. 2002. Urbaization, biodiversity and conservation. *Biosci.*883-890.
- Mébarki A., 2005. Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse d'état. Université Mentouri-Constantine, 306 p.
- Mebarki, A., 1982. Le bassin du kébir-Rhumel (Algérie) : hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau.
- Mekhali F., ' Réutilisation des eaux résiduaire industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement ', Mémoire de magister 2009.
- Melghit, M., 2009. Qualité physico-chimique, pollution organique et méthalique des compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et benharoun Université Mentouri de Constantine. Mémoire de Magistère en Ecologie. 141p.
- Merabet, S., 2010. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Mémoire de magister en chimie analytique. Université Mentouri de Constantine. P 1.
- 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.
- Merouani s. et Bouguedah A., 2013 : Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla. Mémoire master :Université Kasdi Merbah Ouargla, 59 p.
- Metahri s., 2012 : Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par les procédés mixtes : cas de la STEP EST de la wilaya de Tizizou, thèse de doctorat : département d'agronomie. Université Mouloud MAMMERI de Tizi-ouzou, Algérie, 148 p.

Références Bibliographiques

- Moudallal, S., 1997. Les ressources hydrauliques au liban. 1re ed., dar el fekr el arabi (éditeur), beyrouth, liban, 62 p.
- Musy, A., Higy, C. (2004). Hydrologie: une science de la nature (1ere éd). Presse polytechniques et universitaires romandes. Amazon, France.
- Myrand, D., 2008. Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec. P04.

N

- Nehme N . , 2014,. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani, Liban: approche environnementale. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (Franec) ,2014, 359 p.

O

- OMS., 2008 : Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson. 2eme Edition, Volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 1150 p.
- OMS., 2008. Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed. Vol 1. Incorporating the first and Second Addenda, WHO, Geneva (2008): ISBN 978 92 4 154761 1.
- ONM, 2017. Office national de météorologie de Constantine, station d'Ain El Bay, 2017.
- ONU. 1992. Protection des ressources en eau douce et de leur qualité: application d'approches intégrées de la mise en valeur, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau. Chapitre 18, programme Action 21, Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement.

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.
- Paul, R., 1998. Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles. Epuration. Utilisation. Société d'éditions techniques, Pp 192 Prescott M., Harley P. and Klein A. (1999). Microbiologie. De Boeck. Université. 981p.
- Pérès, J.M, et al 1976 : la pollution des eaux marine, paridé .P :01-67-70-71-117
- PNUE. 1991. Pollution des eaux douces. Bibliothèque de l'environnement PNUE/GEMS. N° 6. Nairobi.

Q

- **Quatunau G. (1998).** Les maladies à transmission hydrique en Afrique. Edition Dunod. 273p.

R

- Rabiet, M., 2006. Contamination de la ressource en eau par les eaux usées dans un bassin versant méditerranéen apport des éléments majeurs, traces et terres rares. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II
- Raissi, O., 2014. Protection de la ressource en eau en Algérie : office nationale de l'assainissement
- Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris, France, 1365p.
- Rodier, J., 2009. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9^{ème} édition, Dunod, Paris, France, 1600p.
- Rodier, J., Bazin, C., Broutin, J.P., Chambon, P., Champsaur, H., Rodi, L., 2005. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- Rodier, J., Legude, B., Merlet, N., et coll, 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod.1579 p
- RODIER-J, 2006, L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Edition. Paris. P 158-159-160-1243-1260-1265.
- RODIER-J, BAZIN-C., BROUTIN-J, CHAMBON P, CHAPSAUP-H, RODI-L, 1996. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris. P 30-31-204-205-380-500-1086-1335.
- Rondeau, B., 2005. La qualité de l'eau du secteur fluvial-la contamination par les toxique 2^{ème} édition. Environnement canada-région du Québec et ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec., 2000. Fiche d'information de la collection, saint laurent, ISBN 0-662-88163-X, En4-20/2002F,6p.
- Rousseau, N., Roy, N., Cantin, P., et Cardinal, P., 2004. Etude de la qualité de l'eau potable dans sept bassin versant et impact potentiels que la santé. Méthodologie. MENV, MESS, MAPAQ, ISBN 2-550- 43507, Envrodoq ENV/2004/0311, 35p.

S

- SAIDI S., 2014 : La qualité des eaux du sous bassin versant de l'oued aissi. Mémoire ingénieure. Université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou, 169 p.
- SARI H., 2014 : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Harouz. Mémoire de licence, Université Cadi Ayyad, Marrakech, 82 p.
- Sarkar, S.K., Saha, M., Takada, H., Bhattacharya, A., Mishra, P., and Bhattacharya, B., 2007. Water quality management in the lower stretch of the river Ganges, east coast of India: an approach through environmental education. J. Clean Prod, 15, 1559-1567.
- SCHWARTZ BROD L., 2000 : Virus humains et santé public conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agricultures conchyliculture. Centre

Références Bibliographiques

collaborateurs OMS pour les microorganismes dans les eaux usées, Université de NANCY, France, 298 p.

- SEGHIR.K, (2008). Vulnérabilité à la pollution, protection des ressources en eau et gestion active du sous système aquifer de Tebessa Hammamet (Est Algrien). Thèse de doctorat. Univ Annaba, 151p
- Spellman, F.R., and Nancy, E., 1999. Whiting, Water Pollution Control Technology: Concepts and Applications, Government Institutes, Rockville, MD. Moe, C. and R. Rheingans, 2006. Global challenges in water, sanitation and health. Journal Water Health, 4, 41-57

T

- Taleb M. K. (2006). Etat de l'assainissement d'une zone cotière : Analyses et perspectives d'aménagement. Cas : Commune d'Ain El Turck. Mémoire de Magistère. Université de Tlemcen. 169 p.
- Tessier L. Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine: identification de signatures naturelles et anthropiques. Thèse de Doctorat. Ecole des Ponts Paris Tech (France), 2003, 349 p
- Thiollet Scholts, M., 2004. Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- THOMAS, O. (1955). Météorologie des eaux résiduaires. Tec et Doc, Ed Lavoisier Cedeboc, p 135-192.

U

- UNEP., 2009. Water Security and Ecosystem Services. The Critical Connection. A Contribution to the United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). Country done this study (Unit Nation Environmental Programme (UNEP).

V

- VILAGINES R., 2003 : Eau, Environnement et Santé Publique. Introduction à l'hydrologie. 2ème édition, TEC & DOC, Paris, 198 p.
- VILAGINES R., 2010 : Eau, Environnement et Santé publique. Introduction à l'hydrologie. 3ème Edition TEC & DOC, Lavoisier, Paris, 218 p.
- VILAGINES-R, 2000, Eau. Environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie. 2ème édition. P 218
- Voegborio RB, Matsuyama A, Adimado AA, Akagi H. 2011. Determination of methylmercury in marine and freshwater fish in Ghana using a combined technique of dithizone extraction and gas-liquid chromatography with electron capture detection. Food Chem., 124(3) : 1244–1248.

Références Bibliographiques

- VASCO R., 2017 : Nos ressources sont limitées, évitons de les gaspiller. Thème Cutline de Chris Peason.

W

- World Health Organization, 2011. Guidelines for drinking-water quality, Third edition incorporating the first and second addenda, volume 1,668p.

Z

- Zerouali, M., 2012. Contribution à l'optimisation des performances d'un distillateur solaire pour obtenir le diplôme de Magistère en physique. Université Hadj Lakhdar Batna. P 3-11.
- Zouaidia, H., 2006. Bilan des incendies de forêts dans l'Est Algérien. Cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk Ahras. Mémoire de magister, Université de Constantine, Algérie. 5 p