

N° Ref :



Université Abdelhafid 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

**Variabilité de l'azote, du phosphore et du silicium en amont et
en aval du barrage de Béni-Haroun (Wilaya de Mila)**

❖ **Présenté par :**

- AKBOUDJ Alaeddine
- BOUGUENNA Rawiya
- CHARDIB Marwa

❖ **Devant le jury composé de :**

Dr. BRAHMIA Hafid	Maitre de conférences - A	Président
Dr. BOUAROUDJ Sara	Maitre de conférences - B	Examinatrice
Dr. BOUCHAREB Noureddine	Maitre de conférences - A	Encadreur

REMERCIEMENT

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

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

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Dr. BRAHMIA Hafid** et **Dr. BOUAROUDJ Sara** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Nous remercions aussi **AKBOUDJ Warda** et tous les membres de laboratoire du centre universitaire de Mila. Nous adressons mes sincères remerciements à tous les enseignants du département des sciences de la nature et de la vie et surtout **Dr. HAMIDA Bahaeddine**.*

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

Enfin on tient à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation, car une mémoire ne peut pas être le fruit d'une seule personne.

Merci

Alaeddine

Marwa

Rawiya





DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mon père : **Ahmed.***
- ❖ *Ma chère mère : **Zebida.***
- ❖ *Mes chers frères : **Sami, Safi, Farid, Tarek, Housseem et Charaf.***
- ❖ *Mes chères sœurs : **Sabrina, Warda, Sabiya, Aicha, Youssra, Safa et Madjida.***
- ❖ *A tous mes oncles et tantes, cousins et cousines de la famille **AKBOUDJ** et **BELATRACHE.***
- ❖ *Mes collègues : **Rawiya, Marwa, Amira, Khaoula, Sara, Nouceiba, Aymen, Aboubakr, Ahcen, Achraf et Laid.***
- ❖ *Mes très chères amies : **Mouhamed, Monssif, Rachid, Sif eddine, Zaki, Wadie, Oussama, Soufiane, Redauane, Mehdi, Badis, Mourad, Soltane, Riyad, Adlan et Hamou.***
- ❖ *Merci à toutes les personnes qui Nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.*



Alaeddine





DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mon père **Fouad**, que Dieu lui fasse miséricorde.*
- ❖ *Ma chère mère **Lilya**.*
- ❖ *Mes grand-mères **Abd-El-Madjid** et **Mahbouba**.*
- ❖ *Mes chères sœurs **Asma**, **Douaa**, **Salssabilel**, **Nour-Imane** et **Meryem**.*
- ❖ *A tous mes oncles et tantes, cousins et cousines de la famille **BENDALI**
HACINE et **CHARDIB**.*
- ❖ *Mes très chères amies **Rawiya**, **Ala eddine**, **Aicha-khouloud** et **Souad**.*
- ❖ *Merci à toutes les personnes qui Nous ont aidés de près ou de loin dans la
réalisation de ce travail.*



Marwa





DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *Mon cher père **Messaoud**.*
- ❖ *Ma chère mère **Nassira**.*
- ❖ *Ma grand –mère **Bahdja**.*
- ❖ *Mon cher frère **Hocine**.*
- ❖ *Mes belles sœurs **Chafia, Saida, Yemmouna, Chehra et Noudjoud** pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.*
- ❖ *A Mon fiancé **Nasr Eddine** Pour son encouragement, son soutien, sa compréhension et son amour.*
- ❖ *Les jeunes enfants **Loudjaine, Haïthem Mohammed, Achwak, Sadja et Malek**.*
- ❖ *Je remercie mes collègues et mes amis tous particulièrement : **Ala Eddine, Marwa, Bouchra et Kenza** Pour leur soutien et tous les sympathiques moments partagés.*
- ❖ *A Toutes la famille **BOUGUENNA, BENDJEDDOU et BOULMAALI**.*
- ❖ *Merci à toutes les personnes qui Nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.*



Rawiya



Résumé

Le barrage de Béni-Haroun est un ouvrage hydraulique stratégique dans le programme de développement du secteur des ressources en eau dans la Wilaya de Mila. Cette étude vise à évaluer la qualité physico-chimique des eaux des oueds à l'entrée du barrage de Béni-Haroun pour chacun d'oued Rhumel, oued Endja, oued Radjas et oued El-Kotone ainsi que à l'aval du barrage, également cette étude vise à suivre et évaluer les eaux de pluies pour les zones rurales (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) et urbaines (Mila centre et Constantine centre). Au cours de cette étude nous avons suivi les paramètres physiques (pH, oxygène dissous (OD), conductivité électrique (CE), taux des sels dessous (TDS) et débit d'eau) et chimiques (phosphore (PO_4), azote inorganique (NID), nitrite (NO_2) et nitrate (NO_3), silicium (SiO_4) et ammonium (NH_4)) des eaux des oueds pendant la période du 26 janvier 2022 au 26 mars 2022, ainsi que les eaux de pluies dans les zones rurales et urbaines pendant les jours de précipitations du 06 janvier 2022 au 22 mars 2022. Les résultats obtenus au cours de la période d'étude montre des fortes concentrations en azote inorganique (NID) à l'entrée du barrage de Béni-Haroun au niveau d'oued Rhumel, où nous avons enregistré des teneurs jusqu'à ($79,70 \mu\text{M}$) en février 2022, l'ammonium ($28,18 \mu\text{M}$), les nitrates (NO_3) varient entre $21,42$ à $74,29 \mu\text{M}$, les phosphates (PO_4) fluctuent entre $0,18$ à $5,32 \mu\text{M}$, l'ortho-silicate $\text{Si}(\text{OH})_4$ est de ($130,65 \mu\text{M}$), d'autre part nous avons remarqué une diminution remarquable en nutriments à l'aval du barrage de Béni-Haroun. Les concentrations maximales des nutriments ont été enregistrées dans la quatrième branche (oued Rhumel), cette augmentation est due aux activités humaines qui sont un facteur majeur dans la fluctuation des teneurs en nutriments. L'évolution de la concentration des nutriments des eaux de pluies dans les zones rurales (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) et urbaines (Mila centre et Constantine centre) est principalement due à l'influence humaine représentée par les diverses activités agricoles et industrielles qui ont contribué de manière significative à la pollution de l'atmosphère.

Mots-clés : barrage de Béni-Haroun, nutriments, pollution de l'eau.

Abstract

The dam of Beni-Haroun is considered a strategic achievement in the development program of water resources sector. This study aims at assessing the physicochemical quality of rivers water at the entrance of Beni-Haroun dam for each of oued Rhumel, oued Endja, oued Radjas and oued El-kotone and in the exit of Beni-Haroun dam. This study also aims to monitor and evaluate rainwater for rural (Terrai Bainan and Tassadane Haddada) and urban (Mila center and Constantine center) areas. During this study, we followed some physical (pH), dissolved oxygen (DO), electrical conductivity (EC), Total Dissolved Salt (TDS) and water flow) and chemical (phosphorus (PO₄), inorganic nitrogen (NID), nitrite (NO₂) and nitrate (NO₃), Silicium (SiO₄) and ammonium (NH₄)) indications of rivers water from January 26th, 2022 to March 26th 2022, as well as for rainwater in rural and urban areas during precipitation days from January 6th, 2022 to March 22nd, 2022. The results obtained showed high concentrations of inorganic nitrogen (NID) at the entrance of Beni-Haroun dam at oued Rhumel, where we recorded contents up to (79.70 μM) in February, medium content of ammonium (28.18 μM), nitrates (from 21.42 to 74.29 μM), phosphorus (from 0.18 to 5.32 μM), silicium (130.65 μM). On the other hand, we noticed a remarkable decrease in nutrients at the exit of Beni-Haroun dam. The maximum nutrient concentrations were recorded in the fourth station (oued Rhumel). This increase is due to human activities which are considered as a major factor in the fluctuation of nutrient levels. The change in rainwater nutrients concentration in rural (Terrai Bainen and Tassadane Haddada) and urban (Mila center and Constantine center) areas is mainly due to the human influence represented by the various agricultural and industrial activities that have significantly contribute to air pollution.

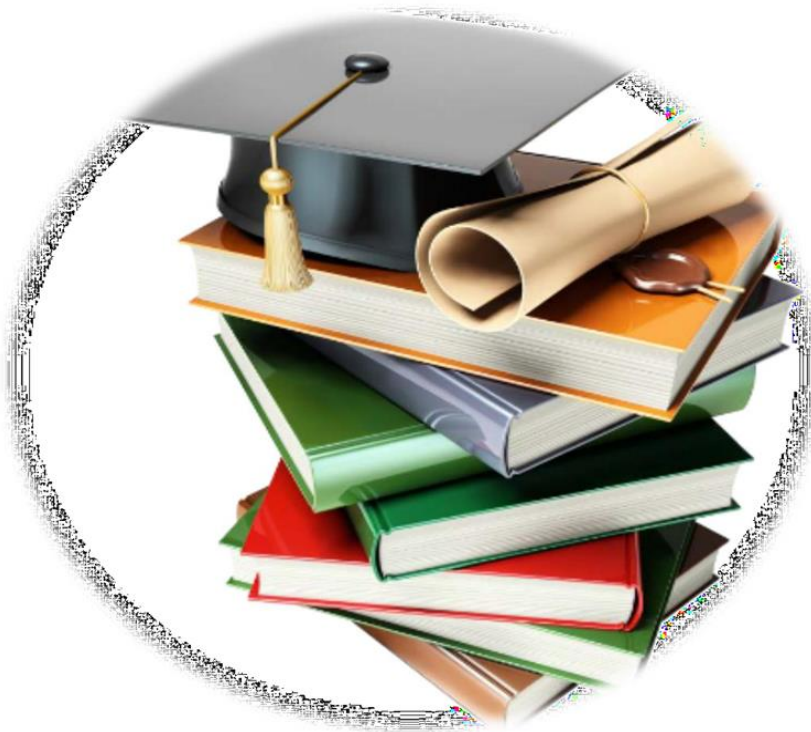
Key words : Beni-Haroun dam, nutrients, flow, water pollution.

المخلص

يعتبر سد بني هارون إنجازا استراتيجيا في برنامج تنمية قطاع الموارد المائية بولاية ميلة. تهدف هذه الدراسة الى تقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية لمياه الأودية عند مدخل سد بني هارون لكل من وادي الرمال، وادي النجاء، وادي رجاص ووادي القطن وكذا عند مخرج سد بني هارون، كما تهدف هذه الدراسة إلى متابعة وتقييم مياه الأمطار للمناطق الريفية (ترعي باينان و تسدان حدادة) والحضرية (ميلة مركز وقسنطينة مركز). خلال هذه الدراسة قمنا بتتبع مجموعة من المؤشرات الفيزيائية (درجة الحموضة pH، الأوكسجين المذاب OD، الناقلية CE، إجمالي الأملاح المذابة TDS و تدفق الماء) والكيميائية (الفوسفور PO_4 ، الأزوت اللاعضوي NID، النتريت NO_2 والنترات NO_3 ، السليسيوم SiO_4 والامونيوم NH_4) لمياه الأودية في الفترة الممتدة من 26 جانفي 2022 إلى غاية 26 مارس 2022، و كذا لمياه الأمطار في المناطق الريفية والحضرية خلال أيام التساقط من 06 جانفي الى 22 مارس 2022. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها خلال فترة الدراسة على وجود تراكيز عالية للأزوت اللاعضوي (NID) في مدخل سد بني هارون على مستوى وادي الرمال حيث سجلنا محتويات تصل إلى (70,79 ميكرو مول) في شهر فيفري، ومحتوى متوسط من الامونيوم NH_4 (28,18 ميكرو مول)، النترات (من 21,42 الى 74,29 ميكرو مول)، الفوسفور (من 0,18 الى 5,32 ميكرو مول)، السليسيوم (130,65 ميكرو مول)، ومن جهة أخرى سجلنا على مستوى مخرج سد بني هارون انخفاض ملحوظ لكل المغذيات. حيث تم تسجيل اقصى تركيز للمغذيات في المحطة الرابعة (وادي الرمال)، وهذا راجع إلى وجود الأنشطة البشرية والتي تعتبر عامل رئيسي في تذبذب مستويات المغذيات. كما يعود التغير في تركيز المغذيات في مياه الأمطار في المناطق الحضرية (ميلة مركز وقسنطينة مركز) والمناطق الريفية (ترعي باينان وتسدان حدادة) بشكل أساسي إلى تأثير الإنسان الذي يتمثل في مختلف الأنشطة الزراعية والصناعية التي ساهمت بشكل كبير في تلوث الغلاف الجوي.

الكلمات المفتاحية : سد بني هارون ، المغذيات ، التدفق ، تلوث المياه.

SOMMAIRE



Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

المخلص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 1

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

Partie 01 : Généralités sur l'eau 3

1. Généralités sur l'eau 3

1.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau 4

1.2.1. Propriétés physiques 4

1.2.2. Propriétés électriques 5

1.2.3. Propriétés optiques 5

1.2.4. Propriétés chimiques 5

1.3. Cycle naturel de l'eau 5

1.4. Sources principales de l'eau 6

1.4.1. Eaux de pluies 6

1.4.2. Eaux de surface 7

1.4.3. Eaux souterraines 7

1.4.4. Eaux de mers et océans 8

1.5. L'eau en Algérie 8

Partie 02 : pollution de l'eau 9

2. Pollution de l'eau 9

Sommaire

2.1. Définition de la pollution	9
2.2. Historique sur l'origine de la pollution de l'eau	9
2.3. Différentes formes de pollution de l'eau	9
2.3.1. Pollution diffuse	9
2.3.2. Pollution ponctuelle	10
2.3.3. Pollution anthropique	10
2.3.4. Pollution accidentelle ou aigue	10
2.4. Différents types de polluants de l'eau	10
2.4.1. Polluants physiques	11
2.4.2. Polluants chimiques	12
2.4.3. Polluants organiques	12
2.4.4. Polluants biologiques	13
2.4.5. Polluants agricoles	14
2.5. Principales origines de la pollution de l'eau	15
2.5.1. Pollution domestique ou urbaine	16
2.5.2. Pollution industrielle	16
2.5.3. Pollution agricole	17
2.5.4. Pollution naturelle	17
2.5.5. Pollution thermique	17
2.6. Conséquences de la pollution de l'eau	17
2.6.1. Conséquences écologiques	18
2.6.2. Conséquences esthétiques	18
2.6.3. Conséquences industrielles	18
2.6.4. Conséquences agricoles	18
2.6.5. Maladies à transmission hydrique (conséquences sanitaires)	18

Sommaire

Partie 03 : surveillance de la qualité de l'eau	20
3. Surveillance de la qualité de l'eau	20
3.1. Evaluation de la qualité organoleptique	21
3.1.1. Couleur	21
3.1.2. Odeur	21
3.1.3. Goût et saveur	21
3.1.4. Turbidité	21
3.2. Evaluation de la qualité physico-chimique	22
3.2.1. Température	22
3.2.2. Potentiel hydrogène	22
3.2.3. Conductivité électrique	22
3.2.4. Oxygène dissous	23
3.2.5. Matière en suspension	23
3.2.6. Total des solides dissous	23
3.2.7. Chlorure	24
3.2.8. Sulfate	24
3.3. Paramètres relatives à la pollution	24
3.3.1. Demande biochimique en oxygène	24
3.3.2. Demande chimique en oxygène	24
3.4. Nutriments	25
3.4.1. Azote	25
3.4.2. Formes azotées	25
3.4.3. Phosphore	27
3.4.4. Silicium	27
3.5. Evaluation de la qualité biologique	27

Sommaire

3.6. Evaluation de la qualité bactériologique	28
---	----

CHAPITRE II : Matériel et Méthodes

Partie 01 : présentation de la zone d'étude	29
1. Localisation et présentation de la Wilaya de Mila	29
1.1. Situation géographique et administrative	29
1.2. Situation édaphique	29
1.2.1 Pédologie	29
1.2.2. Géologie	30
1.2.3. Relief	30
1.3. Situation climatique	31
1.3.1. Température	31
1.3.2. Précipitations	32
1.3.3. Diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique	33
1.3.4. Humidité	34
1.3.5. Vent	35
1.4. Situation hydrologique	36
1.4.1. Eaux souterraines	36
1.4.2. Eaux de surface	36
1.5. Cadre biotique	37
1.5.1. Flore	37
1.5.2. Faune	37
1.5.3. L'avifaune	38
2. Présentation du bassin versant d'oued Kébir-Rhumel	40
2.1. Situation géographique	40
2.2. Situation socio-économique	41

Sommaire

2.2.1. Agriculture	41
2.2.3. Unités industrielles	42
2.3. Situation climatique	42
2.3.1. Pluviométrie	42
2.3.2. Vent	42
2.4. Situation pédologique	42
2.4.1. Sols zonaux	43
2.4.2. Sols azonaux	43
2.5. Situation hydrographique	44
2.5.1. Réseau hydrographique	44
2.5.2. Principaux ouvrages de rétention d'eau	45
2.5.3. Ressources hydriques	47
2.6. Barrage de Béni-Haroun	49
2.6.1. Situation géographique et hydrologie	49
Partie 02 : méthodes de prélèvements et d'analyses	51
2.1 Méthodes de prélèvements hydrologiques et choix des sites	51
2.1.1. Prélèvement hydrologique	51
2.2. Méthodes d'analyses biogéochimiques	53
2.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal	53
2.2.2. Dosage du Nitrates	55
2.2.3. Dosage du Nitrites	56
2.2.4. Dosage des phosphates	57
2.2.5. Dosage des silicates	58

CHAPITRE III : Résultats et Discussion

1. Evaluation des paramètres physiques des eaux en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	60
1.1. Potentiel d'hydrogène	60
1.2. Conductivité électrique	60
1.3. Taux des sels dessous	60
1.4. Oxygène dissous	61
1.5. Débit	61
2. Distribution de N, P et Si en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	63
3. Flux de N, P et Si en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	68
4. Evaluation des paramètres physiques des eaux de pluies dans la région rurale et la région urbaine	69
4.1. Potentiel d'hydrogène	69
4.2. Conductivité électrique	69
4.3. Taux des sels dessous	70
4.4. Oxygène dissous	70
5. Apports atmosphériques de l'azote, du phosphore et du silicium dans la région rurale et la région urbaine	71
Conclusion	78
Références bibliographiques	80

Liste des tableaux

Tableaux n°	Titre	Page
1	Température d'ébullition de quelques composés	4
2	Masse volumique de l'eau à la température	4
3	Disponibilité d'eau en Algérie par habitant en 2020	8
4	Différents polluants de l'eau	15
5	Maladies à transmission hydrique (MTH)	19
6	Paramètre du T° durant la période (2010-2020) de la région d'étude	31
7	Précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020)	32
8	Variation de précipitation et température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	33
9	Taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	34
10	Variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2020) de la région d'étude	35
11	Sous bassins et leurs superficies	50
12	Positionnement des points de prélèvement hydrologiques	52
13	Résumé des méthodes d'analyse des éléments nutritifs	53
14	Variations des paramètres physiques en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	62
15	Variations des teneurs en nutriment (μM) et les rapports de stœchiométrie de Redfield ($\mu\text{M}/\mu\text{M}$) en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	65
16	Flux des nutriments en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun	69
17	Paramètres physico-chimiques des eaux de pluie dans la région rurale (T. Bainen et T. Haddada) et la région urbaine (Mila centre et Constantine centre)	71
18	Variations des teneurs en nutriments (μM) et les rapports de stœchiométrie de Redfield ($\mu\text{M}/\mu\text{M}$) dans les eaux de pluie	73

Liste des figures

Figure n°	Titre	Page
1	Structure chimique de la molécule d'eau	3
2	Différents changements d'état de l'eau	3
3	Cycle de l'eau	6
4	Différentes échelles d'observation	28
5	Situation géographique et administrative de la Wilaya de Mila	29
6	Carte des reliefs de la Wilaya de Mila	30
7	Variation de la température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	32
8	Précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude	33
9	Diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2020)	34
10	Variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020)	35
11	Variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020)	36
12	Type d'occupation des forêts de la Wilaya de Mila	37
13	Diversité faunistique de la région de Mila	38
14	Espèces des oiseaux terrestres présents dans la région de Mila	38
15	Espèces avifaunistiques observées au niveau du barrage de Beni Haroun et du barrage Sidi Khelifa	39
16	Situation géographique du bassin d'oued Kébir-Rhumel	40
17	Occupation du sol et du couvert végétal du bassin d'oued Kébir-Rhumel	41
18	Sols du bassin d'oued Kébir-Rhumel	45
19	Principaux cours d'eau et ouvrages hydrauliques du bassin d'oued Kébir-Rhumel	46
20	Ressources superficielles et points de captage dans le bassin d'oued Kébir-Rhumel	48
21	Situation géographique du barrage de Béni-Haroun	49
22	Station amont du barrage (oued Endja)	51
23	Points des prélèvements hydrologiques à l'amont et en aval de barrage Béni-Haroun	52
24	Dosage de l'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺)	54

Liste des figures

25	Dosage des Nitrates (NO ₃)	56
26	Dosage des Nitrites (NO ₂)	57
27	Dosage des phosphates (PO ₄ ³⁻)	58
28	Dosage des ortho-silicate silicates Si(OH) ₄ ou SiO ₄	59
29	Variations des teneurs moyennes de l'azote inorganique dissous (NH ₄ ; NO ₃ et NO ₂) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun	66
30	Variations des teneurs en nutriments (NID ; PO ₄ et SiO ₄) en amont et en aval du Barrage de Béni Haroun	67
31	Variations des teneurs en nutriments des eaux de pluie dans la région urbaine de Mila centre	74
32	Variations des teneurs en nutriments des eaux de pluie dans la région urbaine de Constantine centre	75
33	Variations des teneurs en nutriments des eaux de pluie dans la région rurale Terrai Bainen	76
34	Variations des teneurs en nutriments des eaux de pluie dans la région rurale Tassadane Haddada	77

Liste des abréviations

ABH : Agence de bassins hydrauliques.

ABH, C.S.M : Agence de bassins hydrauliques constantinois-seybousse-mellegue.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

Al : Aluminium.

ANDI : Agence nationale de développement de l'investissement.

ARN : Acide ribonucléique.

Avr : Avril.

BCR : Béton compacté au rouleau.

Ca²⁺ : L'ion calcium.

Cd: Cadmium.

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.

DPSB : Direction de la programmation et du suivi budgétaires.

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.

Liste des abréviations

H₂S : Thiosulfate.

H₂SO₄ : L'acide sulfurique.

HCO³⁻ : L'ion bicarbonate.

Hg : Mercure.

Hm : Hectomètre.

hm³ : Hectomètre cube.

hm³/an : Hectomètre cube par année.

IBD : Indice biologique diatomées.

IBGN : Indice biologique global normalisé.

Jan : Janvier.

JORA : Journal officiel de la république algérienne.

Jui : Juin.

Juil : Juillet.

K⁺ : L'ion potassium.

Km : Kilomètre.

Km² : Kilomètre carré.

L : Litre.

LSNM : Laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux.

m : Mètre.

M : Mole.

m/s : Mètre par seconde.

m² : Mètre carré.

m³ : Mètre cube.

m³/s⁻¹ : 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.

Liste des abréviations

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.

ONM : Office national de la météorologie.

Pb : Plomb.

PCB : Polychlorobiphényle.

pH : Potentiel hydrogène.

PO₄ : Ortho-phosphates.

PP : Précipitation.

Sep : Septembre.

Si(OH)₄ : Acide ortho-silicique.

SiO₄ : Silicate.

SO₂ : Dioxyde de soufre.

SO₄²⁻ : L'ion sulfate.

T° : Température.

Liste des abréviations

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 est une ressource vitale à tous les écosystèmes, il est nécessaire au bon fonctionnement de la planète et à sa régulation climatique (Onema, 2015), c'est un élément indispensable à la vie de tous les organismes vivants (Cheftel et Cheftel, 1986). De plus, l'eau représente à la fois un enjeu politique, économique et stratégique, il joue un rôle fondamental dans de nombreux domaines comme la potabilisation, l'agriculture, l'industrie, la production d'électricité ainsi que les usages domestiques et la fourniture collective ou individuelle d'eau potable (Festy *et al.*, 2003).

La pollution des milieux aquatiques est un problème majeur tant pour la population humaine, utilisatrice des ressources en eau, que pour les populations végétales et animales pour lesquelles l'eau représente le milieu de vie. La pollution de l'eau quel que soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique,...) (Melghit, 2010), peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels (Mekhalif, 2009).

Les ressources en eau peuvent être polluées par des sources naturelles et humaines. En effet, la dégradation naturelle peut être le résultat d'une myriade de sources : faune, flore, éruptions volcaniques, éclairs,...etc. D'autre part, la pollution anthropique perturbe l'équilibre naturel par l'addition de déchets issus de différentes sources. Le processus de pollution peut se produire dans les eaux de n'importe quelle partie du cycle hydrologique et c'est à la surface de la terre qu'il est le plus apparent. Ainsi, les précipitations peuvent être contaminées par les polluants de l'air, les eaux superficielles peuvent être polluées du fait du ruissellement en provenance des bassins hydrographiques et les eaux souterraines peuvent être souillées par infiltration et la contamination du sous-sol (Preul, 2000).

L'activité humaine a largement modifié l'hydrologie et le chimisme des eaux des rivières par suite de la rétention d'eau dans les barrages (Lehner *et al.*, 2011) et l'introduction d'importantes masses d'azote et de phosphore issues des rejets agricoles, industriels et domestiques (EEA, 1999 ; Margat, 2004). Ces apports massifs ont des impacts directs sur la chimie des eaux de surface, le flux des nutriments au littoral et le fonctionnement des écosystèmes côtiers (Howarth *et al.*, 1996 ; Liu *et al.*, 2008 ; Meybeck, 2003 ; Nixon, 2003 ; Turner *et al.*, 2003).

Selon (Nichane et Khelil, 2015), les changements climatiques ont depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique, il constitue le défi majeur auquel doivent répondre les organismes de contrôle environnementaux. La réduction des pluies due aux sécheresses qui

séviennent depuis le début des années 70 a entraîné la diminution des écoulement des eaux superficielles et une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères ainsi que l'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes.

L'insuffisance ou la mauvaise qualité de l'eau est à l'origine de nombreuses maladies dans le monde, notamment dans les pays en développement ou 80 % des maladies sont dues à l'eau (Benkaddour, 2018).

A cause de ces pressions aujourd'hui, le contrôle et l'amélioration de la qualité de l'eau sont une préoccupation permanente pour la protection de l'environnement et la santé des consommateurs. De ce fait l'eau doit être nécessairement analysée, surveillée et l'évaluation de sa qualité repose sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques (Colas, 1976).

Actuellement, la qualité des eaux est devenue une opération majeure et obligatoire, afin de protéger l'environnement et la santé des êtres vivant ou l'exploiter pour la consommation humaine ou l'utilisation agricole. Pour cette raison notre travail a pour objectif de :

- Évaluer la qualité physico-chimique des eaux introduites au barrage de Béni-Haroun.
- Évaluer la qualité physico-chimique des eaux sorties au barrage de Béni-Haroun.
- Évaluer la qualité physico-chimique des eaux de pluies de la région rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) et la région urbaine (Mila centre et Constantine centre).
- Déterminer l'influence des activités anthropogéniques sur la qualité des eaux du barrage de Béni-Haroun.

Le manuscrit est structuré en trois chapitres essentiels :

- Le premier chapitre est strictement documentaire, présente des généralités sur la pollution des eaux, les paramètres d'évaluation de la qualité des eaux superficielles et les caractères biogéochimique de l'ensemble des éléments étudiées (azote, phosphore et silicium).
- Le deuxième chapitre focalise sur les caractéristiques géographiques du bassin Kébir-Rhumel et le barrage de Béni-Haroun, la stratégie d'échantillonnage et également les méthodes d'analyses biogéochimiques.
- Le troisième chapitre présente l'essentiel des résultats obtenus et la discussion.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



Partie 01 : Généralités sur l'eau**1. Généralités sur l'eau**

L'eau est un élément vitale et indispensable à la vie de tous les organismes vivants connus, représente près de 70 % de la surface de la terre, essentiellement se trouve dans les océans et les mers. La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique (Bertrand, 2008). Sa formule chimique est H_2O , c'est à dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (fig. 1).

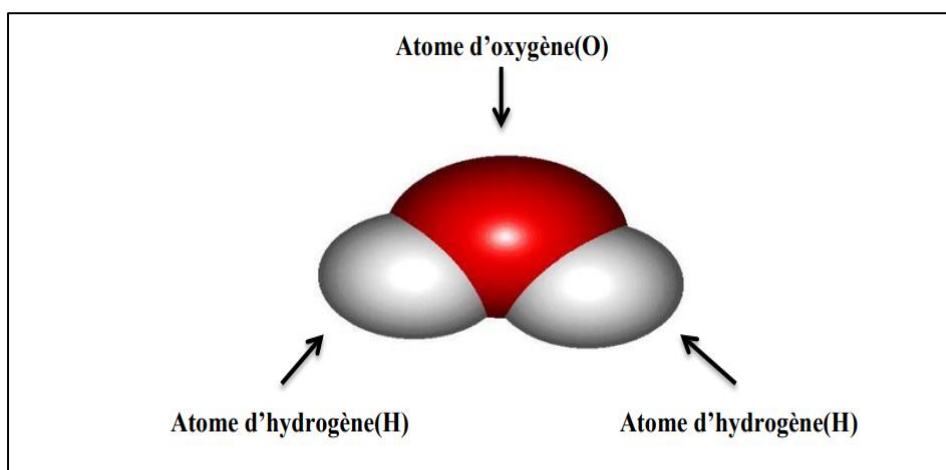


Figure 1 : structure chimique de la molécule d'eau (Khoubache et Laouar, 2006).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide et gazeux (fig. 2) dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro-chargés (Michard, 2002).

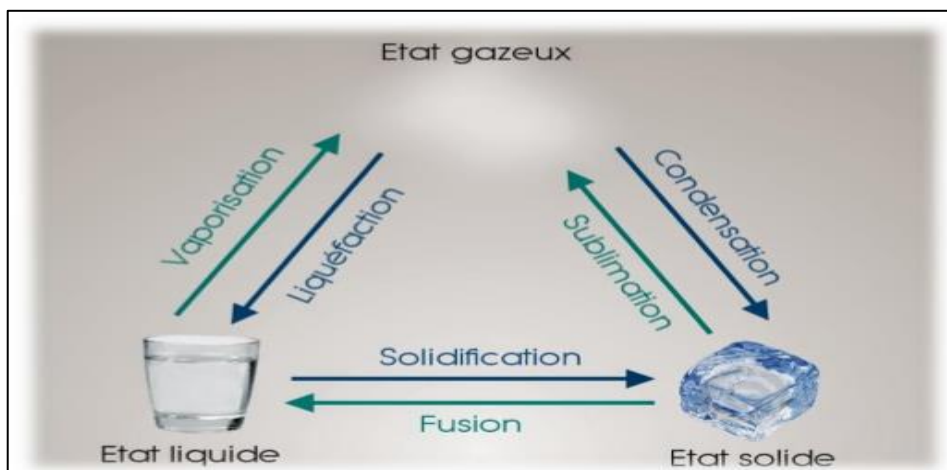


Figure 2 : différents changements d'état de l'eau (Pierre, 2014).

1.2. Propriétés physico-chimiques de l'eau

1.2.1. Propriétés physiques

Les possibilités de la molécule d'eau d'association par liaison hydrogène sont responsables de plusieurs particularités de propriétés physiques :

- **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).

1.2.2. 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).

1.2.3. 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).

1.2.4. Propriétés chimiques

La plupart des substances minérales peuvent se dissoudre dans l'eau et aussi un grand nombre de gaz et de produits organiques. La solvation (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 voisines 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).

1.3. Cycle naturel de l'eau

On peut définir les mouvements de l'eau sur la terre comme des flux dans un système à circuit fermé, une représentation simple de ce circuit implique des mouvements d'eau des masses océaniques vers l'atmosphère et vers les masses continentales, puis des masses continentales vers les océans. Cette nature cyclique est à l'origine du terme général attribué à ces mouvements d'eau : cycle de l'eau (Anctil *et al.*, 2013).

Ce cycle de l'eau (fig. 3) est essentiellement un des grands composants de la régulation énergétique de l'ensemble terre-océan-atmosphère (Roche *et al.*, 2012). Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère chauffée par celle-ci, s'évapore conduisant ainsi à la présence d'eau de l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un

refroidissement de l'air et par condensation, retombe sous forme de précipitations sur la lithosphère.

Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre va augmenter les cours d'eau et les lacs d'où elle est rejetée d'une part à l'évaporation et d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation qu'elles alimentent. Ensuite, elles sont libérées dans l'atmosphère sous forme de transpiration et en partie s'accumulent dans les sous-sols, pour former des nappes souterraines qui à leurs tours en s'écoulant et donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue (Raven *et al.*, 2009).

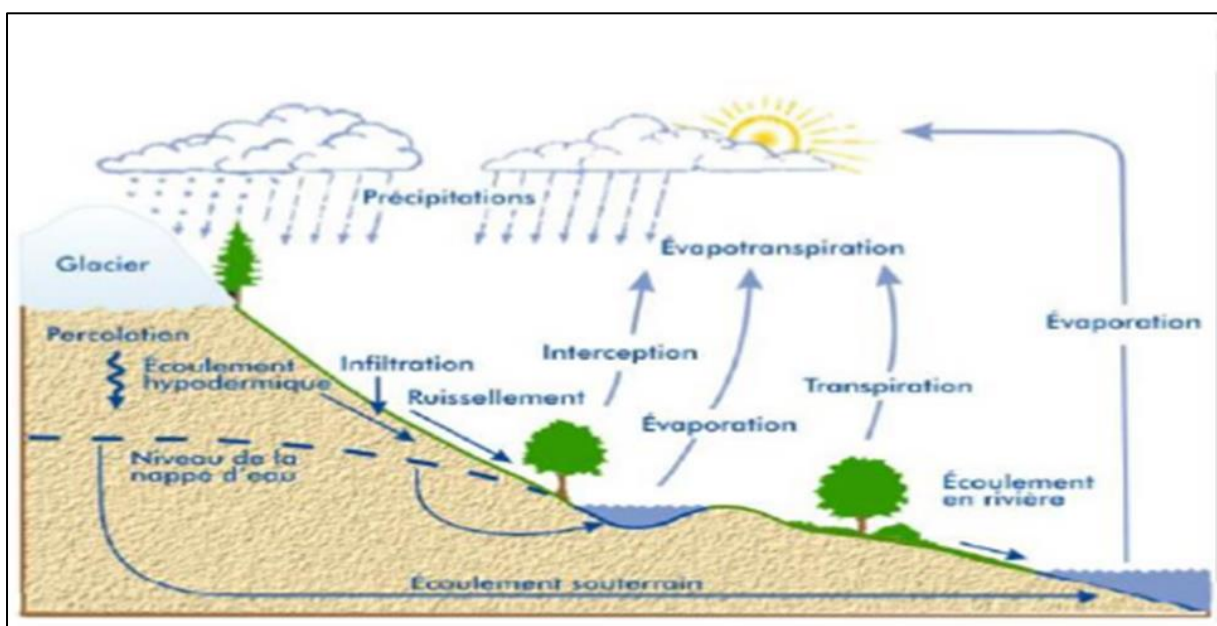


Figure 3 : cycle de l'eau (John *et al.*, 2014).

1.4. Sources principales de l'eau

On retrouve quatre sources principales d'eaux brutes.

1.4.1. Eaux de pluies

Les eaux de pluies habituellement sont des eaux de bonne qualité, douces et ne contenant pas de sels de calcium, de magnésium et de fer ou de manganèse. Ces eaux sont saturées en oxygène (O_2), en azote (N_2) et en dioxyde de carbone (CO_2). Cependant dans les régions industrielles, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques et des gaz tels que le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO) et (NO_2) et l'acide sulfurique (H_2SO_4). Les gaz constitués à partir

d'azote et de soufre sont responsables de l'acidité de certaines pluies dont le pH peut descendre jusqu'à 4, on parle alors de pluies acides (Brière, 2000).

1.4.2. Eaux de surface

Elles peuvent constituer deux catégories de milieux :

- **Milieu lotique** : Ils sont caractérisés par un gradient amont-aval dont la vitesse du courant est décroissante depuis la source jusqu'à l'embouchure. Cette vitesse est maximale au milieu du lit et à proximité de la surface et minimale au niveau des berges et près du fond. Elle détermine la composition et la structure de communauté biologique dont la majeure partie des organismes vit dans la couche limite zone d'eau calme au contact du substratum. L'eau courante constitue un agent érosif de transport et de dépôt de matériaux (Grosclaude, 1999 ; Dumont, 2008).

- **Milieu lentique** : Il résulte de l'accumulation de l'eau dans une dépression naturelle ou artificielle (mares, étangs, lacs et retenues). Le temps de séjour des eaux, caractéristique fondamentale des eaux stagnantes est extrêmement variable dépendant de l'importance des apports annuels par rapport au volume de la cuvette. Ce paramètre essentiel représente le temps durant lequel l'eau subit l'influence des facteurs qui vont conditionner son évolution physico-chimique et biologique (Grosclaude, 1999).

1.4.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont généralement d'une excellente qualité et leur composition est assez constante au sein d'une même nappe. Elles sont moins vulnérables aux sources de pollution. Les caractéristiques principales de ces eaux sont :

- turbidité faible compte tenu du fait que les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol ;
 - contamination bactérienne réduite ;
 - température constante puisque ces eaux sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère ;
 - indice de couleur faible : les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales ;
 - débit constant : contrairement aux eaux de rivière la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année ;
 - dureté souvent élevée ; les eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.) responsables de la dureté ;

- concentration élevée de fer et de manganèse ; ces métaux souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous (Brière, 2000) ;

1.4.4. Eaux de mers et océans

Les mers et les océans constituent d'énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97 % du volume d'eau existant actuellement sur la planète (Brière, 2000).

1.5. L'eau en Algérie

L'Algérie fait partie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques. En 1962 la disponibilité annuelle en eau par habitant était 1500 m³ elle n'était plus que de 720 m³ en 1990 de 680 m³ en 1995 et de 630 m³ en 1998.

La disponibilité annuelle en eau par habitant est aujourd'hui de 500 m³. Du fait de la pression démographique, cette disponibilité ne sera plus que de 430 m³ par habitant en 2020, cette disponibilité serait par bassin hydrographique comme s'y est présenté dans le tableau 3 (Zerouali, 2012).

Tableau 3 : disponibilité de l'eau en Algérie par habitant en 2020 (Zerouali, 2012).

Bassin Hydrographique	Ressources (Hm)	Population (10 ⁶ habitant)	Disponibilité (m ³ /habitant)
Oranie-chott chergui	1400	6.3	220
Chélif-Zahrez	2072	7.0	300
Algérois-Hodna Soummam	5125	15.8	320
Constantinois Seybouse Mellègue	5048	10.0	500
Sud	5436	4.9	1120

Partie 02 : pollution de l'eau

2. Pollution de l'eau

2.1. Définition de la pollution

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine à travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou indirectement à travers des ressources agricoles, ressources en eau et à travers des produits biologiques (Ramade, 2005).

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physicochimique et biologique par des déversements des rejets et dépôts directs ou indirects des produits étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques et les déchets industriels (Tekfi, 2006).

2.2. Historique sur l'origine de la pollution de l'eau

Avant le XX^{ème} siècle, la pollution était principalement constituée de matières fécales et organiques (Blin, 2012). Dans les dix dernières années en particulier avec le développement industriel, les problèmes de pollution de l'eau ont pris un tour d'abord régional puis continental et désormais maintenant il est mondial. Une grande quantité d'eau est polluée par les usages industriels, agricoles ou encore domestiques. L'industrie utilise de grandes quantités d'eau mais le principal problème tient à ce que la majeure partie de cette eau retourne à la nature polluée car il est chargé de déchets, de produits chimiques et de métaux lourds. Plus de 85% de l'eau consommée par l'industrie sont retournés à la nature sous forme d'eau usée (Gupta, 1992). Aussi le développement de la chimie et de ses applications dans la vie quotidienne conduit à l'apparition de nouveaux polluants qui atteignent notamment l'environnement (Pnue, 1991).

2.3. Différentes formes de pollution de l'eau

Selon la répartition géographique il y a :

2.3.1. Pollution diffuse

La pollution diffuse (indirecte) est la pollution la plus répandue de nos jours et la plus néfaste elle est difficile à identifier et donc difficile à maîtriser.

Elle résulte de la propagation de l'agent responsable de la pollution par différents vecteurs de transport (Boschet, 2002). Au cours du lessivage et l'érosion des sols différentes

substances sont entraînées vers les nappes et les rivières telles que les hydrocarbures, les métaux lourds et les pesticides. Cette pollution peut s'étendre sur de grandes surfaces, le transport des matières actives par le vent dans les zones parfois même inaccessibles et la présence de la pollution de certains pesticides au pôle Nord sont des exemples concrets et très inquiétants (Bouguetit, 2015).

2.3.2. Pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle (directe) est la pollution qui provient d'un point unique et identifiable comme l'effluent d'une usine, ce type de pollution est la plus connue et souvent la plus polluante à court terme. Les émissions de ce type de pollution sont généralement beaucoup plus polluantes que celles produites par la pollution diffuse (Chabni, 2005).

2.3.3. Pollution anthropique

La pollution anthropique peut être définie comme une conséquence d'une cause bien précise : la pollution agricole, la pollution urbaine et la pollution industrielle (Chabni, 2005).

L'Homme est une partie intégrante des écosystèmes terrestres. Pour répondre à ses besoins sans cesse plus importants en termes alimentaire et sanitaire, il a synthétisé volontairement toutes sortes de molécules de plus en plus complexes, comme les médicaments à usage médical ou vétérinaire, les produits phytosanitaires, les plastifiants, etc. Ses activités ont généré ou augmenté la présence naturelle d'autres contaminants, sans réelle maîtrise de leur gestion. A la fin, il a modifié les cycles naturels, comme celui de l'eau, en dégradant sa qualité et en cherchant à canaliser son écoulement (Zgheib, 2009).

2.3.4. Pollution accidentelle ou aigue

Est le résultat du déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel. Le plus souvent les pollutions accidentelles se trouvent liées aux grandes activités industrielles ou agricoles. Elles peuvent aussi résulter d'un accident de transport ou d'une catastrophe naturelle sur des usines ou stockages des produits qui vont engendrer cette pollution (Boschet 2002).

2.4. Différents types de polluants de l'eau

Un polluant pourrait être défini comme une substance présente dans l'environnement en quantité suffisamment importante pour entraîner des effets indésirables sur les écosystèmes ou la santé humaine. Selon les types de polluants, le déplacement peut être très différent c'est

à dire qu'ils ne vont pas se déplacer de la même vitesse. Par ailleurs, les propriétés physico-chimiques des milieux et des polluants sont donc indispensables à connaître pour gérer les risques liés aux pollutions (Atteia, 2015)

La pollution des eaux peut être classée qualitativement en plusieurs catégories en fonction de sa nature, sa nocivité et ses effets, On distingue :

2.4.1. Polluants physiques

- **Polluants thermiques**

La pollution thermique est représentée par des rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement, des centrales nucléaires et électriques ce qui provoque un réchauffement considérable des eaux (Bellan et Peres, 1994).

Elle provoque une élévation non négligeable de la température, elle affecte les diverses propriétés de l'eau telle que l'évaporation, elle diminue la solubilité de l'oxygène dans l'eau et y augmente l'activité biologique. Elle conduit donc à une asphyxie des cellules vivant en aérobiose et elle diminue la transparence ainsi que la lumière pénétrant dans l'eau par la croissance anarchique de végétaux tels que des algues et la disparition d'autres espèces sensibles à la température (Fredot, 2005).

- **Polluants radioactifs**

Elle peut avoir une origine naturelle d'une contamination liée à des retombés atmosphériques, des champs de rayonnement d'origine industriel ou des contaminations accidentelles de l'eau à partir des installations des centrales nucléaires (Ladjel et Bouchefer, 2012).

- **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).

2.4.2. Polluants chimiques

- **Sels minéraux et composées organiques**

- ✓ Les nitrates et les nitrites : ils sont très solubles et favorisent la multiplication des algues responsables d'une eutrophisation de l'eau c'est-à-dire de la diminution de l'oxygène.
- ✓ Les phosphates (essentiellement les poly-phosphates) : ils sont utilisés au niveau industriel et domestique, ils favorisent la multiplication bactérienne et donc augmentent les besoins en traitement et purification.
- ✓ Les phénols et diphénols : ils se complexent sous forme de chlorophénols lors de la chloration de l'eau et lui donnent un goût désagréable (Fredot, 2005).

- **Micropolluants**

Les micropolluants tels que le sélénium, les métaux lourds, les cyanures, l'arsenic et les composés organohalogénés volatiles ou haloformes (Fredot, 2005).

2.4.3. Polluants organiques

Regroupent plusieurs types de composés contenant un ou plusieurs atomes de carbone, les composés organiques anthropiques proviennent des diverses activités humaines : urbaines (incinération des ordures, utilisation de détergents, transport routieretc.), industrielles (raffineries, productions industrielles et énergétiquesetc.), agricole (utilisations des pesticides) ou encore maritimes, exploitation pétrolière et transport maritime) (Tronczynski, 2004).

Il en existe trois types de pollution organiques : les pollutions organiques facilement biodégradables ; les pollutions organiques difficilement biodégradables et les pollutions organiques toxiques (Gisèle, 2007).

- **Pollutions organiques facilement biodégradables**

Il s'agit de matières organiques provenant d'activités biologiques : matières fécales et urines, déchets de l'élevage et des industries agroalimentaires ; feuilles, plantes et animaux morts. La nuisance qui en résulte est due aux germes pathogènes que peut contenir ces matières organiques ou due à une forte concentration de ces déchets qui annihilent le phénomène d'auto épuration naturelle. Cette pollution est souvent la plus grave et la plus répandue (Gisèle, 2007).

- **Pollutions organiques difficilement biodégradables**

Elles proviennent d'activités comme la fabrication de pâte à papier, de textiles, de cuirs et peau ; ce sont aussi les détergents qui produisent des mousses diminuant la capacité d'oxygénation du cours d'eau. La dégradation par le milieu naturel de cette pollution est plus lente. Du fait de la dégradation difficile de ce type de pollution, leur nuisance résulte de leur accumulation dans le milieu naturel (Gisèle, 2007).

- **Pollutions organiques toxiques**

Elles proviennent des industries pétrochimiques et des raffineries qui rejettent dans leurs effluents des quantités importantes de phénols et d'hydrocarbures. Certains pesticides utilisés en agriculture sont d'origine organique et l'on sait que ce sont des produits toxiques particulièrement nuisant pour la faune aquatique ; ils peuvent atteindre l'homme par accumulation dans la chaîne alimentaire. Ce type de pollution gênera ou empêchera totalement les mécanismes d'épuration (Gisèle, 2007).

2.4.4. Polluants biologiques

On distingue deux catégories de pollution de nature biologique : les microorganismes et les matières organiques.

- **Microorganismes pathogènes**

Les microorganismes pathogènes comprennent principalement des bactéries, des protozoaires, des champignons et des virus. Cette contamination soulève dans des cas de sérieux problèmes d'hygiène publique et d'épidémiologie. Car non traités, ces rejets contiennent des microorganismes pathogènes viables qui sont alors transportés par les eaux et disséminés sur leurs parcours (Brouillet et Ouellet, 2003).

Selon (Brouillet et Ouellet, 2003), il existe trois grandes classes d'organismes pathogènes :

- ✓ Les bactéries (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, etc).
- ✓ Les virus (hépatite A, norovirus, rotavirus, etc).
- ✓ Les parasites (*Giardia lamblia*, *Cryptosporidium*, etc).

- **Matières organiques**

La présence de la matière organique naturelle est une caractéristique fondamentale des eaux peu profondes et son origine principale est le drainage des sols où s'accumulent des matières végétales plus ou moins décomposés (Brouillet et Ouellet, 2003).

Selon (Madoui et Sahraoui, 2011), les principaux composés organiques polluant sont des lipides, des protides, des glucides, des savons, des détergents, des huiles minéraux et de débris cellulose, auxquels s'ajoute leur produit de décomposition).

2.4.5. Polluants 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 les

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).

Tableau 4 : différents polluants de l'eau (Moilleron, 2017).

	Type de la pollution	Nature	Source
Physique	Pollution thermique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques
	Pollution radioactive	Radio-isotopes	Installations nucléaires
chimique	Matière organique	Glucides, lipides, protides Ammoniac, nitrates	Effluents domestiques, agricoles... Élevages et piscicultures
	Fertilisants	Nitrates, phosphates	Agriculture, lessives acides Agriculture et industries
	Métaux et métalloïdes	Hg, Cd, Pb, Al...	Industries, agriculture et pluies
	Pesticides	Insecticides, herbicides...	Agriculture et industries
	Organochlorés	PCB, solvants	Industries
	Composés organiques synthétiques	Nombreuses molécules	Industries
	Détersifs	Agents tensio-actifs	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Pétrole et dérivés	Industrie pétrolière et transports
Microbiologique		Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains et d'élevage

2.5. Principales origines de la pollution de l'eau

Les eaux usées appelées également effluents ou eaux résiduaires, elles regroupent des eaux d'origines divers tels que les eaux urbaines constituées d'eaux ménagères (lavage corporel, du linge et eau de cuisines,...etc.), les eaux de vanes chargées d'excréments et urines collectées dans un réseau d'égout et des eaux du service public. Cette eau apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre contenant des matières en suspension

d'origine minérale et organique (Rodier, 1996). D'après leur origine des eaux usées la pollution de l'eau est classée comme suit :

2.5.1. Pollution domestique ou urbaine

C'est une pollution provoquée par l'homme et en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Cette pollution peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que l'eutrophisation dans les rivières (Faurie *et al.*, 2003). La pollution domestique se caractérise par (Gaujous, 1998) :

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

Selon (Mizi, 2006), la pollution d'origine urbaine provient des différents usages domestiques de l'eau. Les eaux sont essentiellement porteuses de pollution organique et elles se répartissent en :

- Eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques.
- Eaux "vannes" qui ont pour origine les toilettes, sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux, constituant un substrat équilibré pour le développement des bactéries.

2.5.2. Pollution industrielle

Ce sont les produits organiques toxiques tels que les phénols, les aldéhydes, les composés azotés, les pesticides, les hydrocarbures et les détergents (Bechac et Boutin, 1984).

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 Légaré, 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).

2.5.3. Pollution agricole

Les pratiques actuelles de cultures et d'élevage influent d'avantage sur le régime et la qualité des eaux. D'une part, l'utilisation massive de fertilisants des sols (engrais minéraux ou déjections animales) et d'autre part, l'usage de produits chimiques de traitement des plantes (les produits phytosanitaires : herbicides, fongicides et insecticides) qui entraînent la dégradation du milieu aquatique des rivières et des eaux souterraines, les rendant impropres à la consommation. L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment par les engrais azotés et phosphatés conduit à la prolifération d'algues et de végétaux et à la dégradation des caractéristiques de l'eau (eutrophisation) (Boucenna, 2008).

2.5.4. 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, 1998).

2.5.5. Pollution thermique

L'utilisation de l'eau pour le refroidissement des centrales thermiques produisant de l'électricité mobilise des volumes très importants et leur rejet se fait directement dans la rivière avec un apport thermique en flux calorifique. Ce flux, s'il est rejeté dans la rivière, modifie la température. Le réchauffement qui accélère la vie bactérienne et donc l'autoépuration et conduit dans les rivières très polluées à un appauvrissement en oxygène qui peut être nocif (Valiron, 1990).

2.6. Conséquences de la pollution de l'eau

Les conséquences de la pollution des eaux peuvent être classées en plusieurs catégories principales.

2.6.1. Conséquences écologiques

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait pu être sans pollution.

D'une manière générale, les conséquences écologiques sont à considérer au travers de la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture et tourisme), à court et à long termes (Gaujous, 1995).

2.6.2. Conséquences esthétiques

Il s'agit de la pollution n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes. Mais elles perturbent l'image d'un milieu (par exemple, des bouteilles plastiques ou du goudron rejeté sur une plage) (Afnor, 1992).

2.6.3. Conséquences industrielles

L'industrie est un grand consommateur d'eau : il faut par exemple 1 m³ d'eau pour produire 1 kg d'aluminium. La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevées, tant sur le plan chimique (minéralisation, corrosion et entartrage), que biologique (problème de biofouling, c'est-à-dire d'encrassement des canalisations par des organismes).

Le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution (c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation "pollution" est apparue d'abord dans les pays industrialisés) (Gaujous, 1995).

2.6.4. Conséquences agricoles

L'eau dans certaines régions est largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation et souvent sous forme brute (non traitée). La texture du sol (complexe argilo-humique), sa flore bactérienne, les cultures et les bétails sont sensibles à la qualité de l'eau. De mêmes, les boues contenant des toxiques (métaux lourds) issues du traitement des eaux usées pourraient être à l'origine de la pollution des sols (Gaujous, 1995).

2.6.5. Maladies à transmission hydrique (conséquences sanitaires)

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les microorganismes est une source d'infections très importante (Madigan et Martinko, 2007). Selon le type de micro-organismes, la dose infectieuse, les voies d'exposition aux agents infectieux, nécessaires pour provoquer la maladie, est très variable. En général, la dose

nécessaire est plus faible dans le cas des virus et des protozoaires qu'avec les bactéries. Ainsi, l'ingestion de 1 à 10 particules virales ou de quelques kystes de protozoaires peut provoquer la maladie alors qu'une concentration de 10³ à 10⁶ organismes est nécessaire dans le cas de certaines bactéries (François, 2008).

Tableau 5 : maladies à transmission hydrique (MTH) (Gauzere, 2012).

maladie	Description
Le choléra	<ul style="list-style-type: none"> L'agent pathogène un bacille Gram (-) : <i>Vibrio cholerae</i> Il s'agit d'une bactérie appartenant à la famille des <i>Vibrionaceae</i> et au genre du <i>Vibrio</i>. Transmission et réservoirs hydrique ou inter-humaine : eaux polluées, produits marins contaminés, fruits et légumes irrigués, mains sales (toilette et transport des cadavres, repas,...ect.). Les symptômes une diarrhée aqueuse vomissements abondants une déshydratation rapide et sévère
L'hépatite A	<ul style="list-style-type: none"> L'agent pathogène le virus de l'hépatite A (VHA) appartenant à la famille de Picornaviridae genre Héparnavirus. Transmission et réservoirs voie féco-orale, soit par contact direct d'une personne à l'autre, soit par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés (l'eau de boisson ou de piscine contaminée). Les symptômes La fièvre, la fatigue, des maux de tête, douleur abdominale, la peau et les yeux jaunes
L'onchocercose	<p>une maladie parasitaire qui engendre la cécité. Le parasite responsable est un ver véhiculé par une mouche c'est la simulie, dont les larves vivent dans les eaux courantes</p>

Partie 03 : surveillance de la qualité de l'eau**3. Surveillance de la qualité de l'eau**

La qualité de l'eau est caractérisé par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain, c'est la concentration de ces différents éléments qui détermine la qualité de l'eau et permet de savoir si celle-ci convient à un usage particulier (Benaziza et Ameer, 2007). L'évaluation de la qualité des eaux naturelles porte sur trois grands volets chacun d'eux concernant l'une des grandes composantes de la qualité des hydro-systèmes (Genin *et al.*, 2003) :

- Évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau et son aptitude à satisfaire les fonctions naturelles des milieux aquatiques et des usages de l'eau.
- Estimer l'état des peuplements animaux et végétaux vivant dans les milieux aquatiques.
- Apprécier le degré d'artificialisation ou de perturbation de tout ce qui concerne le milieu physique (Morphologie et hydrologie).

D'après (Mazzuoli, 2012), les cours d'eau sont classés en quatre catégories selon leur qualité d'eau :

- **Bonne** : Ce sont des eaux aptes à tous les usages comme la fabrication d'eau potable, ou l'abreuvement des animaux et l'arrosage ou l'irrigation,...etc.
- **Moyenne** : Ce sont des eaux où la vie des poissons est perturbée au moins dans ces aspects de reproduction. Elles permettent encore la production d'eau potable mais avec des traitements plus chers. Elles peuvent encore être utilisées pour l'irrigation, mais non pour abreuver les animaux ou pour l'arrosage direct des productions végétales de type fruits ou légumes. Cette eau peut servir pour certains usages industriels.
- **Mauvaise** : Ce sont des eaux où la vie piscicole est perturbée. Seuls des usages industriels de type refroidissement sont possibles. Les activités de loisir autres que la navigation et la baignade sont déconseillées ou interdites. L'irrigation est tolérée sous certaines conditions.
- **Très mauvaise** : Ces eaux sont des dangers pour le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et également la santé publique.

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) comme l'ensemble des sensations perçues par le nez en aspirant certaines substances volatiles. Dans l'eau destinée à la consommation humaine aucune odeur ne doit être perçue.

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 due à la présence de matériaux solides en suspension qui réduisent sa transparence. Elle peut être également provoquée par la présence d'algues, de plancton, de matière organique et pleine d'autres substances comme le zinc, le fer, le manganèse et le sable résultant du processus naturel d'érosion ou de rejets domestiques et industriels. C'est un indicateur sanitaire et une norme organoleptique de l'eau de consommation humaine (Brasilia, 2013).

3.2. Evaluation de la qualité physico-chimique

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

La température de l'eau joue un rôle déterminant dans la modification des propriétés physiques et chimiques de l'eau. Elle influence en effet, les réactions biologiques qui se produisent dans l'eau (Makhouk *et al.*, 2011 ; Akil *et al.*, 2014). Elle a une grande influence sur un certain nombre de contaminants chimiques et de constituants inorganiques susceptibles d'avoir des effets sur le goût de l'eau. À température élevée, le développement des micro-organismes est favorisé et les problèmes de goût, de couleur et d'odeur peuvent augmenter (WHO, 2011).

3.2.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de l'eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H^+ présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des différentes causes en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels (Rodier *et al.*, 2009). Les valeurs limites du pH sont comprises entre 6,5 et 9 (JORA, 2011). Au-dessous de ce seuil l'eau est dite « agressive », elle a un effet corrosif sur les canalisations et peut mener à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites (Savary, 2010 ; Bouziani, 2000).

3.2.3. Conductivité électrique(CE)

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).

3.2.4. Oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous dans l'eau est un facteur écologique essentiel de la qualité d'un écosystème aquatique. La concentration de l'oxygène dissous dans l'eau naturelle est directement conditionnée par la température, la salinité et la pression atmosphérique.

L'élévation de la température et de la salinité réduisent la solubilité de l'oxygène et inversement une eau froide et douce favorise la dissolution de l'oxygène. Sa présence dans les eaux de surface joue un rôle prépondérant dans l'autoépuration des charges polluantes et donc dans le maintien de la vie aquatiques.

En plus de la concentration en mg/l, l'oxygène est également exprimé en « pourcentage de saturation » qui est le pourcentage d'oxygène dissous réel présent dans l'eau 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).

3.2.5. Matière en suspension (MES)

Elles constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques dans une eau naturelle ou polluée (Ramade, 1998). 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 débris 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).

3.2.6. 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 et

l'incrustation. 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. Chlorure (Cl⁻)

Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 à 100 mg/l. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées (Nalco, 1983). Les chlorures (Cl⁻) doivent être particulièrement suivis les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés (Rodier, 1984).

3.2.8. Sulfate (SO₄⁻²)

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. Paramètres relatives à la pollution

3.3.1. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

La DBO5 est considérée parmi les mesures globales qui permettent de caractériser les eaux résiduaires et les eaux de surface. La demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO5) à 20°C et à l'obscurité.

Le rejet des matières organiques fermentescibles par un émissaire d'égout provoque immédiatement une déplétion de la teneur en oxygène dissous par dégradation sous l'action des bactéries aérobies qui va s'atténuer dans le sens du courant (Ramade, 2002).

3.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation complète des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium (Rodier *et al.*, 2005).

3.4. Nutriments

3.4.1. Azote

L'azote en milieu aquatique existe sous trois formes : azote inorganique dissous (NID), azote organique dissous (NOD), particulaire organique et détritique. Le NID est formé par l'ammonium (NH_4), les nitrates (NO_3) et nitrites (NO_2). L'azote organique dissous (NOD) est composé essentiellement de l'urée, les acides aminés dissous libres, les acides aminés dissous complexes, les protéines, les acides nucléiques et leurs dérivés, les enzymes et les acides humiques (Le Gal, 1989). En milieu aquatique, le NOD provient du métabolisme des microorganismes, de la lyse des cellules, de la décomposition de la matière organique et des eaux de pluie (Meybeck, 1982). Il est utilisé par les bactéries comme source d'azote et régénéré sous forme minérale (NID) assimilables par les végétaux. Au sein du NID, l'azote ammoniacal (NH_4) dans les eaux superficielles provient principalement des rejets domestiques et agricoles, et dans une moindre mesure des rejets industriels. En milieu faiblement oxygéné l' NH_4 domine par suite de la réduction des nitrates. Les conditions de réductions et d'hypoxie sont le signe d'une pollution. Les nitrates proviennent souvent de la nitrification de l'azote organique, des terrains drainés par les eaux superficielles, des engrais chimiques issus de rejets agricoles, de collectivités, de certaines industries et de zones d'élevage.

Les nitrites présentent souvent de faibles teneurs dans les eaux naturelles, représentant une fraction du NID de l'ordre de 10 % (Aminot et Chaussied, 1983). Soit qu'ils proviennent d'une oxydation incomplète de l'ammonium (la nitrification n'étant pas conduite à son terme), soit d'une réduction de nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant ou minéralisation. L'azote nitrique et ammoniacal des eaux de pluie participe aussi à augmenter les quantités dans les eaux superficielles.

Les formes assimilables pour les producteurs primaires comme le phytoplancton et d'autres organismes photosynthétiques sont les NO_3 , NH_4 mais aussi le NOD. Cependant, l'ammonium est la forme préférentielle pour le phytoplancton car énergétiquement moins coûteux et directement convertit en acides aminés à l'aide de l'enzyme glutamate déshydrogénase (Bougis, 1974). Or l'assimilation des NO_3 nécessite leurs conversion en NO_2 puis NH_4 ce qui exige l'intervention de deux enzymes (nitrate réductase et nitrite réductase).

3.4.2. Formes azotées

L'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates sont différentes formes azotées susceptibles de se trouver dans les eaux d'un oued et pouvant être un critère de pollution.

- **Ammonium (NH₄)**

Le cation NH₄ est produit par réaction acido-basique de l'eau et de façon générale de tout acide avec l'ammoniac NH₃. En revanche, en milieu basique à pH supérieur à 9,2, le NH₃ se dégage dans l'atmosphère (Ramade, 2000). L'azote ammoniacal assez souvent rencontré dans les eaux, traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il peut avoir diverses origines dont la plus grande part de l'azote des eaux superficielles provient de la décomposition des matières organiques contenues dans les débris végétaux des algues, plantes ou herbes du lit ou des berges à l'oued. Les urines humaines ou animales contiennent de grandes quantités d'urée qui induisent la présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante.

A ces origines s'ajoutent un certain nombre d'industries responsables d'une augmentation de la teneur des eaux en azote ammoniacal telles les industries chimiques et les industries de textiles (Afri-Mehennaoui, 1998).

L'ammoniac stimule les poussées planctoniques. Il est toxique pour les poissons, surtout en milieu alcalin, sous forme de gaz qui diffuse facilement à travers les membranes. En milieu oxydant, l'ammoniac se transforme en nitrites puis en nitrates, ce qui induit une consommation d'oxygène.

- **Nitrites (NO₂)**

Les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices. Ce sont des molécules intermédiaires qui apparaissent dans la dénitrification de l'ion nitrate sous l'action de bactéries telles les *pseudomonas*, ou bien elles dérivent de l'oxydation de l'ammoniac (NH₄).

- **Nitrates (NO₃)**

Sels minéraux de l'acide nitrique, les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs tant pour les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques (Ramade, 1998). Ils constituent le stade finale de l'oxydation biologique de toutes les formes d'azotes (azote organique, ammoniacale, nitrites...).

La présence naturelle des nitrates dans les eaux est liée en grande partie au lessivage des sols constituant le bassin versant ; la nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence, tandis que la pollution par les nitrates est due à la minéralisation de matière organique, à l'utilisation abusive des engrais azotés, aux résidus animaux, fumiers, purins, aux eaux usées domestiques et éventuellement aux effluents des stations d'épuration.

3.4.3. Phosphore (PO₄)

Le phosphore est un composant essentiel de la matière vivante puisqu'on le rencontre sous nombreuses formes et jouant un rôle clés dans le métabolisme des organismes vivants (Monaghan et Ruttenberg, 1999) : phospho-sucre, adénosine, acides nucléiques (ADN et ARN), phospholipides, phosphorâtes, réactifs biochimiques intermédiaires (phosphocréatinine, phsphoenolpyruvate). La présence d'éléments phosphorés dans l'eau est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Le phosphore présent dans les cours d'eau peut être subdivisé en fraction dissoute (< 0,45µm) inorganique formée par les ortho-phosphates et poly-phosphates inorganiques et une fraction organique à l'état colloïdal. La fraction particulaire (≥ 0,45µm) comprend le phosphore organique particulaire, phosphore inorganique particulaire apatitique ou non apatitique. Seul le phosphore inorganique directement ou indirectement assimilable par les algues joue un rôle dans la productivité aquatique. Le phosphate inorganique comprend principalement les ortho phosphates (PO₄) assimilés par les plantes (Meybeck, 1982).

3.4.4. Silicium (SiO₄)

Après l'oxygène, le silicium est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre formant 28,8 %, il est présent dans plus de 370 minéraux composants les diverses roches (Wedepohl, 1995 ; Wollast et Mackenzie, 1983). Le silicium joue un rôle primordial dans le cycle global de la matière en particulier dans le cycle du carbone. Il contribue doublement à l'élimination du carbone atmosphérique par lessivage et élimination dans les fonds marins sous forme de boues à diatomées. Il est donc d'intérêt majeur pour les bio-géochimistes. Cet élément retient d'avantage l'attention des bio-géochimistes, depuis la mise en évidence de son rôle majeur dans le contrôle du CO₂ atmosphérique consommé par les algues planctoniques.

Le silicium dissous de l'eau est présent sous différentes formes chimiques éventuellement disponibles pour les diatomées. L'acide ortho silicique Si(OH)₄ est la forme soluble du silicium ayant une biodisponibilité particulièrement élevée.

3.5. Evaluation de la qualité biologique

L'évaluation de la qualité biologique repose sur l'utilisation et l'interprétation de paramètres biologiques obtenus à l'aide des méthodes validées qui partent du principe que l'étude des organismes vivants permet d'établir un diagnostic de l'état de l'écosystème.

Elle vise donc à renseigner sur l'état de santé des peuplements végétaux et animaux liés au milieu aquatique (Ramade, 2005). L'étude des peuplements du milieu aquatique ou

inféodés à lui (macro invertébrés, diatomées, oligochètes, poissons et macrophytes), appelés bio-indicateurs, permet donc de déterminer des indices biologiques qui constituent une expression chiffrée de la qualité biologique des eaux (Van Overmeiren, 2008).

D'une manière générale, la surveillance de la qualité de l'environnement peut se faire suivant deux approches : la détection des polluants et leur quantification ; l'évaluation des effets des polluants sur les organismes vivants, soit à l'échelle des individus, soit à l'échelle des populations et des communautés (Adams, 2002).

La recherche et l'utilisation d'indicateurs biologiques répondent à une problématique essentiellement appliquée : la bio-évaluation des écosystèmes et le diagnostic prédictif de leur évolution spatio-temporelle. Actuellement, il est possible de mesurer les effets biologiques depuis le niveau cellulaire jusqu'aux peuplements et aux écosystèmes (Fig. 4). Le nombre de bio-indicateurs utilisé est le reflet de l'immense variabilité biologique des écosystèmes. Les indicateurs biologiques se situent au sein d'un ensemble de méthodes dont la rapidité de réaction et la signification écologique sont inversement proportionnelles (Amara, 2011).

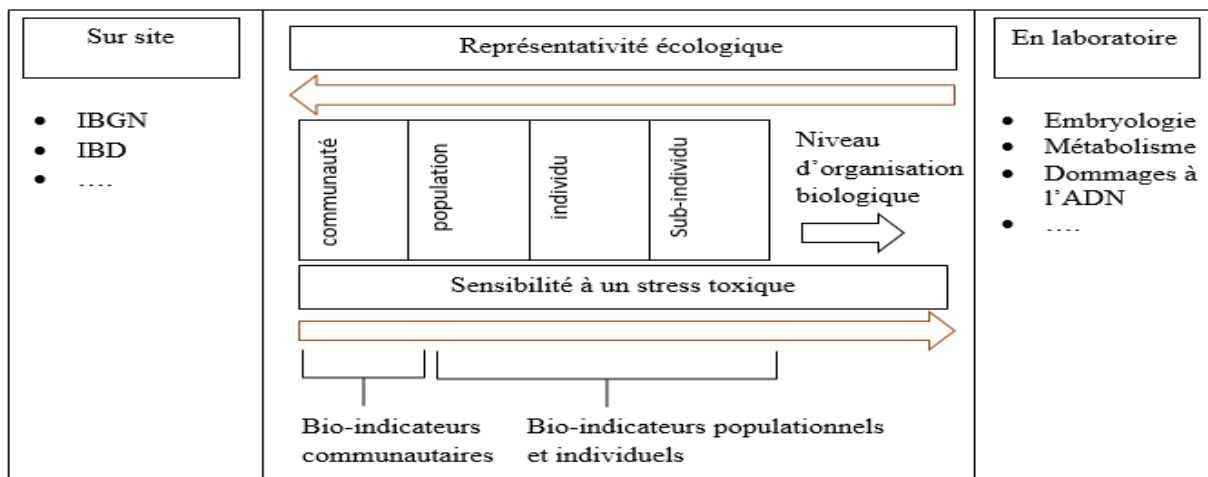


Figure 4 : différentes échelles d'observation (Ferro et al., 2013).

3.6. Evaluation de la qualité bactériologique

C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable. Elle se mesure par la présence d'organismes indicateurs de pollution : les Germes totaux et les Coliformes qui vivent normalement dans les intestins humains et animaux. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les Coliformes connus sous le nom d'*Escherichia coli* (*E. coli*), les Streptocoques fécaux et les Clostridium sulfito-réducteurs. Elles se multiplient très facilement et sont utilisées généralement comme germes tests de contamination fécale (Ahonon, 2011).

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODE



Partie 01 : présentation de la zone d'étude

1. Localisation et présentation de la Wilaya de Mila

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. 5) :

- 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).

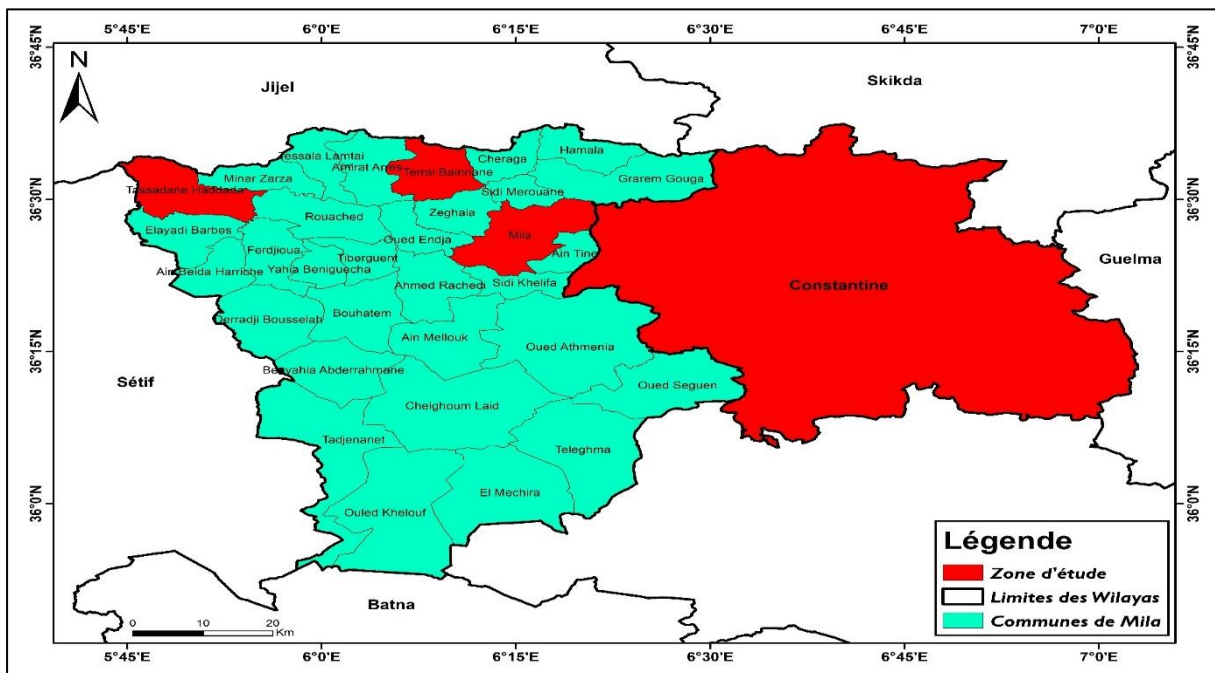


Figure 5 : situation géographique et administrative de la Wilaya de Mila (Photo originale).

1.2. Situation édaphique

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).

1.2.2. 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).

1.2.3. Relief

La Wilaya de Mila est entièrement entourée de chaînes montagneuses appartenant à différents domaines paléogéographiques (fig. 6) :

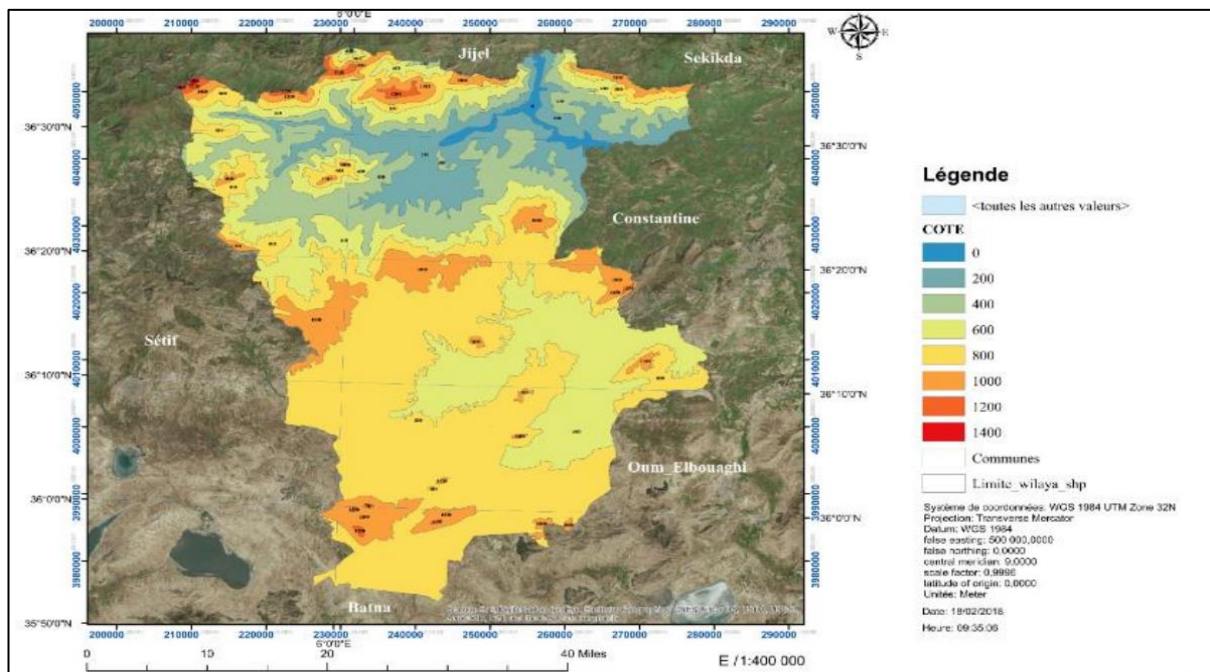


Figure 6 : carte des reliefs de la Wilaya de Mila (CF, 2018).

- 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).

1.3. 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).

1.3.1. 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 6 : 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).

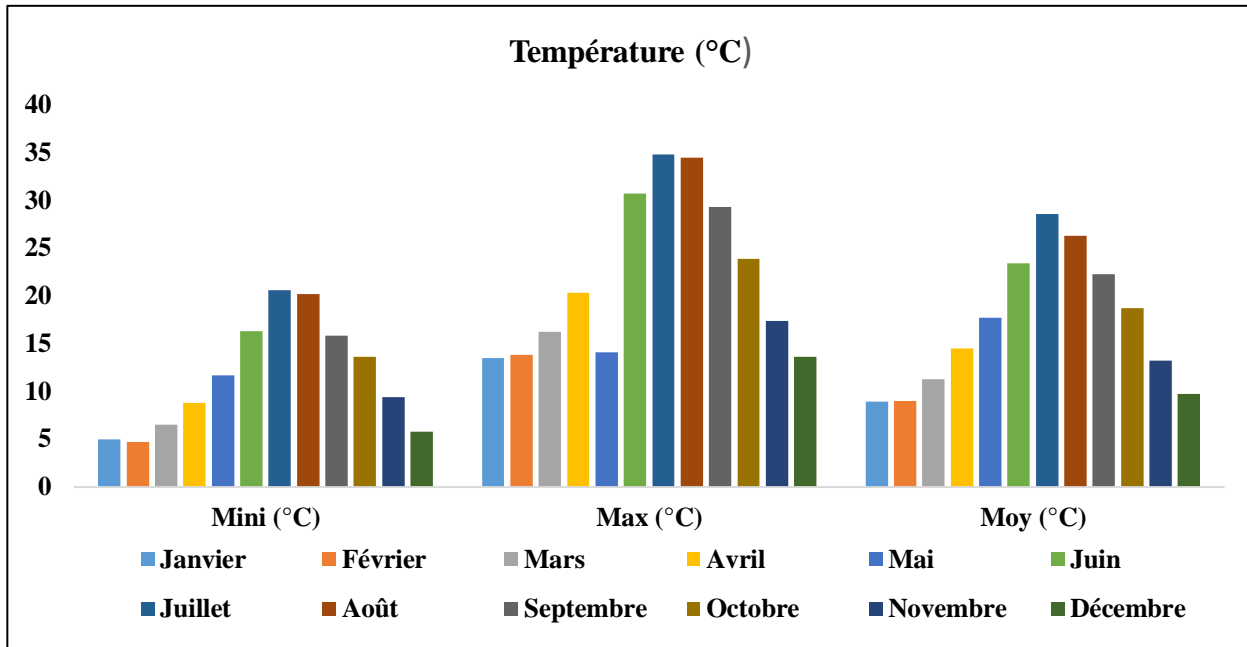


Figure 7 : variation de température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

1.3.2. 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 7 : 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).

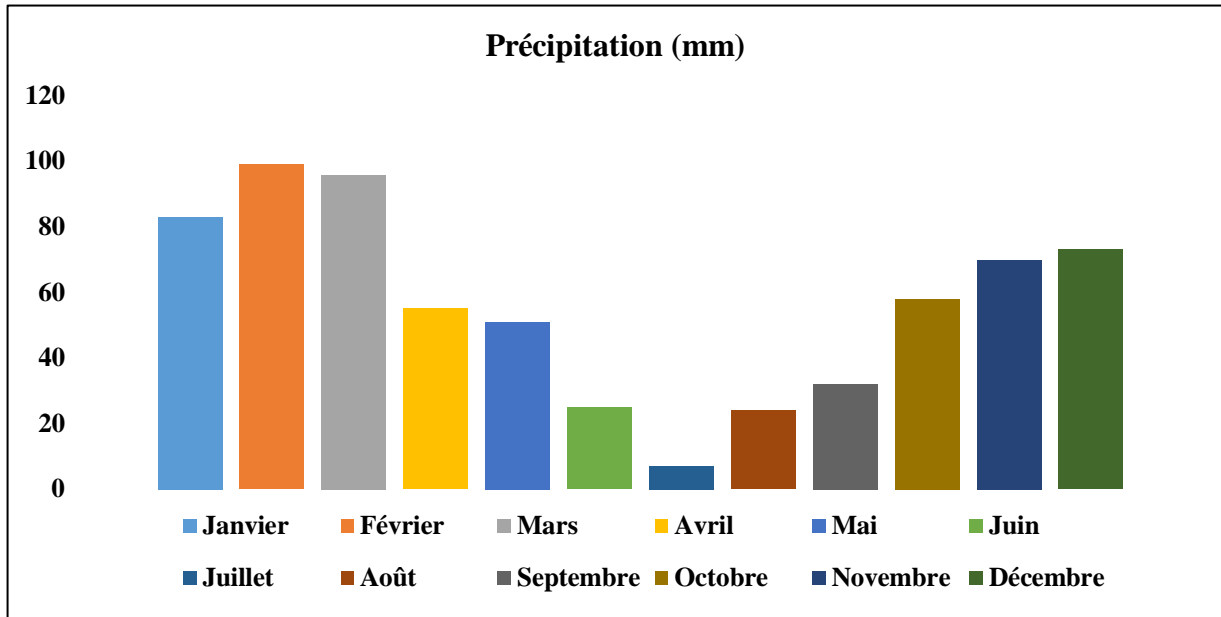


Figure 8 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

1.3.3. Diagramme Pluiothermique ou Ombrothermique

Selon Bagnouls et Gausson (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 8 : variation de précipitation et température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

paramètres	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
PP (mm)	83	99	96	55	51	25	7	24	32	58	70	73
T (°C)	8.9	9	11.3	14.5	17.7	23.4	28.6	26.3	22.3	18.7	13.2	9.7

D'après le digramme Ombrothermique établi (fig. 9) à partir des données de températures et précipitations de la station météorologique d'Ain Tine on peut distinguer deux périodes :

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

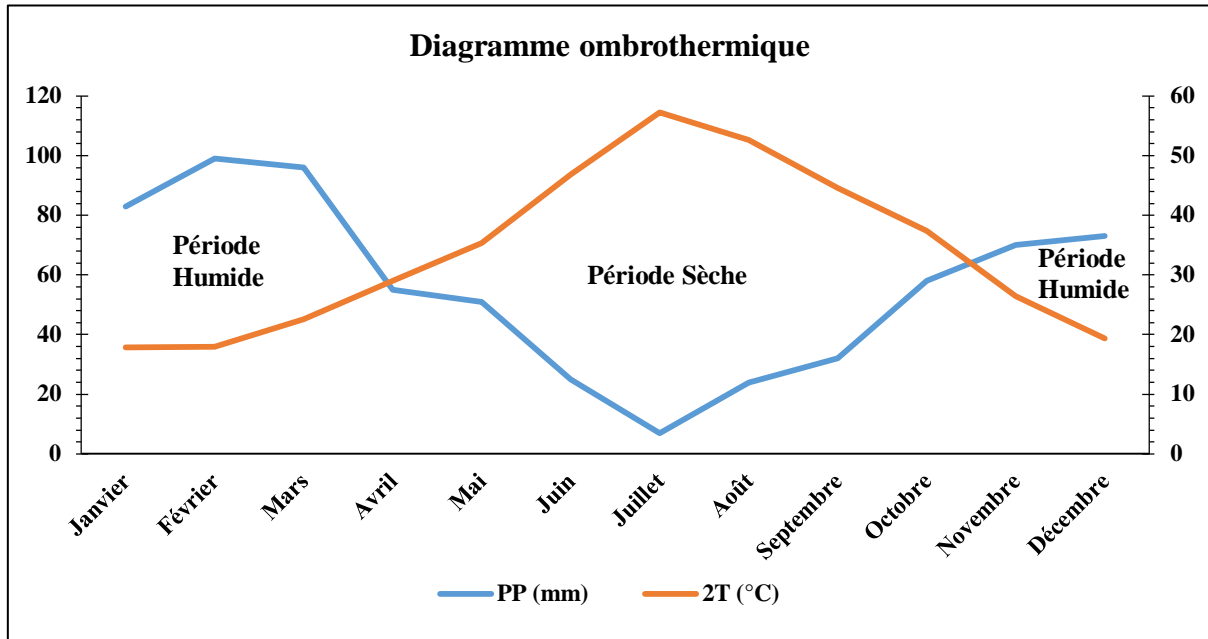


Figure 9 : diagramme Pluviothermique ou Ombrothermique durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.3.4. Humidité

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

Tableau 9 : 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 %.

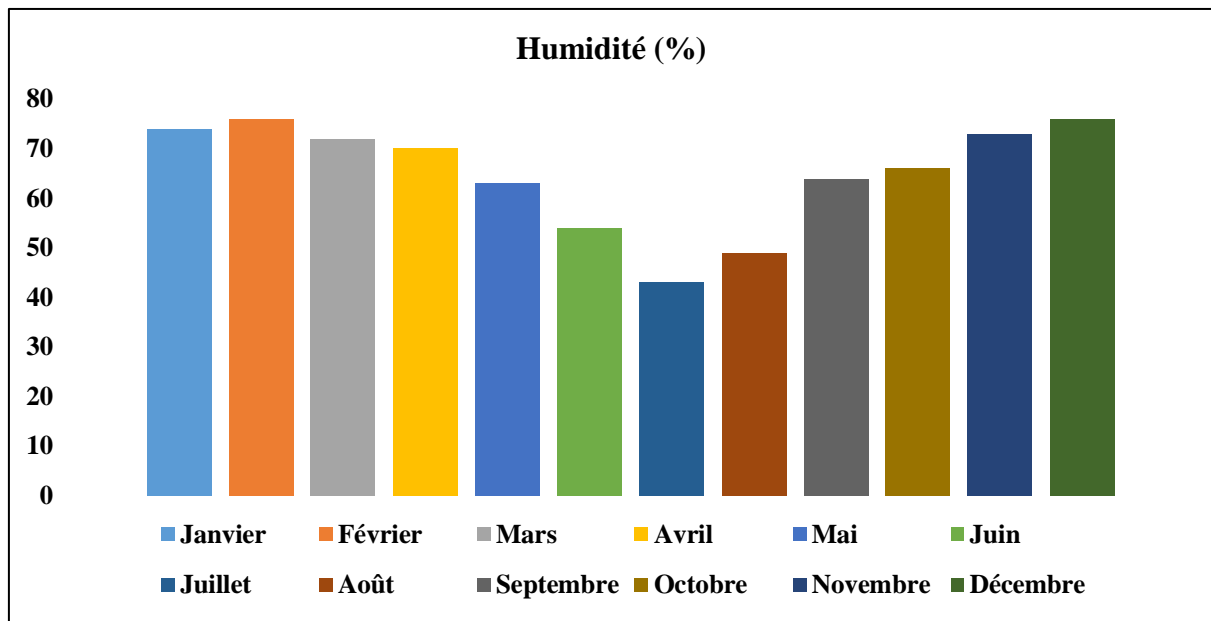


Figure 10 : variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.3.5. 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 10 : 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. 10), 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.

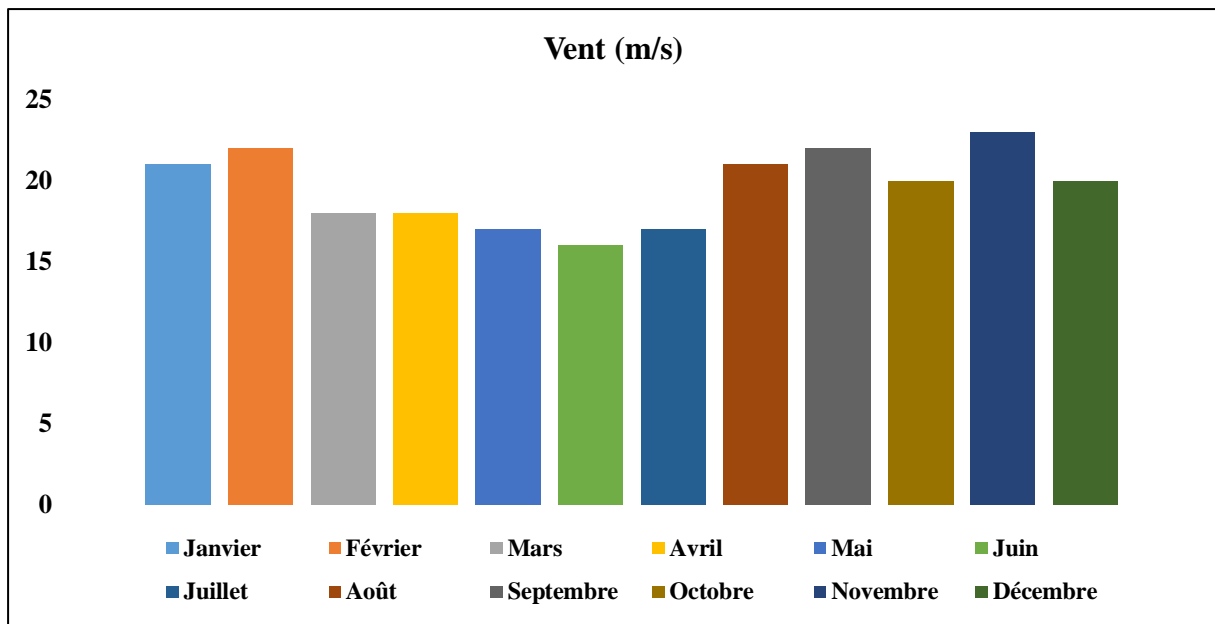


Figure 11 : variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

1.4. 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).

1.4.1. 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 Tajenane et oued Athmania (Zouaidia, 2006).

1.4.2. 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).

1.5. 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.

1.5.1. 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 Ferdjiousa, Ain Beida, Bouhatem, Mila, Chelghoum-Laid, Teleghma et Tadjnannet. Le chêne liège occupe les forêts de Grarem, Sidi-Merouane, Tassadane et Tarai-Bainen.

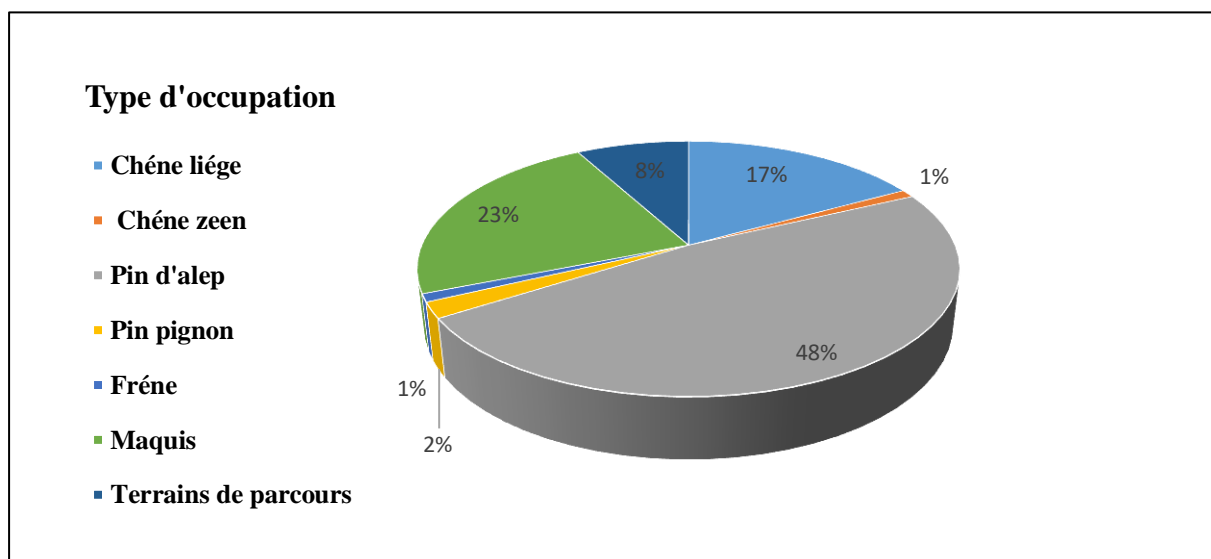


Figure 12 : type d'occupation des forêts de la Wilaya de Mila (CF, 2018).

1.5.2. 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 :

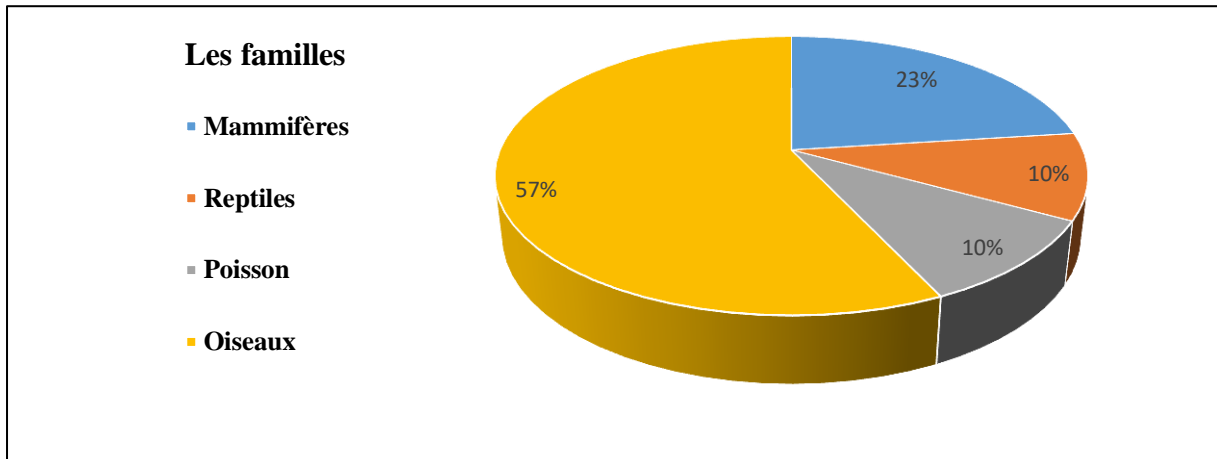


Figure 13 : diversité faunistique de la région de Mila (CF, 2018).

1.5.3. L'avifaune

D'après la conservation des forêts, l'avifaune terrestre dans la Wilaya de Mila est représentée dans la figure ci-dessous :

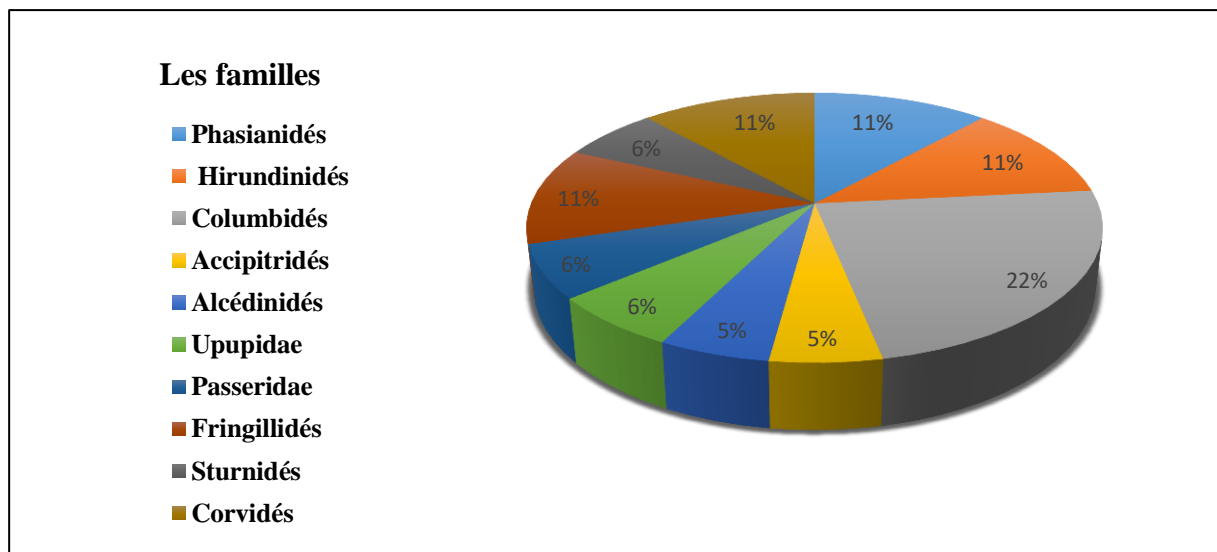


Figure 14 : espèces des oiseaux terrestres présents dans la région de Mila (CF, 2018).

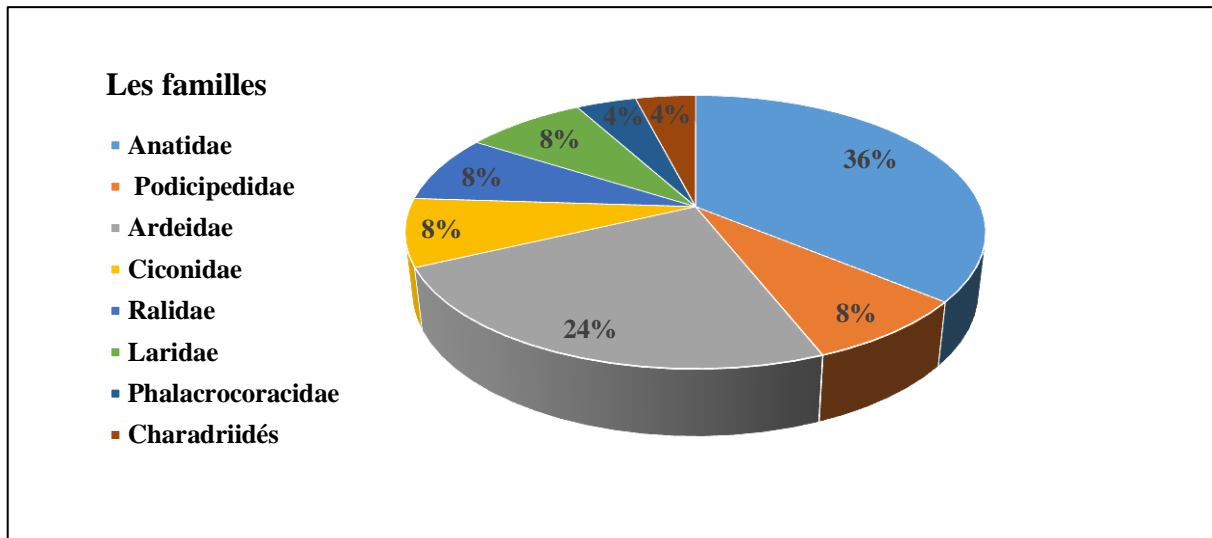


Figure 15 : espèces avifaunistiques observées au niveau du barrage de Béni-Haroun et du barrage de Sidi Khelifa (CF, 2018).

2. Présentation du bassin versant d'oued Kébir-Rhumel

2.1. Situation géographique

Avec une superficie d'environ 8110 km² (ABH, 1999), le bassin d'oued Kébir-Rhumel est situé en Algérie orientale entre la latitude 35°53' et 36°53' Nord et la longitude 5°25' et 7°1' Est. L'oued Kébir-Rhumel est l'une des unités hydrologiques les plus importantes de l'Est Algérien son delta est situé entre la ville de Jijel et de Collo; son domaine possède au nord une façade maritime de 07 km. Le bassin d'oued Kébir-Rhumel est juxtaposé à l'Est aux bassins constantinois centre et à celui de la Seybouse; il partage aussi une grande partie de ses limites occidentales avec les bassins côtiers constantinois Ouest (Fig. 16).

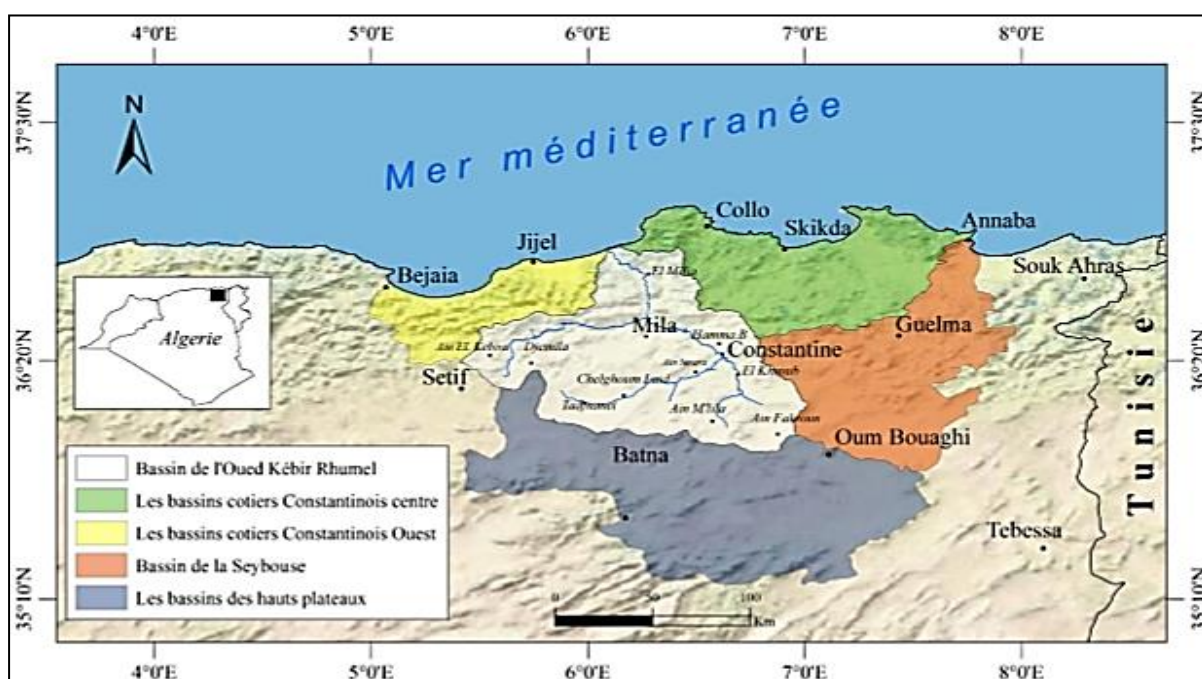


Figure 16 : situation géographique du bassin d'oued Kébir-Rhumel (Tourki, 2019).

Au sud, les limites géographiques du bassin d'oued Kébir-Rhumel se confondent avec celles des bassins des hauts plateaux telliens et débordent largement les limites des bassins constantinois sur sa partie nord. Les limites d'endoréisme-exoréisme s'étendent des marges septentrionales des hautes plaines de Sebkhass (région de Sétif) et de celles de Chott Tinsil (Région d'Oum Bouaghi) au sud, jusqu'à la mer méditerranée au nord (Tourki, 2019).

2.2. Situation socio-économique

2.2.1. Agriculture

Le bassin d'oued Kébir-Rhumel se caractérise par une agriculture mixte traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture (fig. 17). La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm³. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture (Mebarki, 1982).

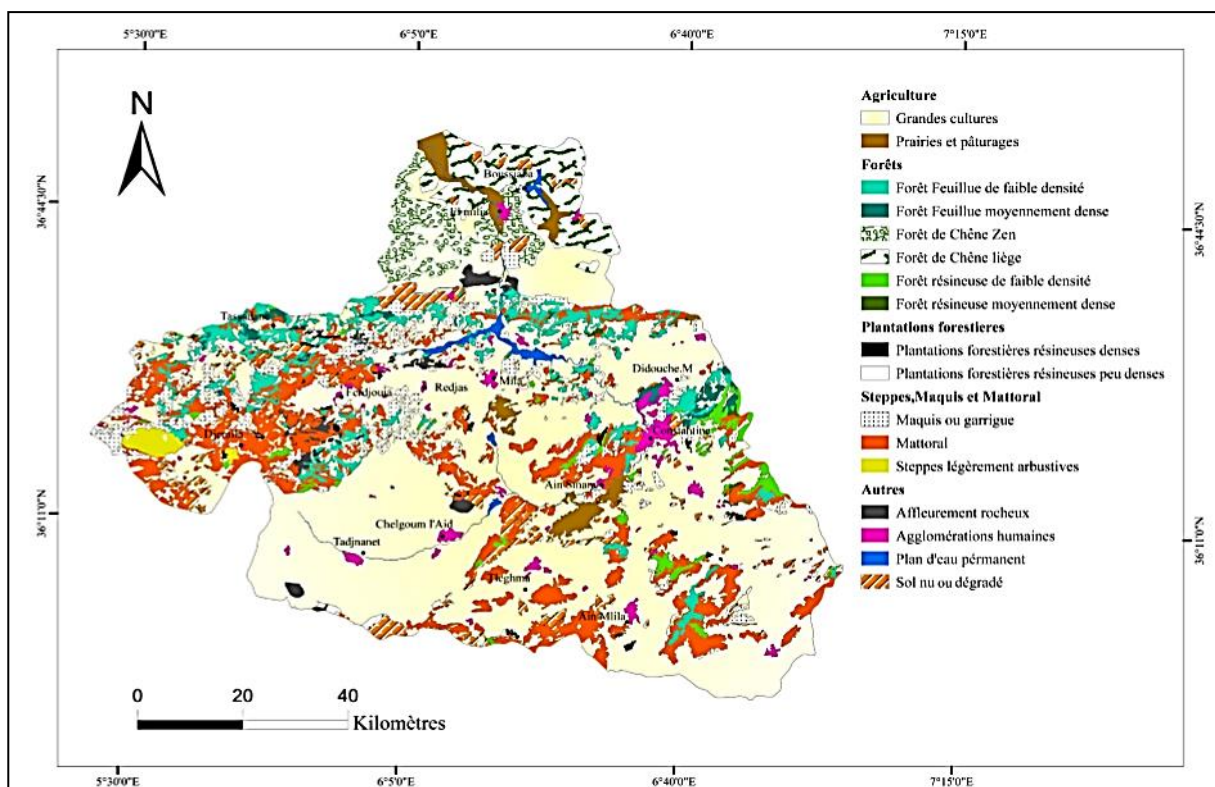


Figure 17 : occupation du sol et du couvert végétal du bassin d'oued Kébir-Rhumel (Tourki, 2019).

Afin d'atteindre la production nécessaire, il était important de développer des techniques et des stratégies de culture et d'autoriser l'usage de certains produits chimiques et organiques tel que les engrais et les pesticides pour améliorer les rendements et lutter contre les parasites et les maladies (Tourki, 2019).

L'influence de l'agriculture sur les oueds du bassin versant Kébir-Rhumel se manifeste surtout par l'utilisation des engrais chimiques dont les principaux sont : les nitrates d'ammonium (33 %) et les phosphates (45 %). Sans aucun doute les engrais augmentent le

rendement agricole en améliorant la croissance mais des très fortes doses conduit automatiquement à une pollution excessive des sols et par conséquent des eaux ou les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés sont élevées (Melghit, 2009).

2.2.3. Unités industrielles

Les unités industrielles du bassin sont réparties en plusieurs zones concentrées autour des grandes agglomérations (Constantine, Chelghoum Laid, El Khroub, Hamma Bouziane et Mila). Parmi les industries caractéristiques du bassin plusieurs d'entre elles sont alimentées par leurs propres forages ou leurs propres puits lesquels pour la plupart ne subissent aucun contrôle concernant la chimie de l'eau (ABH, CSM, 2002).

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 (22) stations de mesures pluviométriques dont dix (10) seulement sont fonctionnelles. Sur le bassin versant Kébir-Rhumel, les pluies sont irrégulières et faibles selon les saisons et les stations communiquées par l'ANRH. Le bassin est caractérisé par un climat méditerranéen avec des hivers doux et des étés chauds et secs (ABH, CSM, 2002).

2.3.2. Vent

Est un facteur climatique très important car il joue un rôle primordial dans la dispersion et le transport des polluants. Les vents soufflants sur le bassin versant Kébir-Rhumel sont ceux du Nord-Est Algérien qui apportent les pluies (ABH, CSM, 2002).

2.4. Situation pédologique

Durand, (1954) a classé les sols selon que le climat a été ou pas le facteur prépondérant sur leur genèse. Pour cela, cet auteur a divisé l'Algérie en trois régions climatiques (humides, semi-arides et Sahara) étant donné la situation géographique du bassin versant d'oued Kébir-Rhumel et la description des sols de la région Saharienne ne sera pas prise en considération dans cette partie puisque le bassin étudié est exposé seulement aux climats humide et semi-aride.

La classification des sols selon (Durand, 1954) se résume à deux groupes : le groupe des sols zonaux et celui des sols azonaux.

2.4.1. Sols zonaux

Il s'agit de la catégorie des sols dont le développement a principalement été influencé par le climat. Les sols zonaux sont eux-mêmes classifiés selon la composition de leur matériel parental.

Les sols zonaux des régions semi-arides se regroupent en sols calciques qui occupent une proportion non négligeable correspondant à 12,5 % de la superficie totale du bassin et des sols en équilibre; ces derniers n'ont pas été cartographiés sur la carte puisque qu'ils n'ont pas été observés dans le bassin étudié.

Le deuxième groupe de sol, celui des régions humides, assemble les sols développés dans un matériel parental ne contenant pas de calcaire tels que les sols insaturés, podzoliques, sols insaturés acides et sols acides des pâturages subalpins (Fig. 18).

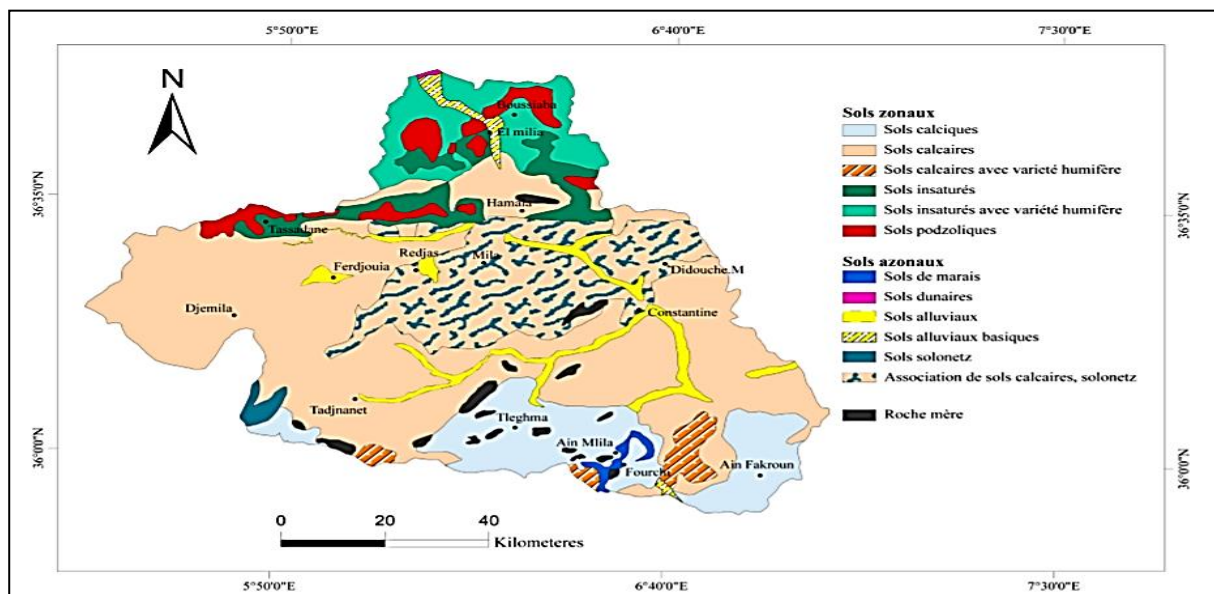


Figure 18 : sols du bassin d'oued Kébir-Rhumel (Tourki, 2019).

2.4.2. Sols azonaux

A l'opposé des sols zonaux, les sols azonaux regroupent les sols dont le développement est dominé par des facteurs locaux tel que la topographie (Durand, 1954 ; Roy *et al.*, 2006). Ces facteurs sont utilisés pour catégoriser les sols azonaux en deux groupes.

Le premier groupe se caractérise par des sols dus à l'accumulation de l'eau engendrant des conditions anaérobiques et l'humification de la matière organique. Ces sols se distinguent

les uns des autres, selon leur niveau d'humidité : les sols des prairies marécageuses, sols tourbeux, sols tourbeux non inondés et sols de marais.

Le deuxième groupe de sols azonaux correspond à la catégorie de sols qui se développent sous l'effet du transport de la matière dans des conditions aérobiques. Ces sols peuvent se former sans la nécessité de l'eau par l'entremise du vent (sols dunaires) ou de la gravité (éboulis) (Fig. 18).

2.5. Situation hydrographique

2.5.1. Réseau hydrographique

Le bassin étudié présente un chevelu hydrographique très dense totalisant un réseau de plus de 6545 km. Oued Kébir-Rhumel résulte de la jonction de deux grands oueds : oued Rhumel et oued Endja (Fig. 19). Cette confluence est située à Sidi Merouane aux environs de la Wilaya de Mila (Tourki, 2019).

- **Branche d'Oued-Rhumel**

Long de 152 km, il constitue l'oued le plus important du réseau hydrographique du bassin d'oued Kébir-Rhumel. Ce dernier a contribué de façon importante au façonnement du ravin de la ville de Constantine connue justement par le pittoresque de celui-ci. Oued Rhumel prend sa source depuis les marges méridionales du Tell dans les plaines Sétifiennes (région de Bellaa) et coule du sud-est vers le nord-est pour traverser les hautes plaines de Constantine. Il entaille les gorges de Constantine puis change brusquement de direction vers un sens nord-ouest pour rejoindre oued Endja (Melghit, 2009).

La superficie drainée par ce cours d'eau représente 60 % de la superficie totale du bassin d'oued Kébir-Rhumel. Ses principaux affluents sont oued Boumerzoug et oued-Smendou. Oued Boumerzoug prend sa source au sud depuis la région d'Aïn M' lila au sud du bassin contourne la ville d'El Khroub et se jette dans oued Rhumel au niveau de Djenane Zintoune (Ville de Constantine).

Par contre, oued Smendou prend sa source à l'est de la ville de Didouche Mourad et coule dans un sens est-ouest pour se joindre à oued Rhumel à environ 20 km de la confluence de ce dernier avec oued Endja (Mebarki, 2005).

- **Branche d'Oued Endja**

La branche d'oued Endja prend sa source près de Douar Tassadane, au nord-ouest de Ferdjioua et coule dans une direction sud-ouest-nord-est à travers les reliefs montagneux du Tell parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au nord. La superficie drainée par oued-Endja est moins importante que celle d'oued Rhumel mais cette dernière reste une unité

hydrologique très intéressante au regard des flux hydrologiques ainsi que de ses caractéristiques morphologiques et hydrogéologiques (Fig. 19).

Le long de son parcours d'environ 33 km cet oued voit grossir son débit régulièrement par de petits affluents qui se déversent de part et d'autre sur ses rives. Mais il est alimenté principalement par oued Kébir dont il constitue un important affluent, oued Kébir récolte la totalité des flux des versants sud de Beni Fodha, Dhemcha, et Djemila avant de se jeter directement dans oued Endja au niveau du village Tassadane (Sahli, 2012).

- **Oued Kébir-Rhumel (El-Kébir)**

Oued Kébir-Rhumel provient de la confluence des deux cours d'eau précédents (Endja et Rhumel) ; il coule du sud vers le nord sur une distance de 55 km. Ce grand cours d'eau coule dans une large vallée et véhicule la totalité des flux hydrologiques d'oued Rhumel et Endja franchit la chaîne numidique traverse ensuite les massifs de la petite Kabylie d'El Milia et de Collo (Fig. 19). Le long de son parcours oued El-Kébir reçoit aux environs d'El Milia, Oued Bousiaba ainsi que oued Irdjana à El-Ancer avant de se déverser dans la Mer Méditerranée (Tourki, 2019).

2.5.2. Principaux ouvrages de rétention d'eau

Le bassin d'oued Kébir-Rhumel englobe dans son périmètre plusieurs ouvrages de rétention conçus essentiellement pour des besoins d'alimentation en eau potable pour l'irrigation et la lutte contre les incendies. Après l'époque coloniale plusieurs barrages et retenues collinaires ont été projetés sur le site du bassin de Kébir-Rhumel.

D'après les derniers rapports de l'Agence des Bassins Hydrographiques on compte un nombre de 33 retenues collinaires et de 4 barrages. Par ailleurs, ces rapports montrent que le nombre des retenues collinaires en exploitation a fortement diminué depuis ces dernières décennies de presque 75 %.

L'envasement des digues est généralement la principale cause d'abandon de ces ouvrages. Cependant, les grands barrages réalisés depuis les années 80 restent les principaux ouvrages de rétention en exploitation à ce jour (ABH, 1999-2004).

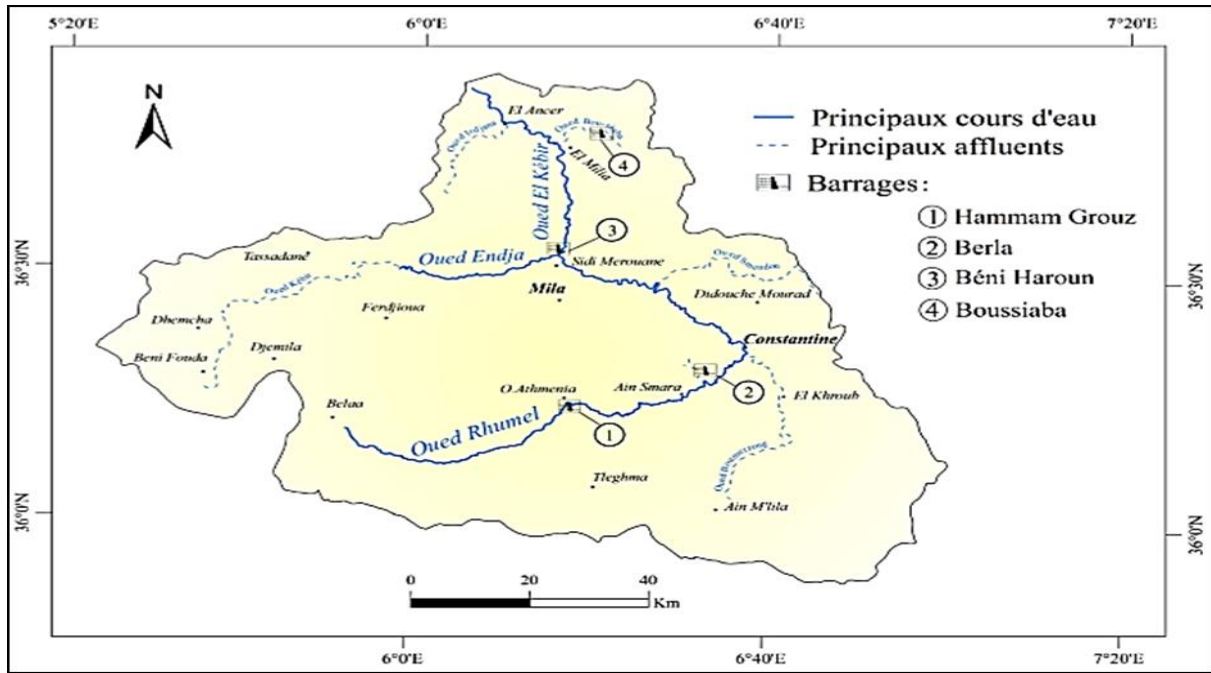


Figure 19 : principaux cours d'eau et ouvrages hydrauliques du bassin d'oued Kébir-Rhumel (Tourki, 2019).

- **Barrage de Hammam Grouz (oued El-Athmenia)**

Le site du barrage de Hammam Grouz se trouve à 45 km au sud-ouest de la Wilaya de Constantine exactement à 1,5 km au sud de la commune d'oued El-Athmenia (Fig. 19).

Le barrage a été mis en service en 1987, pour une capacité initiale à la retenue normale de 45 millions m³. Il est alimenté principalement par le bassin à l'amont d'oued Rhumel depuis sa source au nord-ouest de la Belaa. Son utilisation est essentiellement dédiée à l'alimentation en eau potable de la ville de Constantine avec un volume régularisé d'environ 9.55 hm³/an (ANBT, 2004).

- **Barrage de Berla (Ain-Smara)**

Le barrage de Berla se trouve à la commune d'Ain-Smara (Wilaya de Constantine) à environ 30 km au nord du barrage de Hamam Grouz (Fig. 19). La retenue de ce dernier est implantée sur l'un des affluents qui se jettent sur la rive gauche d'oued Rhumel. Mis en service en 1990, avec une capacité de seulement 3,2 hm³. Ce dernier est considéré selon la classification adoptée par les services algériens des ressources en eau comme un petit barrage (Elalmi, 2013).

Le petit barrage de Berla a été construit initialement pour des besoins d'irrigation avec un volume régularisé estimé à 0.25 Hm^3 puis orienté vers une fonction de renforcement en eau potable des quartiers ouest de la ville de Constantine (Mebarki, 2005).

- **Barrage de Béni-Haroun (Mila)**

Le barrage de Béni-Haroun mis en service en 2004, représente un complexe hydraulique stratégique en Algérie, le site du barrage est situé dans la Wilaya de Mila sur oued Endja et Rhumel à une quarantaine (40) de kilomètres de son embouchure dans la mer méditerranée. La retenue du barrage de Béni-Haroun est située à environ 4 km du confluent d'oued Rhumel et d'oued Endja (Fig. 19).

La capacité théorique de la retenue est estimée à 960 millions de m^3 , Ceci permet la régularisation d'environ 504 millions de m^3 par an destinés à l'alimentation en eau potable et l'irrigation des régions des hautes plaines du Constantinois et des Aurès à travers les Wilayas de Jijel, Constantine, Mila, Oum El-Bouaghi, Batna et Khenchela (ANBT, 2013).

- **Barrage de Boussiaba (El-Milia)**

Le barrage Boussiaba est situé sur oued Boussiaba à 7 km au nord-est de la commune d'El-Milia, dans la Wilaya de Jijel (Fig. 19). Cet ouvrage a été mis en service en 2000, dans le but d'utiliser les ressources naturelles pour satisfaire les besoins en eau potable de la région d'El-Milia et des localités environnantes. Il s'agit également de compléter les apports dans la retenue de Béni-Haroun. Le barrage de Boussiaba possède une capacité théorique de 120 millions de mètres cubes (Tourki, 2019).

2.5.3. Ressources hydriques

- **Ressources superficielles**

La ressource superficielle s'accroît progressivement en remontant vers le nord en relation avec le changement de l'étage climatique. On passe du semi-aride au subhumide puis à l'humide.

Les valeurs des potentialités superficielles à l'échelle des sous bassins d'oued Kébir et Rhumel, ont été représentées dans la Figure 20. La distribution spatiale de ces dernières montre que 40 % de sa superficie totale du bassin représente des secteurs à forte et à très forte potentialité ($> 130 \text{ hm}^3/\text{an}$) ; ces secteurs correspondent aux sous-bassins n°1 (oued Kébir Amont), n°2 (oued Endja) et n°7 (Kébir-Rhumel Maritime).

Le sous bassin côtier n°07 est le secteur le plus riche en ressources superficielles, avec un apport moyen annuel estimé à $367 \text{ hm}^3/\text{an}$ (Mebarki, 1982 ; ABH, 1999-2004).

Par ailleurs, la figure 20 montre que dans l'ensemble la disponibilité des ressources superficielles du bassin d'oued Kébir-Rhumel est modeste sur les régions sud des hautes plaines notamment au niveau des sous bassins n°3 (Rhumel amont) et n°5 (oued Boumerzoug) (fig. 20).

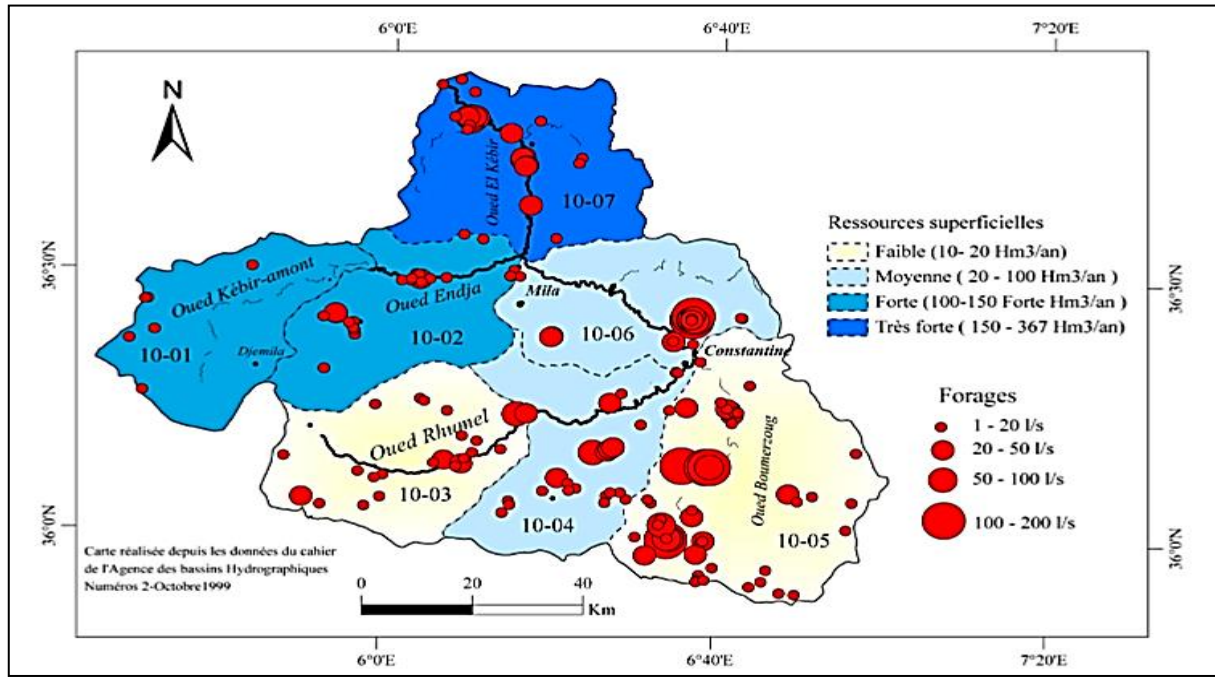


Figure 20 : ressources superficielles et points de captage dans le bassin d'oued Kébir-Rhumel (Tourki, 2019).

- **Ressources souterraines**

Le volume total des apports souterrains est estimé à environ 114 hm³/an, ce qui représente presque 7 fois les potentialités superficielles totales du même bassin. Par ailleurs, la distribution spatiale des ressources souterraines emmagasinées par les aquifères est loin d'être homogène à l'échelle des unités hydrologiques du bassin d'oued Kébir-Rhumel.

Les données recueillies sur les potentialités souterraines (Mebarki, 1982 ; ABH, 1999-2004), montrent que :

- ✓ la disponibilité en eaux souterraines par ordre d'importance est localisée dans les sous bassins n°05 (oued Boumerzoug), n°07 (Kébir-Rhumel Maritime) et n°04 (oued Rhumel Seguin).
- ✓ On compte environ 183 forages en exploitation réalisés pour satisfaire les besoins d'irrigation et d'alimentation en eau potable (Fig. 20).

2.6. Barrage de Béni-Haroun

2.6.1. Situation géographique et hydrologie

Le barrage de Béni-Haroun est la plus grande infrastructure hydraulique en Algérie et la seconde du continent africain (après le barrage d'Al-Sad El-Alli en Egypte). Il couvre une superficie de 5328 km², soit plus 60 % de la superficie totale du Bassin Kébir-Rhumel dont il fait partie érigé dans la région bien arrosée du tell oriental au Sud de laquelle se situent de grands centres urbains (Constantine, Batna, Khenchela...) et de vastes terres irrigables (hautes Plaines semi-arides) qui ne peuvent être satisfaits par les ressources locales (Mebarki, 2005).



Figure 21 : situation géographique du barrage de Béni-Haroun (Photo originale).

Le barrage de Béni-Haroun est situé sur l'oued el-Kebir dans la Wilaya de Mila, au Nord-Est de l'Algérie, à 36° 33' 19'' Nord et 6° 16' 11'' Est. Il est alimenté par deux bras principaux avec les oueds Rhumel et Endja (Kerdoud, 2006) (fig. 21).

Il est limité naturellement par :

- Au Nord-Ouest et Est, le bassin côtiers Constantinois Est et Centre ;
- Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois ;
- A l'Ouest, les bassins de l'Algérois- Hodna- Soummam ;
- A l'Est le bassin de la Seybouse (Kerdoud, 2006).

Cette entité hydrographique est composée de quatre (04) sous bassins versant (Tab. 11).

Tableau 11 : sous bassins et leurs superficies (Kerdoud, 2006).

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

Le barrage en quelques chiffres :

- Digue de 1,9 millions de m³ de BCR (béton compacté au rouleau) ;
- Hauteur au-dessus du lit : 114 m ;
- Longueur du barrage en crête : 710 m ;
- Largeur du barrage en crête : 8 m ;
- Largeur du barrage à la base : 100 m ;
- Longueur du lac : 35 km ;
- Un niveau d'eau variable en fonction des besoins d'alimentation en eau potable et agricole (côte d'exploitation : 200 m) (Kerdoud, 2006).

Partie 02 : Méthodes de prélèvements et d'analyses

2.1 Méthodes de prélèvements hydrologiques et choix des sites

2.1.1. Prélèvement hydrologique

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.



Figure 22 : station amont du barrage (branche d'oued Endja) (Photo originale).

L'échantillonnage se fait par le choix de plusieurs points à différentes profondeurs. Cinq (5) stations ont été échantillonnées à l'amont et l'aval du barrage de Béni-Haroun à choix raisonné (Fig. 22) durant le mois de janvier, février et mars 2022 pour mieux suivre les changements des nutriments (N, P et Si) et des facteurs physiques (débits d'eau, TDS, CE...).

Les vitesses d'écoulement au moment de prélèvement 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 aux 4 points de prélèvements. La conductivité électrique (CE) et le total des solides dissous (mg/l) ont été relevés à l'aide du multi-paramètre de terrain type WTW 197i.

Dans chaque site, 1,5 litres d'eau prélevées au milieu de la section mouillée ont été collectées pour l'analyse des éléments nutritifs. Les échantillons d'eaux destinés aux analyses sont mis dans des flacons en polyéthylène.

La filtration des échantillons s'effectue le jour même de prélèvement, les analyses chimiques se font dans les deux jours qui suivent dans laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux (LSNM) au centre universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila.

Tableau 12 : positionnement des points de prélèvement hydrologiques.

Bassin de rivière	Dénomination	Positionnement
Kebir-Rhumel	KR	/
Oued Endja à l'entrée du barrage de Béni-Haroun	AB-OE	36°29'44.8"N 6°05'33.7"E
Oued Radjas à l'entrée du barrage de Béni-Haroun	AB-OR	36°29'04"N 6°07'01.8"E
Oued El-Kotone à l'entrée du barrage de Béni-Haroun	AB-OK	36°28'22"N 6°21'12.2"E
Oued Rhumel à l'entrée du barrage de Béni-Haroun	AB-OR	36°28'41"N 6°26'18.9"E
Aval du barrage de Béni-Haroun	AV-B	36°35'09.3"N 6°16'34.9"E

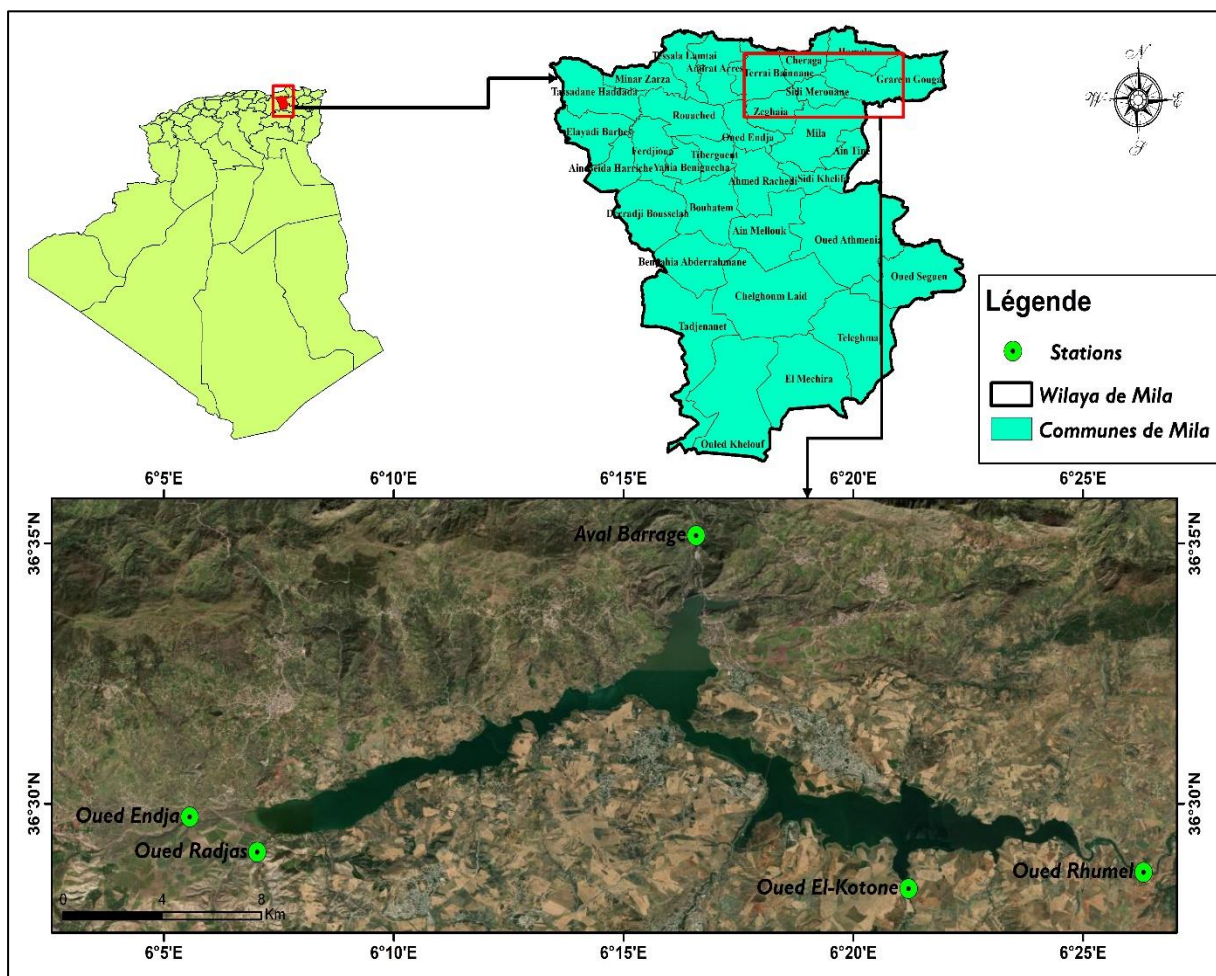


Figure 23 : points des prélèvements hydrologiques en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun (Photo originale).

2.2. Méthodes d'analyses biogéochimiques

Au laboratoire, après filtration des échantillons à travers des filtres en microfibres de verre Whatman GF/C (0,5 μm de porosité), les nutriments inorganiques ont été déterminés selon les méthodes standards colorimétriques décrites dans les différents manuels d'analyses des eaux (Tab. 13).

Tableau 13 : résumé des méthodes d'analyse des éléments nutritifs

(1 : Parsons *et al.*, 1989 ; 2 : Aminot et Chausspied, 1983).

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$)	Dosage spectrophot. : $\lambda = 630 \text{ nm}$	1
Nitrates (NO_3)	Dosage spectrophot. : $\lambda = 543 \text{ nm}$	1
Nitrites (NO_2)	Réduction des NO_3 en NO_2 et dosage spectrophot. des nitrites : $\lambda = 543 \text{ nm}$	1
Phosphate (PO_4)	Dosage spectrophoto. : $\lambda = 885 \text{ nm}$	2
Ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4	Dosage spectrophoto. : $\lambda = 810 \text{ nm}$	2

Notre travail consiste à déterminer la qualité de l'eau superficielle du barrage de Béni-Haroun 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. Nous avons suivi la qualité de l'eau à travers des analyses physico-chimiques qui ont été effectuées au niveau du laboratoire de recherche des Sciences Naturelle et Matériaux Centre Universitaire de Mila.

2.2.1. Dosage de l'azote ammoniacal (NH_4)

- **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 trisodique, 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.



Figure 24 : dosage de l'azote ammoniacal (NH_4) (Photo originale).

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 .

2.2.2. 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 25 : dosage des nitrates (NO_3) (Photo originale).

2.2.3. 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 26 : dosage des nitrites (NO_2) (Photo originale).

2.2.4. 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 rapport 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 $R^2 = 0,9974$



Figure 27 : dosage des phosphates (PO_4) (Photo originale).

2.2.5. Dosage des silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ 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.

$$DO = aC + b$$

Dont $a = 0,0097$, $b = 0,008$ et $R^2 = 0,9986$



Figure 28 : dosage des ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4 (Photo originale).

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION



1. Evaluation des paramètres physiques des eaux en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun

1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Durant la période d'étude (janvier, février et mars 2022), les valeurs du potentiel d'hydrogène (pH) des eaux introduites au barrage de Béni-Haroun dans le mois de janvier 2022 (branche d'oued Endja ; oued El-Kotone ; oued Radjas et oued Rhumel) varient plus au moins entre 7 à 8 ; entre 7,6 à 8,45 dans le mois de février et 8,17 à 8,9 dans le mois de mars 2022 (tab. 14). La variation de pH dans les eaux superficielles est principalement reliée avec la qualité de l'apport atmosphérique en eau et dans une moindre mesure la décharge des rejets industriels. En aval du barrage de Béni-Haroun la valeur de pH est variée entre 8,16 à 8,86.

1.2. Conductivité électrique (CE)

Comme la montre dans le tableau 15, les valeurs de la conductivité électrique est significativement variable dans l'ensemble des stations. Dans le mois de janvier 2022, en amont du barrage de Béni-Haroun, la valeur la plus forte a été remarquée au niveau d'Oued Radjas (5350 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et la valeur la plus faible a été notée dans la station d'oued El-kotone (1481 $\mu\text{s}/\text{cm}$). En aval du barrage de Béni-Haroun la valeur du CE égale à 1550 $\mu\text{s}/\text{cm}$. On remarque dans le mois de février 2022 qu'il y a une augmentation des valeurs de CE dans les deux stations oued Endja et oued Radjas ce qui indique la forte charge ionique, par contre il y a une diminution dans les valeurs de CE au niveau des stations oued El-kotone, oued Rhumel et en aval du barrage de Béni-Haroun. Egalement dans l'ensemble des stations de l'amont et l'aval du barrage de Béni-Haroun durant le mois de mars, les valeurs de la CE sont diminuées (tab. 14).

Le changement des teneurs de la conductivité électrique d'une station à l'autre est dû à la charge positive et négative des ions, lorsque l'eau contient plus des ions comme Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée.

Les rejets contaminés augmentent la conductivité de l'eau, l'usage des sels déglacant dans le bassin versant est une cause fréquente de la conductivité anormalement élevée des eaux de surface.

1.3. Taux des sels dissous (TDS)

En termes de TDS, les résultats obtenus dans le mois de janvier 2022 est significativement variable entre les stations amont du barrage de Béni-Haroun. La plus forte

valeur a été remarquée au niveau d'oued Radjas (3340 $\mu\text{s/cm}$) et la plus faible valeur a été notée dans la station d'oued El-Kotone (795 $\mu\text{s/cm}$). Alors que le reste des résultats au niveau de station (oued Endja et oued Rhumel) montrent des valeurs fluctuent entre (811 $\mu\text{s/cm}$ et 1170 $\mu\text{s/cm}$ respectivement). La valeur de TDS au niveau de l'aval du barrage de Béni-Haroun est de 887 $\mu\text{s/cm}$. Dans le mois de février 2022 il y a une augmentation des valeurs en TDS dans la branche d'oued Endja et oued Radjas, par contre il y a une diminution dans les deux reste des stations : oued El-kotone, oued Rhumel et en aval du barrage (782 $\mu\text{s/cm}$; 1140 $\mu\text{s/cm}$ et 826 $\mu\text{s/cm}$ respectivement). Également, les valeurs en TDS réduisent durant le mois de mars 2022 (tab. 14). La modification dans la composition de la teneur en TDS est due à la nature géologique des terrains lessivés, la charge des eaux de pluies, les eaux d'irrigation (chargés en fertilisants) et les rejets domestiques.

1.4. Oxygène dissous (OD)

L'Oxygène dissous est un paramètre très variable dans le temps et notamment à l'échelle d'une journée (variation journalière) du fait de l'influence de l'intensité lumineuse sur la production d'oxygène par le végétaux (photosynthèse). Le tableau 14 représente la variation de l'Oxygène dissous au cours de la période d'étude, en amont du barrage (branche d'oued Endja ; oued El-Kotone et oued Rhumel), la teneur en OD est approximativement stable. Par contre au niveau d'oued Radjas il y a un balancement de la valeur d'OD au cours de la période d'étude dont les valeurs fluctuent entre (34,6 mg /L et 39,6 mg/L). En aval du barrage de Béni-Haroun la valeur de l'OD est diminuée pendant la durée d'étude (tab. 14).

La concentration en oxygène dissous dans l'eau résulte a des paramètres physiques (température, salinité, mélange de la masse d'eau), chimiques et biologiques (échange à l'interface terre-mer (gain ou perte) ; diffusion et mélange au sien de la masse d'eau, photo-oxydation (perte), respiration des microorganismes aquatiques (perte), nitrification (perte) et la photosynthèse (gain).

1.5. Débit

Le débit des cours d'eau introduites au barrage de Béni-Haroun n'est pas régulier sur tout la saison humide, les précipitations sur tout le bassin versant d'oued Kebir-Rhumel influencent directement sur les débits de nos cours d'eau.

Les résultats présentés dans le tableau 14 indiquent que les débits sont significativement variables entre les stations de l'amont du barrage de Béni-Haroun par suite de spécificité de chaque sous bassin. La plus forte valeur a été constatée au niveau d'oued

Rhumel (750 m³/s). Par contre la plus faible valeur a été enregistrée dans la station d'oued Radjas (20 m³/s). Alors que les débits dans la branche (oued-Endja et oued El-Kotone) changent entre (61,425 m³/s et 136 m³/s) respectivement. En aval du barrage de Béni-Haroun le débit égale à 225 m³/s. dans le mois de février 2022, On remarque une diminution remarquable du débit pour l'ensemble des stations en amont du barrage et reste stable dans la station aval du barrage. Cependant, une augmentation d'avantage dans le mois de mars 2022 aux branches (oued Endja, oued Radjas et oued El-Kotone). Egalement, le débit est augmenté au niveau de l'aval du barrage de Béni-Haroun (250 m³/s) par rapport au mois de janvier et février 2022.

Tableau 14 : variations des paramètres physiques en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun.

	Sites	PH	CE	TDS	OD	Débit
26-Janvier-2022	Oued Endja	7,9	1614	811	40,8	136
	Oued Radjas	7,2	5350	3340	34,6	20
	Oued El-Kotone	7,99	1481	795	40,6	61,425
	Oued Rhumel	7,14	2200	1170	33,4	750
	Aval Barrage	8,16	1550	887	40,7	225
26-Février-2022	Oued Endja	8,45	1788	936	39,3	112,88
	Oued Radjas	7,6	7180	3870	39,6	15,2
	Oued El-Kotone	8,3	1472	782	40	42,33
	Oued Rhumel	8,2	2100	1140	33,8	358,6
	Aval Barrage	8,4	1548	826	40,2	225
26-Mars-2022	Oued Endja	8,9	1413	753	40,8	384,61
	Oued Radjas	8,17	5850	3180	36,6	20
	Oued El-Kotone	8,9	1252	670	40,7	56,25
	Oued Rhumel	8,63	1809	983	34,6	312,5
	Aval Barrage	8,86	1245	684	37,2	250

2. Distribution de N, P et Si en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun

Durant la période d'étude (janvier ; février et mars 2022), à l'entrée du barrage de Béni-Haroun, les teneurs moyennes de l'azote inorganique dissous (NID : $\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) dans l'ensemble des stations fluctuent entre (22,26 μM et 70,57 μM) avec une moyenne de l'ordre de 48,41 μM . Dans le mois de janvier 2022, la branche d'oued Rhumel (amont barrage) montre la valeur la plus élevée (70,58 μM) par contre la valeur la plus faible s'enregistre dans la branche d'oued Radjas et oued Endja (48,01 μM et 52,39 μM respectivement) ce qui indique que la branche d'oued Rhumel plus exposé aux activités anthropogéniques compare aux autres branches (amont du barrage) (fig. 30). En aval du barrage de Béni-Haroun les concentrations de l'azote inorganique dissous varient entre (14,78 μM et 23,31 μM) avec une moyenne (20,12 μM) (tab. 15), la diminution des teneurs en azote inorganique dissous en aval du barrage se traduit par l'effet du barrage (activités biologique interne).

Néanmoins, à l'entrée du barrage de Béni-Haroun on remarque une augmentation des concentrations de l'azote inorganique dans le mois de février 2022 (teneurs varient entre 14,78 μM et 132,70 μM avec une moyenne de 79,70 μM) par rapport au mois de janvier 2022 (teneurs fluctuent entre 22,26 μM et 70,58 μM avec une moyenne de l'ordre de 49,21 μM) et par apport d'un site à l'autre (tab. 15). En aval du barrage, on observe des valeurs légèrement important dans le mois de février 2022 (14,78 μM) par rapport au mois de janvier 2022 (22,26 μM). A l'inverse de mois de janvier et février 2022, les concentrations de NID ont diminuent remarquablement dans le mois de mars 2022 (teneurs varient entre 51,26 μM et 122,90 μM avec une moyenne de l'ordre de 83,86 μM), seulement la station d'oued Radjas dans le mois de janvier (48,01 μM). Le taux de variation des concentrations en azote inorganique dissous (NID) de l'amont ver l'aval dans l'ensemble des stations au cours de la période d'étude est de 19,57 % à 31,23 % selon les caractéristiques de chaque station en amont par rapport l'aval (fig. 30).

En termes d'ammonium (NH_4), à l'amont du barrage de Béni-Haroun, les concentrations en NH_4 varient entre (22,51 μM et 32,01 μM) avec une moyenne de l'ordre de (27,23 μM), par contre les valeurs les plus faibles trouvent dans la station aval du barrage avec des teneurs fluctuent entre (4,38 μM et 13,11 μM) et une moyenne de l'ordre de (9,86 μM) (tab. 15). Les fortes teneurs en amont du barrage s'expliquent par l'apport excessif des rejets domestique, agricole et dans une moindre mesure industrielle, dont les teneurs varient d'un site à l'autre selon le degré de l'exposition de chaque site aux activités de l'homme.

Les nitrates (NO_3) dans l'ensemble des stations amont du barrage montrent des teneurs importantes tout au long de la saison (varient entre 21,42 μM et 74,29 μM) comparée à la station aval du barrage (8,84 μM et 10,79 μM) (fig. 29). La présence des nitrates avec des concentrations élevées est due principalement par la nature des terrains drainés par les eaux superficielles, des engrais chimiques et de certaines industries et de zones d'élevage.

Également les teneurs en nitrites (NO_2) dans l'ensemble des stations étudiées ont diminué de l'amont vers l'aval du barrage selon la station (fig. 29). Les nitrites présentent souvent de faible concentration dans les eaux et proviennent d'une oxydation incomplète de l'ammonium, soit d'une réduction de nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant ou minéralisation.

En termes d'ortho-phosphates (PO_4), les eaux introduites au barrage de Béni-Haroun montrent des teneurs plus au moins importants (varient entre 0,65 μM et 5,32 μM) par contre en aval du barrage les teneurs en PO_4 fluctuent entre (0,02 μM et 0,32 μM), dont les valeurs les plus élevées en amont du barrage s'enregistrent dans la branche d'oued Rhumel et Radjas (5,32 μM et 5,02 μM respectivement). La variation des teneurs en PO_4 dans les eaux entrent au barrage de Béni-Haroun liée principalement à l'utilisation intensives des engrais, la nature des terrains traverse et à la décomposition de la matière organique. La branche d'oued Endja montre la valeur la plus faible en PO_4 en amont du barrage ce qui indique une faible activité anthropogénique sur la branche d'oued Endja (fig. 30).

La distribution des Ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ en amont du barrage de Béni-Haroun varient entre (76,10 μM et 176,06 μM) avec une moyenne de l'ordre de (130,08 μM) dont la valeur maximale se trouve dans la branche d'oued El-Kotone (176,06 μM). En l'aval du barrage les teneurs de silicium fluctuent entre (57,21 μM et 128,85 μM) et une moyenne de l'ordre de (76,59 μM) (tab. 15). Les fortes concentrations en $\text{Si}(\text{OH})_4$ est due à l'altération des roches et la nature des terrains drainés par les eaux superficielles.

Les rapports de stœchiométrie de Redfield ($\text{Si} : \text{N} : \text{P}$) dans l'ensemble des stations étudiées sont plus au moins déséquilibrés ce qui indique un déséquilibre dans l'apport en nutriment dans les eaux par suite de l'activité de l'homme (tab. 15).

Tableau 15 : variations des teneurs en nutriments (μM) et les rapports stœchiométrie de Redfield ($\mu\text{M}/\mu\text{M}$) en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun.

Sites		PO_4	NH_4	NO_2	NO_3	SiO_4	NID	Si : N	N : P	Si : P	
Amont barrage	Oued Endja	Moy	0,65	22,51	8,57	33,33	76,10	64,41	3,38	34,63	117,07
		Min	0,44	2,21	5,96	12,63	13,29	52,39			
		Max	0,83	34,38	10,95	46,75	116,89	80,94			
	Oued Radjas	Moy	5,02	31,08	19,41	27,79	131,05	78,28	4,21	6,19	26,1
		Min	3,48	9,80	3,68	9,29	92,77	48,01			
		Max	7,46	48,41	44,11	47,51	155,24	101,41			
	Oued El-Kotone	Moy	2,18	23,31	5,20	74,29	176,06	102,80	7,55	10,69	80,76
		Min	1,03	7,39	0,36	24,47	152,14	52,82			
		Max	3,15	34,56	12,87	113,13	207,81	132,70			
	Oued Rhumel	Moy	5,32	32,01	15,42	21,42	137,10	68,84	4,28	6,01	25,77
		Min	3,92	15,88	8,41	9,01	106,79	51,26			
		Max	6,99	48,95	26,37	42,03	163,70	84,68			
Aval Barrage	Moy	0,18	9,86	0,26	10	87,55	20,12	8,87	54,77	486,38	
	Min	0,02	4,38	0,05	8,84	57,21	14,78				
	Max	0,32	13,11	0,43	10,79	128,85	23,31				

Si : N = $\text{Si}(\text{OH})_4/\text{NH}_4$; N : P = NH_4/PO_4 ; Si : P = $\text{Si}(\text{OH})_4/\text{PO}_4$

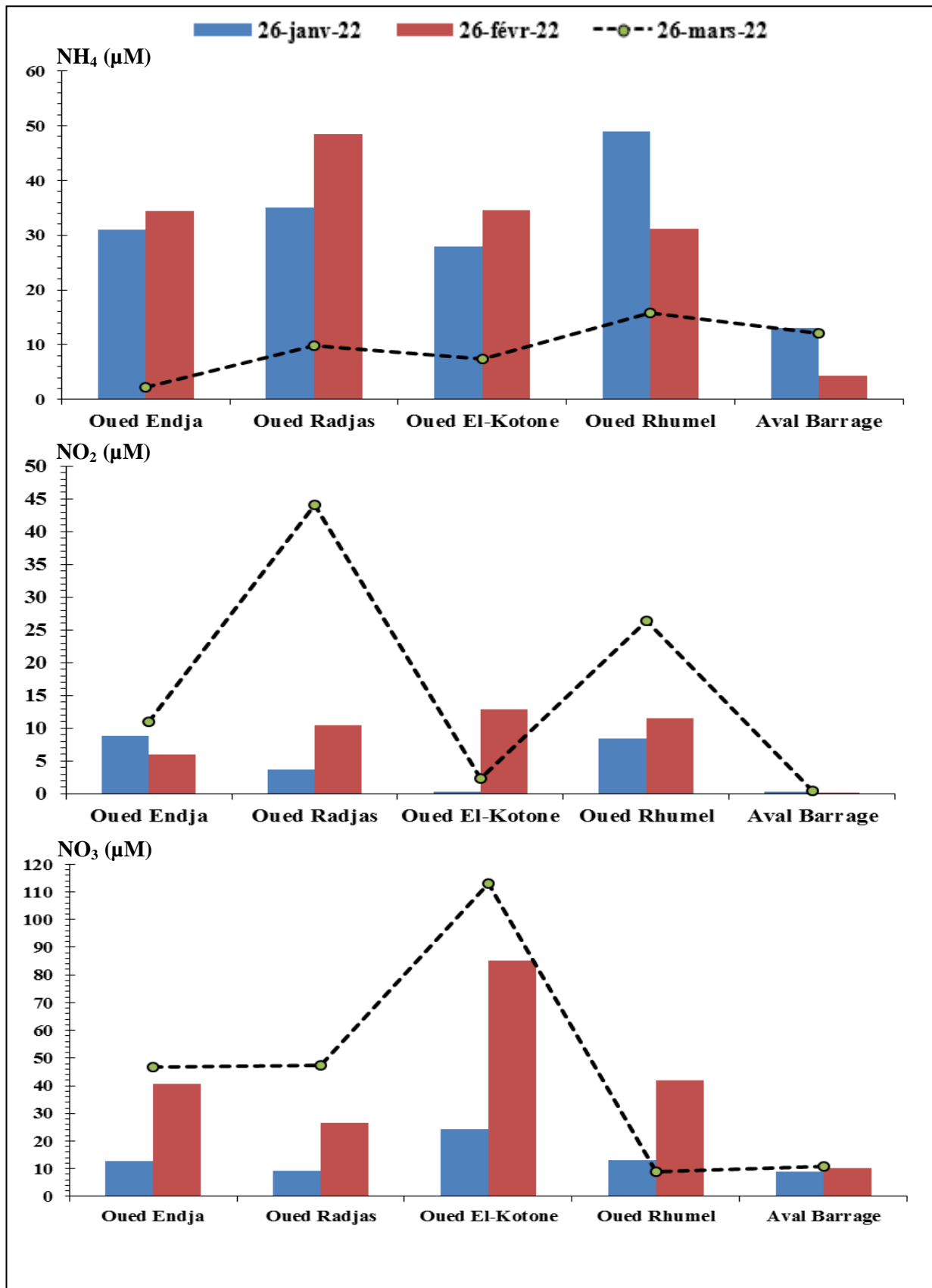


Figure 29 : variations des teneurs de l'azote inorganique dissous (NH_4 ; NO_3 et NO_2) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun.

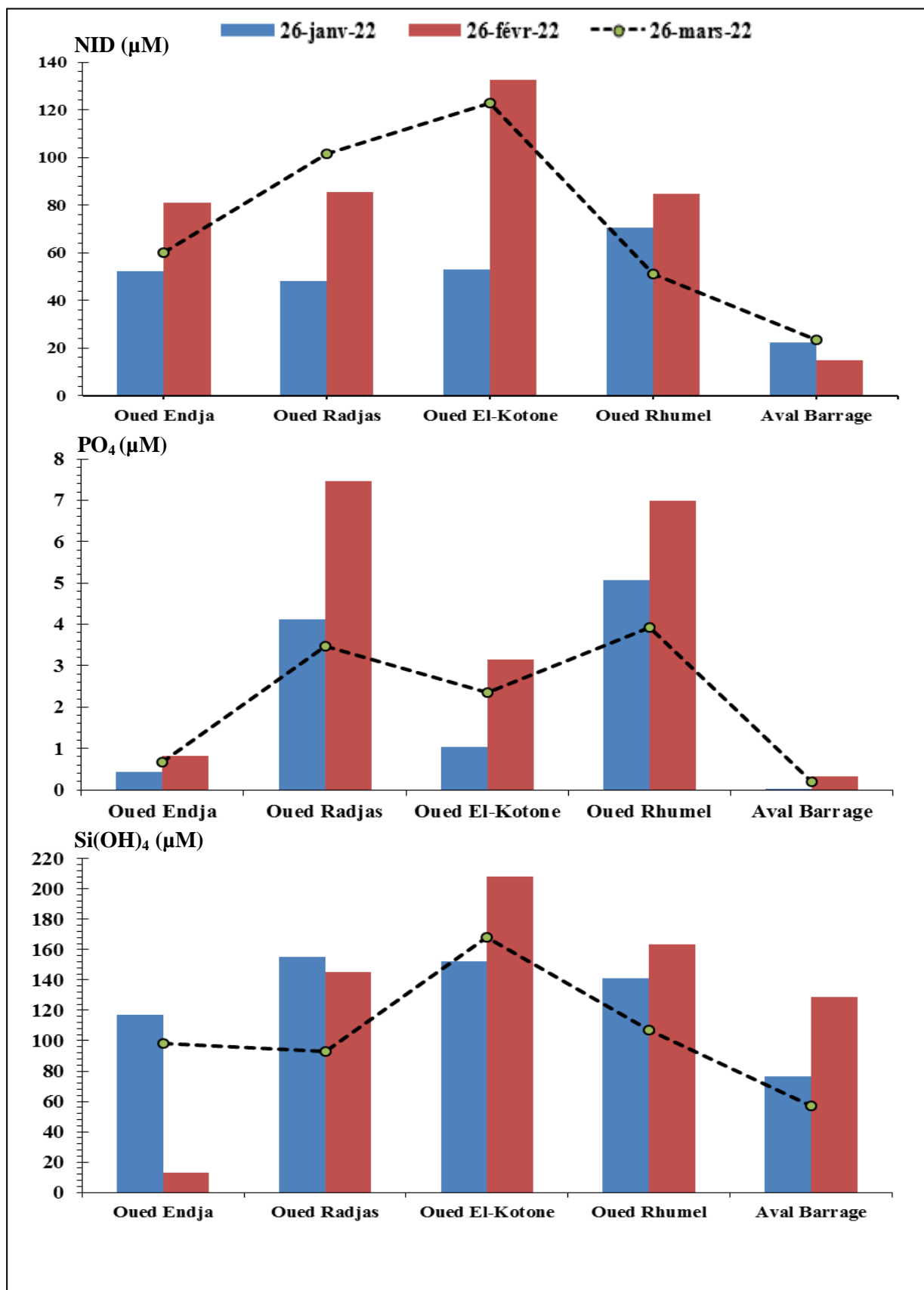


Figure 30 : variations des teneurs en nutriments (NID ; PO₄ et SiO₄) en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun.

3. Flux de N, P et Si en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun

Durant la période (janvier ; février et mars 2022), les décharges en azote inorganique dissous (NID) au barrage Béni-Haroun compris entre (0,029 t/j et 91,30 t/j) avec un flux totale de l'ordre de 95,15 t/j. Dans l'ensemble des stations en amont du barrage, le flux le plus important s'enregistre dans la branche d'oued Rhumel avec un décharge de 2,97 t/j par rapport les autres branches (oued Endja ; Radjas et El-Kotone). En aval du barrage de Béni-Haroun, le barrage déversé des quantités très faible en azote inorganique dissous (NID= 0,45 t/j), avec un pourcentage de rétention de 10,43 % (équivalent= 3,9 t/j) (tab. 16).

L'azote ammoniacal (NH_4) en amont du barrage de Béni-Haroun montre un décharge important dans la branche d'oued Rhumel peut aller jusqu'à 63,94 t/j.

A l'aval du barrage de Béni-Haroun, le barrage déchargé des quantités très faible (8,41 t/j), avec un pourcentage de rétention de 10,37 % (équivalent = 72,66 t/j). Les nitrates (NO_3) dans l'ensemble des stations en amont du barrage montrent une décharge importante toutes ou longue de la saison (33,62 t/j) au niveau d'oued Rhumel par rapport à les autres branches, comparé à la station en aval du barrage qui dégage 8,48 t/j avec un pourcentage de rétention de 10,65 %, également les décharges en nitrites au niveau de la branche d'oued Rhumel toujours enregistrent un flux important de l'ordre 22,57 t/j (tab. 16).

En termes d'Ortho-phosphates (PO_4), dans l'ensemble des stations amont du barrage, le flux le plus important s'enregistrent dans la branche d'oued Rhumel par rapport aux autres branches avec une décharge de 20,17 t/j. Par contre en aval du barrage de Béni-Haroun on remarque des quantités très faible en ortho-phosphate (0,34 t/j), avec un pourcentage de rétention de 1,50% (équivalent = 22,38 t/j).

Les quantités des Ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ dans l'ensemble des stations amont du barrage est très forts où le flux le plus important s'enregistre au niveau de la branche d'oued Rhumel (487,22 t/j), par contre en aval du barrage, le flux moyennes est de 146,42 t/j, avec un pourcentage de rétention de 21,04 % (équivalent = (549,31 t/j) (tab. 16).

Tableau 16 : flux des nutriments en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun.

	Site	Date-P	P-PO ₄	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Si-Si(OH) ₄	NID
Amont Barrage	Oued Endja	26/01/2022	0,16	5,1	1,45	2,97	38,45	0,26
		26/02/2022	0,25	4,7	0,81	5,54	3,62	0,22
		26/03/2022	0,70	1,02	5,10	21,74	0,46	91,30
	Oued Radjas	26/01/2022	0,22	0,84	0,10	0,22	7,51	0,02
		26/02/2022	0,30	0,90	0,20	0,50	5,33	0,03
		26/03/2022	0,03	0,23	1,06	1,15	4,48	0,03
	Oued El-Kotone	26/01/2022	0,16	2,10	0,02	1,81	22,60	0,10
		26/02/2022	0,35	1,76	0,65	4,36	21,28	0,10
		26/03/2022	0,35	0,50	0,87	7,70	22,90	0,08
	Oued Rhumel	26/01/2022	10,20	44,41	7,62	11,98	255,50	1,73
		26/02/2022	6,71	13,52	4,97	18,23	142,01	0,70
		26/03/2022	3,27	6,00	9,96	3,40	80,73	0,54
Aval Barrage	26/01/2022	0,01	3,56	0,08	2,40	41,68	0,14	
	26/02/2022	0,20	1,19	0,01	2,81	70,13	0,11	
	26/03/2022	0,13	3,65	0,12	3,26	34,60	0,18	

4. Evaluation des paramètres physiques des eaux de pluies dans la région rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) et la région urbaine (Mila centre et Constantine centre)

4.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Au cours de notre période d'étude (janvier ; février et mars 2022), le pH dans les eaux de pluies de la zone urbaine est significativement variable durant les trois mois de notre période d'étude. La valeur la plus forte a été constatée au mois de janvier dans la région de Mila centre égale à 8,21 par contre la valeur la plus faible est enregistrée au mois de mars pour la région urbaine de Constantine centre avec une valeur de 7,23. La variation de potentiel d'hydrogène est liée principalement avec la qualité de l'aire et les polluants atmosphérique. Par contre le potentiel d'hydrogène de la zone rurale est autour de 7.

4.2. Conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans le tableau 17 indiquent qu'il y a une variabilité significative entre les deux régions Mila centre et Constantine centre de la zone urbaine. La valeur la plus élevée a été constatée au mois de janvier dans la région de

Constantine centre (168 $\mu\text{s}/\text{cm}$) par contre la valeur la plus faible est enregistrée au mois de mars dans la région de Mila centre (50,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

Egalement les valeurs de la CE dans la zone rurale est de 365 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans la région de Tassadane Haddada au mois de février et 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au mois de janvier dans la région de Terrai Bainen.

4.3. Taux des sels dessous (TDS)

Comme la montre dans le tableau 17, les valeurs des sels dessous est changent entre les deux régions de la zone urbaine. La valeur la plus forte a été remarquée au mois de janvier dans la région de Constantine centre (90 $\mu\text{s}/\text{cm}$) par contre la valeur la plus faible est enregistrée au mois de mars pour la région de Mila centre (26 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

Egalement pour la zone rurale, la variabilité est significative dont les valeurs de TDS changent entre 175 $\mu\text{s}/\text{cm}$ dans la région de Tassadane Haddada au mois de février et 10,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au mois de janvier dans la région de Terrai Bainen.

4.4. Oxygène dissous (OD)

En termes de l'OD, on remarque qu'il y a une variabilité dans les valeurs de l'Oxygène dissous de la zone urbaine : Mila centre et Constantine centre durant les trois mois de notre période d'étude. La valeur la plus forte et la plus faible est constatée au Mila centre (35,5 mg/L dans le mois de janvier et 13,7 mg/L dans le mois de mars respectivement).

Egalement la zone rurale : Terrai Bainen et Tassadane Haddada, on remarque qu'il y a un balancement dans les valeurs de l'Oxygène dissous dont la valeur la plus forte et la plus faible est remarquée au Tassadane Haddada (38,6 mg/L et 12,2 mg/L au mois de mars respectivement) (tab. 17).

Tableau 17 : paramètres physiques des eaux de pluies dans la région rurale (T. Bainen et T. Haddada) et la région urbaine (Mila centre et Constantine centre).

Sites	Date-P	PH	CE	TDS	OD			
Zone urbaine	Mila centre	07/01/2022	7,76	80,1	43,6	35,5		
		08/01/2022	7,4	103,7	57,7	32,2		
		10/01/2022	7,88	97,3	51,3	31,3		
		12/01/2022	8,02	90,6	47	31,8		
		28/02/2022	8,21	120,5	64,4	34,3		
		06/03/2022	7,76	72,4	38,9	24,8		
		21/03/2022	7,95	50,2	26	13,7		
		22/03/2022	7,77	106	57	25,6		
	Constantine centre	12/01/2022	7,3	168	90	17,2		
		28/02/2022	7,28	107,5	58,5	14		
		05/03/2022	7,23	68,8	37,6	17,1		
		12/03/2022	7,88	104	55,4	28,7		
		Zone rurale	Tassadane Haddada	06/01/2022	7,33	45,7	24,5	21,2
				11/01/2022	7,4	23,6	13	17,1
01/02/2022	6,96			59,5	31	25,5		
02/02/2022	7,4			356	175	35,4		
05/03/2022	7,1			43,5	22,6	28,31		
12/03/2022	7,71			45,9	24,4	20,7		
17/03/2022	7,73			197,7	104	38,6		
18/03/2022	7,84			24,3	12,4	12,2		
19/03/2022	7,72		103,4	54,4	20,9			
20/03/2022	7,88		54	27,6	12,9			
Terrai Bainen	08/01/2022	7	48,8	23,9	21,2			
	11/01/2022	6,6	20	10,4	14			
	12/01/2022	6,99	26,5	14,2	16,9			
	01/03/2022	7,6	23,9	12,9	15,1			
	04/03/2022	7,26	34,3	18,2	19,5			
	18/03/2022	8,02	195,6	107	24,6			
	19/03/2022	8,08	147,3	85,2	31,1			

5. Apports atmosphériques de l'azote, du phosphore et du silicium dans la région rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) et la région urbaine de (Mila centre et Constantine centre)

Durant la période d'étude (Janvier; février et mars 2022), les teneurs en azote inorganique dissous (NID) dans les eaux de pluies de la zone urbaine de Mila centre est varié entre (3,85 μM et 53,44 μM) avec une moyenne de l'ordre de 22,12 μM , et dans la région

urbaine de Constantine contre les teneurs compris entre (19,55 μM et 51,59 μM) avec une moyenne de 35,03 μM .

Les eaux de pluies dans la zone rurale Terrai Bainen et Tassadane Haddada présentent un apport atmosphérique en azote inorganique dissous (NID) plus au moins faible dont les concentrations fluctuent respectivement entre (11,17 μM et 27,06 μM) avec une moyenne de 19,06 μM et (9,43 μM et 46,95 μM) avec une moyenne de 28,96 μM (tab. 18).

L'ammoniac (NH_4) dans la zone urbaine de Mila centre contient des teneurs changent entre (0,88 μM et 33,57 μM) avec une moyenne de 10,30 μM et entre (1,48 μM et 5,62 μM) dans la région urbaine de Constantine avec une moyenne de 3,83 μM .

L'apport atmosphérique en NH_4 dans la région rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) est plus au moins faible, dont les concentrations changent entre (2,21 μM et 17,39 μM) avec une moyenne de 7,92 μM pour la région Terrai Bainen et (1,85 μM et 23,33 μM) avec une moyenne de 10,87 μM pour la région de Tassadane Haddada (tab. 18).

En termes de nitrates (NO_3), les concentrations des nitrates dans les eaux de pluies de la région urbaine de Mila centre sont importants dont les valeurs varient entre (2,71 μM et 17,37 μM) avec une moyenne de 10,20 μM et entre (16,14 μM et 40,48 μM) avec une moyenne de 26,11 μM pour la région urbaine de Constantine centre.

Contrairement, la région rurale de Terrai Bainen et Tassadane Haddada montre des apports atmosphériques faibles en nitrates, dont les teneurs fluctuent entre (3,08 μM et 16,80 μM) et une moyenne de 10,03 μM et (4,89 μM et 41,61 μM) avec une moyenne de 16,56 μM respectivement. Pour les nitrites (NO_2), l'apport atmosphérique dans la région urbaine (Mila centre et Constantine centre) est plus élevé par rapport à la région rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) (tab. 18).

En termes d'ortho-phosphates (PO_4), les eaux de pluies de la région urbaine Mila centre contient des teneurs en PO_4 varient entre (0,15 μM et 0,73 μM) avec une moyenne de 0,49 μM et entre (0,35 μM et 1,03 μM) avec une moyenne de 0,59 μM dans la région urbaine Constantine.

D'autre part, les teneurs en PO_4 de la région rurale fluctuent entre (0,02 μM et 0,24 μM) avec une moyenne de 0,10 μM pour la région de Terai Bainen et entre (0,02 μM et 0,97 μM) et une moyenne de 0,33 μM pour la région de Tassadane Haddada (tab. 18).

L'apport atmosphérique en $\text{Si}(\text{OH})_4$ au niveau de la région urbaine de Mila centre et Constantine centre est importants (22,11 μM et 35,03 μM respectivement) par rapport à la région rurale Terrai Bainen et Tassadane Haddada (19,06 μM et 28,95 μM respectivement) (tab. 18).

La modification de la concentration des nutriments dans les eaux de pluies de la région urbaine (Mila centre et Constantine centre) et rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) est due principalement par l'effet de l'homme qui se traduit par leurs activités agricoles et industrielles (pollution atmosphérique).

Tableau 18: variations des teneurs en nutriments (μM) et les rapports stœchiométrie de Redfield ($\mu\text{M}/\mu\text{M}$) dans les eaux de pluies.

Région		PO_4	NH_4	NO_2	NO_3	$\text{Si}(\text{OH})_4$	NID	Si : N	N : P	Si : P	
Zone urbaine		Moy	0,49	10,30	1,62	10,20	28,31	22,12			
	Mila centre	Min	0,14	0,88	0,26	2,71	2,67	3,85	2,74	21,02	57,77
		Max	0,73	33,57	4,66	17,37	52,26	53,44			
		Moy	0,59	3,83	5,10	26,11	14,38	35,03			
	Constantine centre	Min	0,35	1,48	1,92	16,14	2,04	19,55	3,75	6,49	24,37
		Max	1,03	5,62	7,60	40,48	39,58	51,59			
Moy		0,10	7,92	1,11	10,03	19,01	19,06				
Zone rurale	Terrai Bainen	Min	0,02	2,21	0,07	3,08	0,61	11,17	2,40	79,2	190,1
		Max	0,24	17,39	4,68	16,80	70,61	27,06			
		Moy	0,33	10,87	2,61	16,56	7,92	28,96			
	Tassadane Haddada	Min	0,02	1,85	0,33	4,89	0,51	9,43	0,72	32,93	24
		Max	0,97	23,33	16,15	41,61	19,37	46,95			
		Moy									

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

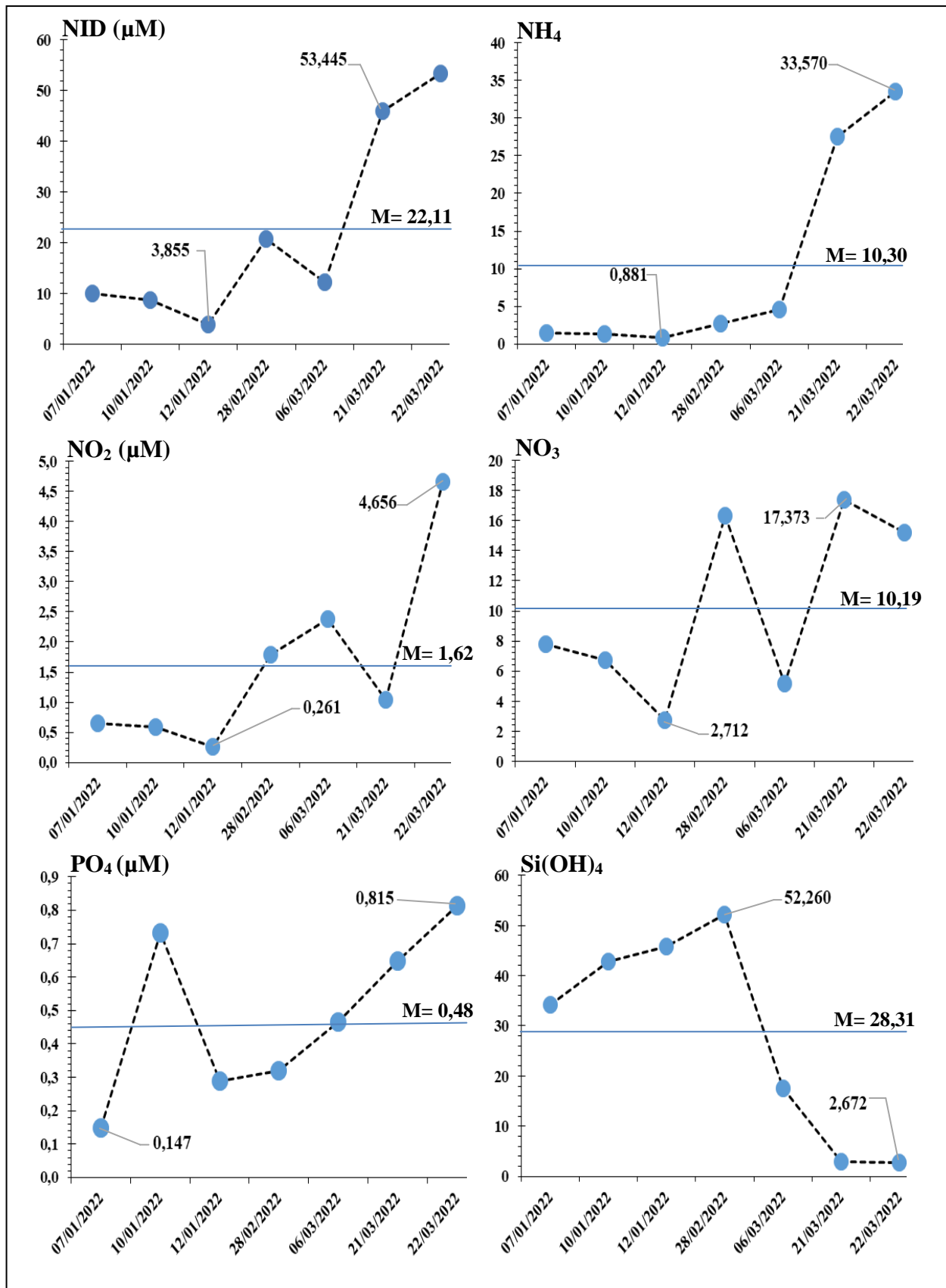


Figure 31 : variation des teneurs en nutriments des eaux de pluies dans la région urbaine de Mila centre.

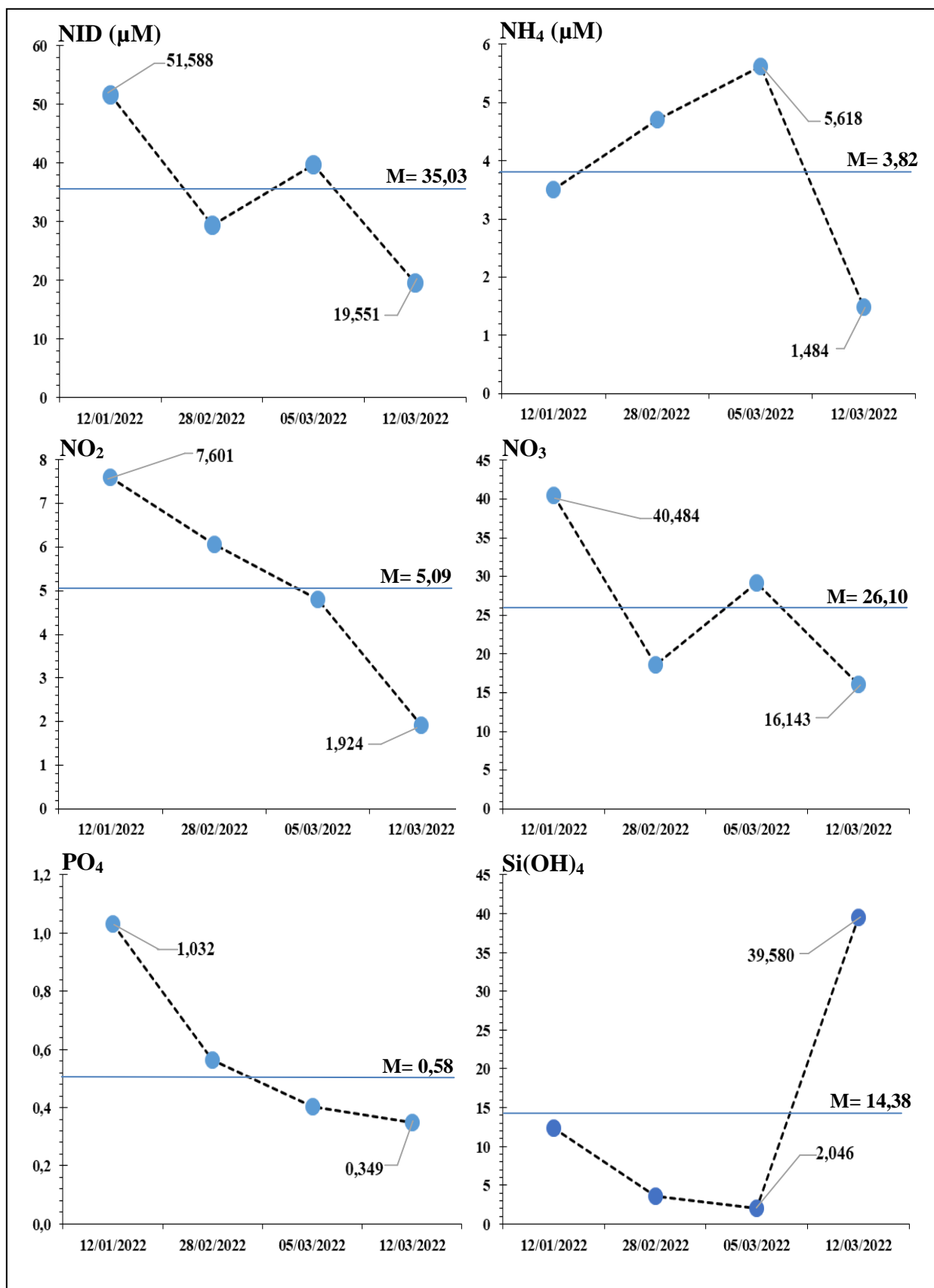


Figure 32 : variations des teneurs en nutriments des eaux de pluies dans la région urbaine de Constantine centre.

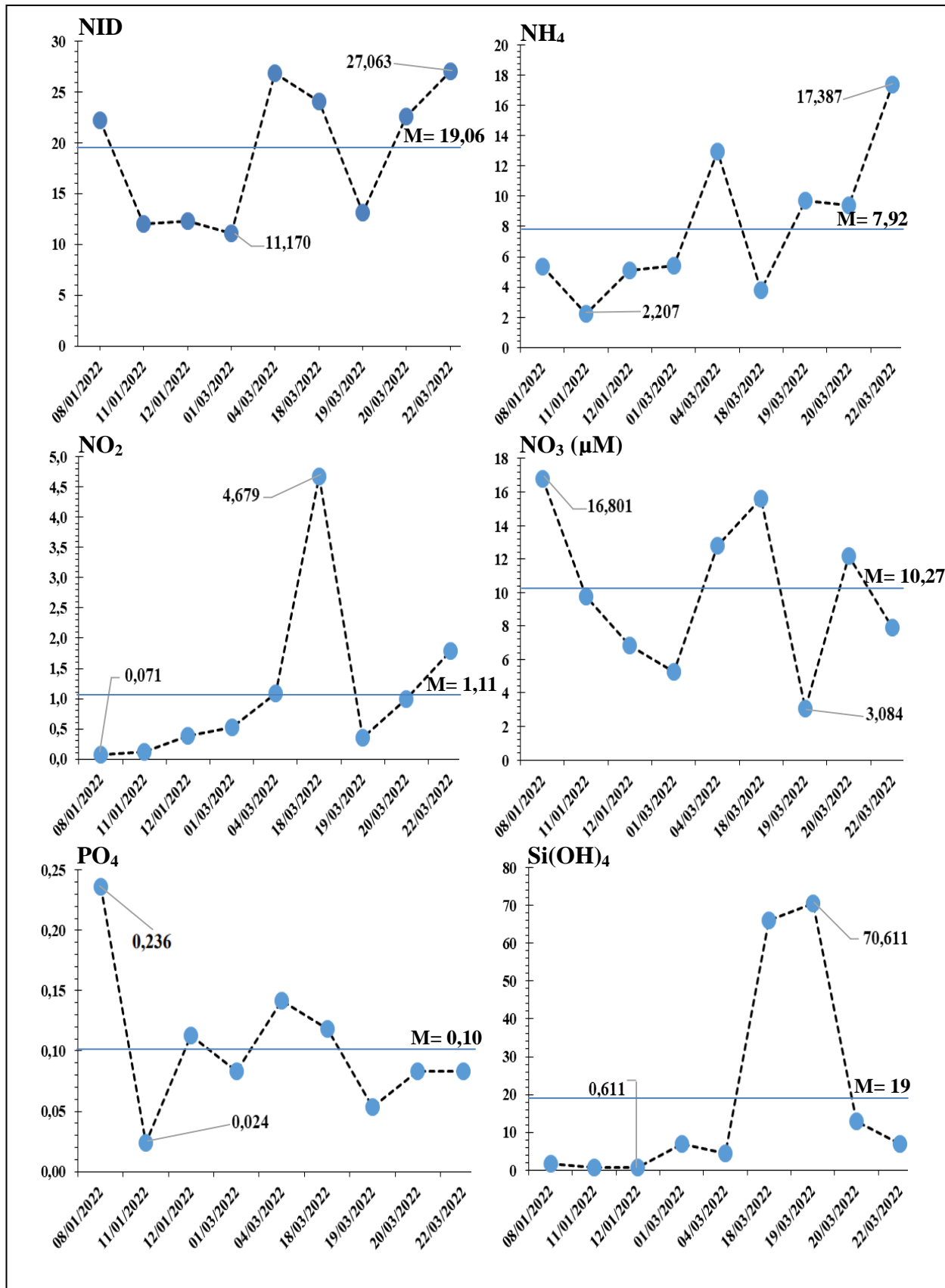


Figure 33 : variations des teneurs en nutriments des eaux de pluies dans la région rurale Terrai Bainen.

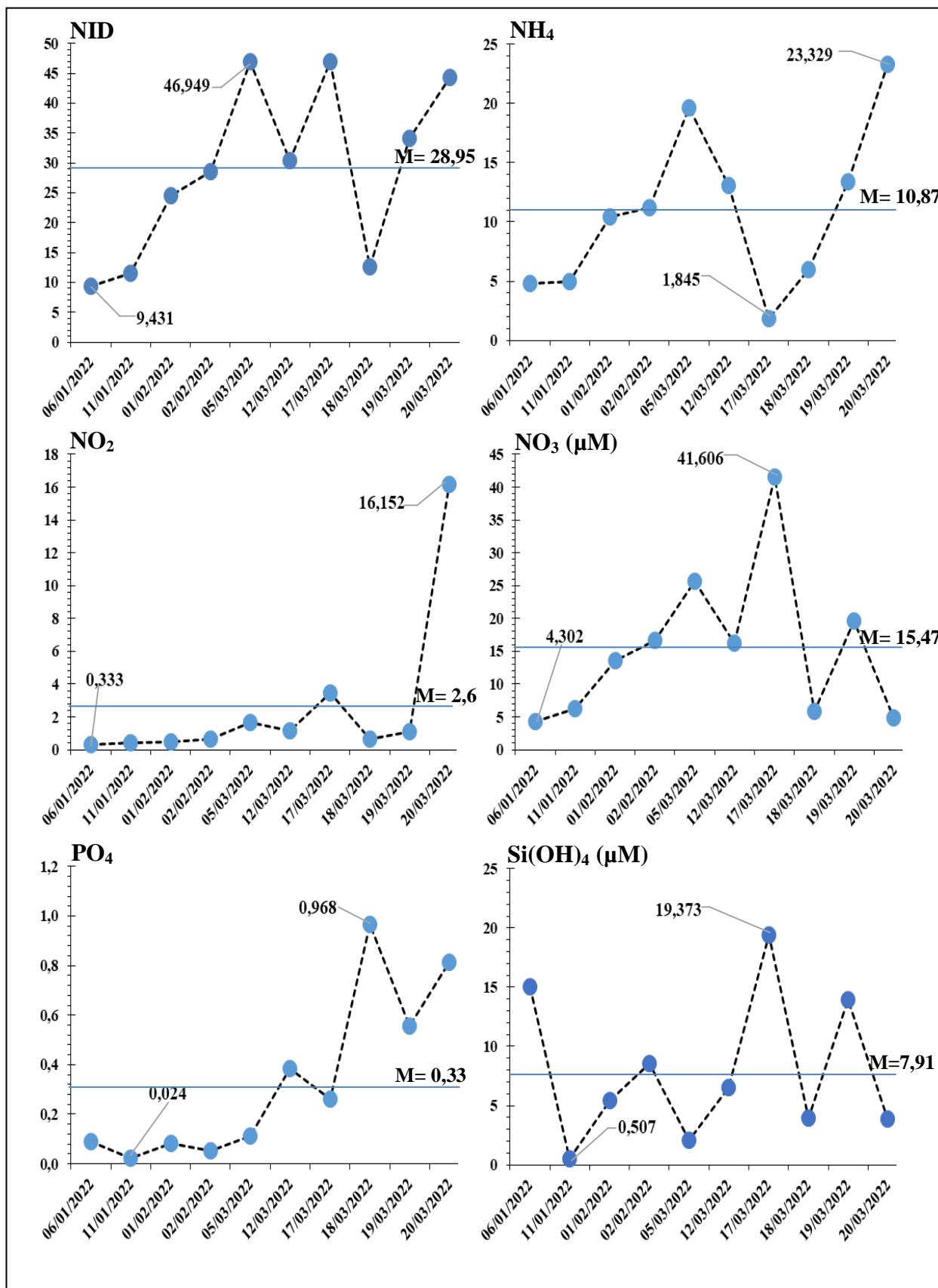


Figure 34 : variations des teneurs en nutriments des eaux de pluies dans la région rurale Tassadane Haddada.

CONCLUSION



Le barrage de Béni-Haroun est l'une des ressources en eau les plus importantes en Algérie, et qui est soumis à des pressions démographiques, industrielles et agricoles intensives. Notre étude focalise sur la distribution et l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux en amont et en aval du barrage de Béni-Haroun.

Les analyses obtenues durant la période d'étude exposent clairement que les principales caractéristiques des eaux en amont et en aval du barrage se traduisent par les teneurs élevées en ammonium (NH_4) et en phosphate (PO_4) contrairement aux ortho-silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ déjà réduits naturellement à l'amont du Barrage.

Les résultats obtenus montrent clairement que le Barrage de Béni-Haroun est fortement exposé à la pollution par les rejets directs d'eaux usées domestiques provenant de la grande ville de Constantine et de Mila centre et des villages adjacents.

L'utilisation excessive des produits chimiques (engrais) dans le domaine agricole a grandement contribué à l'impact sur la nature des eaux en amont et en aval du Barrage de Béni-Haroun.

Les nutriments minéraux dissous entrent dans le barrage subit d'importantes retentions dans le barrage (effet du barrage).

Le Barrage de Béni-Haroun reçoit des eaux fortement polluées provenant de la branche d'oued Rhumel et la branche d'oued Radjas comparable aux rivières restantes qui se jettent dans le barrage.

Le taux de variation des concentrations en azote inorganique dissous (NID) entre l'amont et l'aval dans l'ensemble des stations au cours de la période d'étude est de 19,57 % à 31,23 %.

Les fortes teneurs en nutriments dans les eaux de pluies de région urbaine Mila centre et Constantine centre influencent directement sur la qualité des eaux superficielles, également sur les eaux du barrage de Béni-Haroun.

Les eaux de rivières interceptées et stockées dans le barrage de Béni-Haroun ont sensiblement réduit leur débit à l'aval du barrage.

Le barrage de Béni-Haroun joue un rôle crucial dans les médiations des cycles biogéochimiques (cycle d'Azote, du Phosphore et du Silicium).

Les variations des teneurs en nutriments dans les eaux de pluies de la région urbaine (Mila centre et Constantine centre) et rurale (Terrai Bainen et Tassadane Haddada) est due principalement par les activités agricoles et industrielles qui participent directement ou indirectement dans la pollution atmosphérique.

Enfin, ces conditions hydrologiques et biogéochimiques devraient avoir de sévères impacts sur le système rivière et sur le fonctionnement et la production de la zone côtière.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES



Références Bibliographiques

A

- A.B.H, 1999-2004. Les Cahiers de l'Agence des Bassins Hydrographiques: Constantinois-Seybouse-Mellegue, Constantine. Rapports techniques : 1999 et 2004.
- A.N.B.T, 2013. Agence Nationale des Barrages et Transferts, Rapport technique- Barrage de Beni Haroun.
- Adams, S.M., 2002. Biological indicators of aquatic ecosystem stress. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 621 p.
- Afnor, 1992: Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Association française de normalisation: NF T 90-350, 12p.
- 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 du bassin hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue, 1999. Cahiers de l'A.B.H - C.S.M. n°02, 33p.
- Agence du bassin hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue, 2002. Cahiers de l'A.B.H - C.S.M. n°05, 32p.
- Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, 2004. Cahiers de l'A.B.H - C.S.M. n°08, 44p.
- Ahonon, A., 2011. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du Togo: cas du canton de Lavie. Thèse de Master international en Environnement eau et santé .Université de Lome, pp 42.
- Akil, A., Hassan, T., Fatima, E. H., Lahcen, B., Abderrahim, L., 2014. Etude de la qualité physicochimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc.11p.
- Amara, R., 2011. Impact de la pollution sur les écosystèmes côtiers : exemple de la Manche orientale. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement (En ligne), Hors-série 9 Juillet 2011, mis en ligne le 13 juillet 2011. URL : <http://vertigo.revues.org/10990>.
- Aminot, A., Chaussied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. 395 p.

Références Bibliographiques

- Anctil, F., Rousselle, J., Lauzon, N., 2013. Hydrologie : cheminements de l'eau. 2^{ème} édition, Ed. Presses internationales polytechnique Canada. 2-3p.
- 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.
- 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.
- Atteia, O., 2015. Chimie et pollutions des eaux souterraines. Lavoisier : Tec & Doc. Paris. France, 421p.

B

- Bagnouls, F., Gaussen, H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. In Annales de géographie. Armand Colin, vol 66 n° 355, 193-220 p.
- Bechac, J., Boutin, P., 1984. traitements des eaux usées. Ed. Eyrolles. Bd. St Germain. Pp 121.
- 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.
- Bellan, G., Peres, J., 1994. La pollution des mers. 3^{ème} Edition, presses universitaires de France, collection que sais-je ? 127p.
- Benaziza, A., Ameer, N., 2007. Etude spatiotemporelle de la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Djenjen. Mémoire de fin d'étude. Université de Jijel facultés. P 50.
- Benkaddour, B., 2018. Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'oued Chélif (Algérie), Université de Perpignan, p 9-21.
- Beriere, G., 2000. Distribution et collecte des eaux, 2^{ème} édition, Ecole polytechnique de Montréal. PP : 3-19.
- Bertrand, G., 2008. Utiliser l'eau de pluie, Editions Eyrolles, p 130.
- Bioret, F., Estève, R., Sturbois, A., 2010. Dictionnaire de la protection de la nature. Presses Universitaires de Rennes. 357p.

Références Bibliographiques

- Bliefert, Claus., Perraud, Robert., 2008. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. p : 271,290, 291.
- Blin, E., 2012. « De la chimie des écosystèmes et des cocktails », revue : la chimie et la nature (p : 185).
- Boglin Jean-claude, 2001. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.
- Boschet, A.F., 2002. Ressources en eau et sante en Europe-Journal Européen d'Hydrologie, 33, 1, pp.33-39.
- Boucenna, F., 2008. Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière car de la plaine alluviale de l'oued Djendjen. Thèse de doctorat. Jijel, Nord-est Algérien. Algérie, 80p.
- Bougis, P., 1974. Ecologies du plankton marine, Tome I le phytoplancton. Masson & Cite, Paris, 192p.
- Bouguetit, K., 2015. Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla (Cas de la nappe du Continental Intercalaire).Mémoire master académique, 50p.
- Bouziani, M., 2000. L'eau de la pénurie aux maladies, edition ibn khaldoun, 247p.
- Brasilia, 2013. Manuel pratique d'analyse de l'eau. 4^{ème} édition. 54, 57, 63 p.
- Brouillette, D., Ouellet, M., 2003. Guide pour l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau en lac, Ministère du Développement durable. de l'Environnement. De la Faune et des Parcs. Canada, Québec Montréal. 8-22.

C

- CF, 2018.Conservation des forêts de Mila.
- 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.
- Chabni, L., 2005. mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Option : conception des systèmes d'alimentation en eau souterraine. Ecole nationale supérieure de L'Hydraulique ENSH-BLIDA.
- Cheftel, J., Et Cheftel, H., 1986. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Ed. Et Doc Lavoisier, Paris 11, P 52.

Références Bibliographiques

- Chocat, B., 1997. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement : Edition Tehnique et Documentation, Paris. 1136 p.
- Colas, R., 1976. La pollution des eaux. 4^{ème} édition. Presses universitaire de France (PUF). Paris. France. 126 p.
- 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

- Danish EPA., 1999. DAISY: Soil-Plant-Atmosphere System Model. Danish Research; Program on Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter, Danishepa, Copenhagen, Denmark, ReportA10. 236 p.
- Degremont, G., 2005. Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ème} édition, Edit. Tec et Doc. PP: 3-38.
- Delarras, C., 2003. Surveillance Sanitaire et Microbiologique des Eaux : Réglementation. Prélèvement., Analyse 225 p.
- 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.
- Dumont, M., 2008. Apports de la modélisation des interactions pour une compréhension fonctionnement d'un écosystème. Thèse doctorat, université Montpellier II. p 228.
- Durand, J. H., 1954. Les sols d'Algérie.

E

- Elalmi, T., 2013. Evaluation de la ressource en eau superficielle (Bilans hydrique des bassins versant du nord de l'Algérie). Université Kasdi Merbah d'Ouargla.
- Emsalem, R., 1986. Climatologie Générale. Edition. I.P.E.N.A.G. Tome 1. 198 p.
- European Environment Agency EEA., 1999. State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment. Environmental assessment series. Office for Official Publications/EE, L-2985 Luxembourg. 5: 137 p.

Références Bibliographiques

F

- Faurie, C., Medori, P., Devaux, J., Hemptienne, J.L., 2003. *Ecologie Approche scientifique et pratique*. 5^{ème} édition : Lavoisier, 450p.
- Ferro, Y., Durrieu, C., Arambourou, H., 2013. *Bio-indication et évaluation des impacts écologiques des rejets urbains de temps de pluie. Quelles innovations pour la gestion des eaux pluviales en milieu urbain ?* 3, 4 et 5 décembre 2013 Nantes.
- Festy, B., Hartemann, P., Ledrans, M., Levallois, P., Payment, P., et tricardd., 2003. *Qualité de l'eau* ; in « *Environnement et santé publique – Fondements et pratiques* », pp. 333-368. Ed. Tec & Doc, Acton Vale, Paris.
- François, A., 2008. *L'eau et ses enjeux*, Edition de Boeck, P 134.
- Fredot, E., 2005. *Connaissance des aliments: base alimentaire et nutritionnelles de la diététique*. Ed. Lavoisier. Tec & Doc. Paris. P: 341, 342, 343, 344, 345, 348, 350.

G

- Gaujous, D., 1995. *La pollution des milieux aquatique : Aide-mémoire* 2^{ème} édition Lavoisier TEC & DOC, 220 p.
- Gaujous, D., 1998. *La pollution des milieux aquatiques*. Edition: TEC & DOC. Paris, 220 p.
- Gaüzere, B.A., 2012. *Les maladies liées à l'eau*, Mise à jour le 20/04/2012, Médecine tropicale. P05.
- Genin, B., Chaurin, Ch., Ménard, F., 2003. *Cours d'eau et indice biologiques. Pollution-méthodes-IBGB*, 2^{ème} édition Educagri. P 221.
- Gisèle, B., 2007. *Pollution des eaux des rivières et impact sur les populations riveraines*. Université de Dschang, fasa, en gestion de l'eau. 6-117 p.
- Graindorge, J., 2015. *Guide des analyses de la qualité de l'eau*. Ed. Territorial éditions, paris. 126. 142. 147.162. 165. 183 p.
- Grogga, 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.

Références Bibliographiques

- Gupta, D.B., 1992. The importance of water resources for urban socio economic development. In International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century.

H

- Hamed, M., Guettache, A., Bouamer, L., 2012 : Etude des propriétés physicochimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF-TORBA Bechar. Mémoire de Master. Université de Bechar. 5 -10-13p.
- 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.
- Howarth, R.W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, D., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J.A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, E., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P., Zhao-Liang, Z., 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.

J

- John, M., Evans, Howard Perlman., 2014. Schéma du cycle de l'eau. USGS, United States geological Survey, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological survey URL: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclefrenchhi.html>.
- Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), (2011). Décret exécutif n 11- 125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.

K

- Kerdoud, S., 2006. Les bassines versent de Béni-Haroun eau et pollution. Présenté pour l'obtention du Diplôme de magister. Université Mentouri-Constantine, 7-31 p.
- Khoubache, I., Laouar, N., 2006. Etude de la pollution organique des eaux de l'Oued Kebir (W.Jijel). Univ de Jijel. Diplôme d'ingénieur d'état. Fac des Sciences. Pp 61.

Références Bibliographiques

L

- Ladjel, F., Bouchefer, S.A., 2012. Exploitation d'une station d'épuration à boues activées et d'une lagune, niveau 2.
- Le Gal, Y., 1989. Biochimie marine. Ed Masson, Paris, 222 p.
- Lehner, B., Reidy Liermann, C., Revenga, C., Vorosmarty, C., Fekete, B., Crouzet, P., Doll, P., Endejan, M., Frenken, K., Magome, J., Nilsson, C., Robertson, J.C., Rodel, R., Sindorf, N., Wisser, D., 2011. Global Reservoir and Dam Database, Version 1 (GRanDv1): Reservoirs, Revision 01, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/grand-v1-reservoirs-rev01>.
- Lemerrier, B., 2003. La pollution par les matières Phosphorées en Bretagne .Sources, Transfert Et moyennes de lutte. Direction régional de l'environnement Bretagne.85p.
- Liu, K.K., Seitzinger, S., Mayorga, E., Harrison, J., Ittekkot, V., 2008. Fluxes of nutrients and selected organic pollutants carried by rivers, Chapter 8 in: E. Urban & S. Greenwood (Eds) PACKMEDS-Dynamics and vulnerability of semi-enclosed marine systems: the integrated effects of changes in sediment and nutrient input from land. Scientific Committee on Progress in the Environment (SCOPE), New York, 141-167.

M

- Madigan, M., Martinko, J., 2007. Biologie des microorganismes, 11^{ème} édition, Pearson. Education, Paris. PP : 918-932.
- Madoui, F., Sahraoui, M., 2011. Etude de l'impact des caractères physico-chimiques sur la communauté algale des cours d'eaux de la région d'oued Athmenia. pp 11.
- Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., Van Clooster, M., 2011. Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued moulouya (Maroc oriental). 21p.
- Margat, J., 2004. L'eau dans le bassin méditerranéen : situation et prospective. Les fascicules du Plan Bleu. MAP Technical Report Series No. 158, Athena, 366 p.
- Marsily, G., 1995. L'eau. Collection Dominos, Edition: Flammarion. 128 p.
- Mazzuoli, L., 2012. La gestion durable de l'eau, Ressource. Qualité. Organisation. Edition Dunod. P 249.

Références Bibliographiques

- Mebarki, A., 1982. Le bassin du kébir-Rhumel (Algérie) : hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau.
- Mebarki, A., 2005. Hydrologie des Bassins de l'Est Algérien: Ressources en eau, aménagement et environnement Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri de Constantine.
- Mekhalif, F., 2009. Réutilisation Des Eaux Résiduaires Industrielles Épurées Comme Eau D'appoint Dans Un Circuit De Refroidissement, Mémoire de Magister en Chimie Option : Pollution Chimique et Environnement, Université du 20 Août 1955, SKIKDA Faculté des Sciences Département des Sciences Fondamentales, p 3-23.
- Melghit, M., 2009. Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et benharoun Université Mentouri de Constantine. Mémoire de Magistère en Ecologie. 141p.
- Melghit, M., 2010. Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments, Eau / Sédiments de l'oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Béni-Haroun, Université Mentouri de Constantine, p 6.
- 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.
- Merzoug, S., 2009. Etude de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher Ben Azzouz, Wilaya de Skikda. Mémoire de Magister. Université 8 mai 1945, Guelma. 113 p.
- Meybeck, M., 1982. Carbon, nitrogen, phosphorus transport by World Rivers. Am. J. Sci., 282: 401-450.
- Meybeck, M., 2003. Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 358: 1935-1955.
- Michard, G., 2002. Chimie des eaux naturelles. Principes de géochimie des eaux. Édition Publisud. 565p.
- MIZI, A., 2006. Traitement des eaux de rejet d'une raffinerie – région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Faculté des sciences: Département de chimie. Université Badji Mokhtar Annaba, 189 p.

Références Bibliographiques

- Moilleron, R., 2017. Laboratoire eau environnement et systèmes urbains. Pollutions hydriques. P : 10.
- Monaghan, E.J., Ruttenberg, K.C., 1999. Dissolved organic phosphorus in the coastal ocean: Reassessment of available methods and seasonal phosphorus profiles from the Eel River Shelf. *Limnol. Oceanogr*; 44(7): 1702-1714.
- Myrand, D., 2008. Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec. P04.

N

- Nalco, 1983. Manuel De L'eau. 14^{ème} Edition, Tec-Doc-Lavoisier, Paris, France, 452 p.
- Nichane, M., Khelil, M.A., 2015. Changements climatiques et ressources en eau en Algérie. Vulnérabilité, impact et stratégie d'adaptation. Département d'écologie et environnement, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie. *Larhyss journal*, n°21, mars 2015, pp. 16-17-18-19.
- Nixon, S.W., 2003. Replacing the Nile: are anthropogenic nutrients providing the fertility once brought to the Mediterranean by Great River? *Ambio* 32: 30-39.

O

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

P

- Parson, S.D., Bierman, J.R.V.J., Silliman, S.E., 1989. An evaluation of methods for the estimation of tributary mass loads. *Water Resour. Res*, 25(6): 1379-1389.
- Paul, R., 1998. Eaux d'égout et eaux résiduaires industrielles. Epuration. Utilisation. Société d'éditions techniques, Pp 192.
- Pierre, Alain., 2014. L'eau calme. L'eau vive l'environnement. Le cycle de l'eau. Federation Français De Canoë-Kayak. Pp 5.

Références Bibliographiques

- Pnue, 1991. Pollution Des Eaux Douces. Bibliothèque De L'environnement PNUE/GEMS. N° 6. Nairobi.
- Preul, H.C., 2000. La lutte contre la pollution de l'eau. In J-M. Stellman. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Ed. International Labour Organization. Vol. 1. Genève, Suisse. 4838 p. Consulté le 11/02/2018.

R

- Raissi, O., 2014. Protection de la ressource en eau en Algérie : office nationale de l'assainissement.
- Ramade, F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2 Editions 1075 p.
- Ramade, F., 1998. Dictionnaire encyclopédique fondamentale. Ed. Edi science internationale. Paris; France.
- Ramade, F., 2000. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edi science international, Paris, 689p.
- Ramade, F., 2005. Elément D'écologie: Ecologie Fondamentale. Edi science Internationale. Paris ; France.
- Raven, P., H., Berg, L., R., Hassanzahl, D., 2009. Américaine par marie pascale la ceannehancock Guy lemperiere, 6 édition, 97-98 P.
- Roche, D.A., Miquel, J., Gaume, E., 2012. Hydrologie quantitative : processus, modèles et aide à la décision. Ed. Springer-Verlag France. 7p.
- Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris, France, 1365p.
- Rodier, J., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition, Dunod, Paris.
- Rodier, J., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} édition. Dunod. Paris, 1383 p.
- 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.

Références Bibliographiques

- Rodier, J., Legude, B., Merlet, N., et coll, 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod.1579 p.
- Roy, P., Tichoux, H., Fauchè, R., Langlois, J., Parent, G., Trudent, F., 2006. Etude de la protection du bassin versant du barrage Beni-Haroun. [Rapport technique]. Tecsul International Limitee, Chapitre 8.

S

- Sahli, L., 2012. Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments tssaisraces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat. Université mentouri de Constantine. 30-36 p.
- Savary, P., 2010. Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial édition, Voiron, PP : 10-179.
- Sebihi, Z., 2015. La qualité physico-chimique des eaux de l'oued Rhumel. 40 p.

T

- Tekfi, K., 2006. Étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des boues activées. Mémoire magister : Département hydraulique. Université Tlemcen, 134 p.
- Tourki, M., 2019. Modélisation du transfert des flux hydro-sédimentaires et cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Kébir-Rhumel. Thèse de doctorat en Hydrologie.
- Tronczynsk, I J., 2004. Les contaminants organiques qui laissent des traces, 40 p. Disponible sur : <http://www.quae.com/fr/r486-les-contaminants-organiques-qui-laissent-destraces.html>8p.
- Turner, R.E., Rabalais, N., Justic, D., Dortch, Q., 2003. Global patterns of dissolved N, P and Si in large rivers. Biogeochemistry 64: 297-317.

V

- VALIRON, F., 1990. Gestion des eaux 1 : Principes, moyens, structures. 2^{ème} édition : presses des ponts. Paris. France, 350 p.
- Van Overmeiren, 2008. Mémoire de Master en science et gestion de l'environnement. Université Libre de Bruxelles. P 96-98.

Références Bibliographiques

W

- Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *Geoch. Cosmoch. Acta.*, 59 (7): 1217-1232.
- Wollast, R., Mackenzie, F.T., 1983. The global cycle of silica, in: *Silicon geochemistry and biogeochemistry*, edited by: Aston, S. E., Academic Press, London, pp. 39-76.
- 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.
- Zgheib, S., 2009. Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire .Hydrologie . Ecole des ponts. Paris .P20.
- Zouaidia, H., 2006. Bilan des incendies de forêts dans l'Est Algérien. Cas de Mila, Constantine, Guelma er Souk Ahras. Mémoire de magister, Université de Constantine, Algérie. 5 p.